

日本水稲品質・食味研究会会報

第 4 号
(平成25年3月)



目 次

第4回講演会

メインテーマ：「米の品質・食味研究、最前線Ⅲ」

日時：2012年10月27日（土）～28日（日）

場所：上川生産連農業会館（旭川市宮下通14丁目）

<シンポジウム講演>

テーマ：「北海道の低蛋白良食味米生産技術の現状と課題」

- | | | |
|----------------------------|--------|------|
| 1) 北海道米の食味向上に関する技術開発ー過去と現在 | 稲津 脩 | … 1 |
| 2) 蛋白質含有率に影響する栽培条件 | 長田 亨 | … 11 |
| 3) 澱粉構造等から見た食味特性 | 五十嵐 俊成 | … 15 |
| 4) 生産現場からみた技術的課題 | 桑原 英郎 | … 25 |

<一般発表>

北海道での取り組み

- | | | |
|---|-------------|------|
| 1) 札幌と首都圏における米飯の嗜好調査と北海道米新品種「ゆめぴりか」への官能応答 | 吉田 慎一・川村 周三 | … 33 |
| 2) 出荷基準に満たない「ゆめぴりか」を活用した高品質ブレンド米の開発技術 | 吉田 慎一 | … 37 |

3) 北海道米の食味向上の歩み	川村周三・横江未央・吉田慎一・藤川咲子	41
4) 冬季の自然冷気を利用した超低温貯蔵による米の高品質保持技術	川村周三・竹倉憲弘	43

栽培・生理

5) 穂肥方法がコシヒカリの玄米外観品質，タンパク質含有率及び食味に及ぼす影響	佐藤 徹・東 聡志・金井 政人	45
6) 茨城県の大規模水稻農家水田における移植日，出穂日および登熟期の気温と食味関連形質との関係	滑川 桂介・新田 洋司・塩津 文隆・浅木 直美	47
7) 酒米品種「山田錦」における心白発生と生育特性および粒大との関係	池上 勝・藤本啓之・小河拓也・宮脇武弘	49

海外および日本での食味関連

8) 中国の主要ジャポニカ産地における水稻品種の食味実態調査	崔 晶・張 欣・松江 勇次・楠谷 彰人	51
9) Importance of rice grain quality in Tanzania: a case of sensory test in Zanzibar on cooked grain quality of NERICA and local cultivars タンザニアにおけるイネの穀粒品質の重要性：ザンジバル島で実施したネリカと在来品種の炊飯米官能試験の例から	Nobuhito Sekiya, Khatib Juma Khatib, Subira Maslah Makame, Motonori Tomitaka, Nobuaki Oizumi, Hideki Araki 関谷信人・ハティブ ジュマ ハティブ・スビラ マスラ マカメ・富高元徳・大泉暢章・荒木英樹	53
10) 食味官能試験について	木野 信秋	55

品質評価・遺伝解析

11) 米粒におけるタンパク質分布の可視化技術の開発と利用	増村威宏・重光隆成・齊藤雄飛・金丸直樹・小倉治朗・江原崇光・沓掛文夫	59
12) 世界の広範な米による細胞壁分解酵素関連マーカーの開発	中村澄子・大坪研一	61
13) 高温登熟により発生した白未熟米粒の定量的プロテオーム解析	白矢武士・丸山達也・佐々木麻衣子・金古堅太郎・三ツ井敏明	63

[我が社の宣伝]

○ケット科学研究所	65
○サタケ製作所	67

シンポジウム講演

4 課題

北海道米の食味向上に関する技術開発一過去と現在

元北海道立中央農業試験場（開発肥料株式会社） 稲津 脩

1 米の食味に関する研究経過

北海道で稲が経済作物として取り上げられたのは明治25年（1892）に北海道庁財務長として赴任した酒匂常明の北海道稲作論による稲作振興が礎となり、石狩川流域の開拓農民が次々と低湿地に水田を開き稲作を広めた頃からである。寒冷地の北海道に稲作の基盤が確立し安定したのは昭和に入ってからのもので、これはこの間の農民の努力と米生産技術の著しい向上によるところが大きい。

米の食味とその理化学的性質から研究が行われたのは大正から昭和初期における田所、佐藤らの研究が最初である。この研究は、アミロースの発見される以前のことであったことから、食味分析手法は異なるものの品種や栽培条件についての解析対象はほぼ現在と同じである。戦後しばらくは米の増収に関連する研究が主体で、この種の研究はほとんど行われなかった。その後、米の需給が均衡するにつれて米の食味に関する研究が再度行われるようになってきた。

昭和36年頃になると、北海道米の食味に関する不評が消費者から多く伝えられ、この対策として、当時は日本に数台しか導入されていなかったアミログラフを北海道立農業試験場に整備し、空知支場には炊飯特性を計測できる器具を導入して研究をスタートさせた。この時の成果は、「北農」に報告¹⁾されているが、現状の解析にとどまり新たな展開は見られなかった。昭和44年には、新しい解析手法を報告した大学をはじめとする研究機関の手法を取り入れた解析がスタートした。このような取り組みによる成果²⁾は、澱粉成分・性質、蛋白、脂質、ミネラル等の成分や平行版プラストメーター、テクスチュロメーター等の飯米の塑性流体としての性質、アミログラフ、炊飯特性、フォトペーストグラフ、膨潤度、溶解度などの熱糊化性及び米の細胞配列などが食味を左右している要因であることが判明し、解析手法も実験室でルーチン化できるようになった。この後、これらの解析手法を導入して北海道米の食味向上を計ることの重要性に鑑み、品種改良にこれらの手法を活用した。当時は、「澱粉の研究は泥沼に足を取られるようなものであり、辞めた方が利口である」との考え方もあったが、澱粉の研究を避けては北海道米の良食味化の道は殆ど見いだされないと考えられていた。

昭和46～56年にかけて食味分析手法を育種に導入するべく、中央、上川、道南、北見、北海道農業試験場の稲育種研究科・室における奨励及び生産力予備試験系統などの米を集めて食味分析し、これを評価して選抜することが続けられた。その効果は、育種を担当する研究者にアミロース、蛋白、アミログラム最高粘度などの数値と食味の関係を少しずつ理解されるようになり、成分育種の重要性が徐々に認識され始めた。このことは栽培、土壤肥料分野でも同じ事であり、良食味に関する研究開発の「コア」が定着され始めるとともに、稲作関係者や農試の稲研究分野にその重要性が理解され始めた。

昭和55年には、良食味米品種の早期開発の要請に応えるために、中央、上川、道南、北見の4農業試験場のプロジェクト研究「優良米の早期開発試験（第Ⅰ期）」（昭和55年～61年）がスタートした。この試験の中で、鹿児島県での2期作に加えて、沖縄県石垣島で

の冬期間の栽培(同年12月開始)が開始され、さらに世代促進することになった他、育種規模の拡大、食味検定の充実が図られた。また、米質検定実験室、理化学実験室が設置されるとともに、近赤外自動分析装置(インフラライザー400型)が導入され、育種材料の蛋白含有率について効率的な選抜が可能となった。この「優良米の早期開発試験(第Ⅰ期)」の期間は、育種、栽培、土壌肥料の関係部門あがての情熱的な研究の展開が図られ、この間に多くの良食味品種が生まれるとともに良食味に有効な肥培管理技術が開発され指導に移された。これに加えて、この期間は良食味米の生産に関する基礎的な研究も行われ、アミロースの遺伝的研究及び食味分析手法と肥培管理技術に関する研究が道立農業試験場報告としてまとめられている。

昭和62年には、「優良米の早期開発試験(第Ⅱ期)」(昭和62年～平成5年)がはじまり、第Ⅰ期からの研究蓄積の活用を図り引き続き発展した。この時期の技術開発は「きらら397」、「ゆきまる」などの品種や葉色及び土壌窒素診断による肥培管理技術などがある。その後、平成8年には、「ほしのゆめ」、平成13年には、「ななつぼし」、平成15、19年には、「ふっくりんこ」、「ゆめぴりか」が育成された。肥培管理技術は、鉄・珪酸レベルの向上による水田地力の向上、リモートセンシングによる蛋白含有率の収穫前水稻に対する平面的評価、密植や浅耕栽培による低蛋白化技術など食味向上に有効なものが数多く開発され指導に移された。

過去の懐かしきことでありますが、昭和40、50年代の北海道米は関東、関西の消費者から、「鳥またぎ米」、「やっかい道米」などと酷評されていた。これを受け当時の北海道は50%を超える作付け制限となる転作が強いられていた。ここから30年間に亘る「日本一美味しい北海道米」を目指しての反転攻勢は多くの方々の努力が功を奏し、いまでは「ゆめぴりか」の開発により日本のトップグループの良食味米生産地帯へと変身した。この姿をあえて「北海道こめルネッサンス(再生、復興、転換)」と呼びたい。ここではこの技術的軌跡を書きたいと思いますが、北海道こめルネッサンスは北海道に美味しい米を作りたいとの思いを持つ農家、農業諸団体、行政、研究者などの総掛かりでの仕事による成果であった。

今更、農業生産の生業を説くつもりもないが、寒い北海道での安定、多収は水田農業に取って基本中の基本であり、この目標に向かって暖地作物である稲をほぼ100年の長きにわたり官民挙げた努力が重ねられた。北海道稲作の収量水準は、戦前の200 kg/10aを切る水準から、昭和60年にはこのほぼ2.5倍の500 kg/10aを上回る高いレベルとなった。一方、日本における米の自給環境は昭和43年の大豊作を引き金として、「不足」から「過剰」基調に一転した。稲作経営は外圧や米不足時代の食糧管理法や農業基本法が改正されたことにより、小さな保護と消費者重視の政策下に置かれた。すなわち、北海道稲作には収量から食味への大転換が必須の課題となった。ここ30年間は昭和40、50年代に最低だった食味水準(穀物検定協会基準B～C)を「特A～A」に向上すべく、品種改良・肥培管理技術の開発と現場での良食味米生産に努力が払われ、北海道稲作の多収生産から良食味・高品質生産への大転換は関係機関や農業者の努力が功を奏し成功裏に進められた。

2 北海道米に対する食味評価法の確立

インド型のような長粒で粘らない米は主にアジア、アフリカの熱帯地帯で広く栽培され

ており、これらの栽培地帯では粘らないボロボロした米が美味とされているし、逆に日本型のような粘る米を栽培している地帯ではこれを美味としている。この現象がなぜ起こるかはいまだに明らかにされていない。日本人の米に対する嗜好性について竹生³⁾は「日本人は幼い頃から、それぞれの家庭でご飯の味を覚える限られた範囲で毎日ご飯を食べ、その積み重ねからご飯に対する好みを持っており、日本人の大多数が旨いというご飯、まずいというご飯は確かにある」としている。さらに、日本人が持つ美味しいご飯のイメージは「色が白く、艶があり、粒の形が良い（視覚）、かむと音がほとんどしない（聴覚）、風味がある（嗅覚）、いくら噛んでも味が変わらず、多少脂っこい感じとなんとなく甘い感じがするが無味に近く、長く噛んでも甘くならない（味覚）あたたかくご飯の粒が滑らかで柔軟、粘りと弾力がある（触覚）」と述べている。

五感の中で最も重要なのは触覚、すなわち咀嚼の時の食感であり、これはご飯の硬さ、粘りなどの物理的要素によって支配されている。物理的要素は食味に対し7～8割も寄与していることが明らかになっており⁴⁾、米、麦、イモなど主食のほとんどはその食味が甘味、酸味、苦味、鹹味などに代表される呈味質よりもテクスチャーによって判断される。なぜ、澱粉質の主食の食味が物理的性質に支配されるのか、それはおそらく澱粉の糊化とその老化が物理的性質と関係しているから、良食味とよばれるものは消化性の高い糊化の進んだものあるいは老化の進んでいないものであり、その判断を人間は物理的性質により行っているものと考えられる。

澱粉の糊化とその老化は表裏の関係にあり、ご飯の食味を考える上で重要となる。生澱粉中のアミロース、アミロペクチン分子は主に相互の水素結合で結ばれているが、分子の密なところでは結晶水を保持している。炊飯時に起こる糊化とは米に多量の水を加えて加熱すると水分子が澱粉の網目構造の間に入り込み水素結合を作ることを行い、この糊化の難易はご飯の物理的性質に大きく関与する。一方、ご飯を室温で放置しておくとも硬く、粘りも少なくなり、白っぽく、食べるとボソボソする。この現象をご飯の老化と呼ぶ、老化は糊化の逆作用で分子間の結合が安定化する方向に動く作用である。糊化と老化はご飯の食味の大部分を支配するといつてよいほどの重要な特性で、これを支配するのは澱粉分子の性質が主であるが、その他に澱粉の周辺に存在する各種成分とその性質の挙動も関係する。米の食味評価法はこの様に食味を支配する澱粉の性質、特にアミロース含有率や熱糊化性を示すアミログラム特性値、ご飯のテクスチャーを評価するテクスチャログラム特性値および近赤外分析計による蛋白含有率が支配すると考えられたことから、ここでは米の食味特性に関係する測定法について示す。

blue value によるアミロース含有率の推定法はフィリピン国際稲研究所 Juliano, B.O⁵⁾ が米粉に 1N-NaOH を加え煮沸水中で 10 分間糊化し、その一定量を取り出し酢酸で中和後、よう素液を加えて発色し、620nm で吸光度を測定する方法を提案した。この方法によった北海道米品種・系統のアミロース含有率は最高値と最低値の差が 4 %、主要品種間で 1.6%とさらに僅少な差となったため、そのままの適用が困難であった。そこで Juliano, B.O 法を次のように改良した。すなわち、精白米 2.0～5.0g を 30ml の 0.2% の NaOH に浸漬した後水洗いし、ホモゲナイザーで磨砕する。磨砕物は 200 メッシュの篩を通しエタノール、エーテルを用いて脱水・乾燥後さらに乳鉢で粉砕する。調整した米粉 100 mg を 100ml のメスフラスコに取り、水 2ml を加えよく懸濁し、さらにジメチルスルホキシド(DMSO) 18ml

を加えて、30℃で24時間放置後、100℃湯煎で30分間糊化し、冷却後100mlに定容する。この液5mlに1N酢酸1ml、標準よう素溶液2mlを加え100mlとする。20分後、620nmで吸光度を測定する。表示方法は米粉乾物5ml/100mlの吸光度をblue valueとした。

アミロース専用オートアナライザーを用いたアミロース含有率測定法の簡易で迅速な測定法を確立したが、アミロペクチン分子の長鎖長などの影響が考えられるので正確な表現をすると「仮のアミロース含有率」となる。しかし、これの活用は主に育種選抜など農業生産分野であることを考慮しアミロース含有率と表示することにした。測定に用いる米は精白度93%以上でややアミロース含量が低くなるが、93%以下であればほとんど差が認められない。これを加熱せず粉碎できるブラベンダーテストミルを用い粉にし、50メッシュの篩にかける。これを常温で放置し水分が11%の恒量になったのを確認し、専用カップに100mg秤量し、これに0.05N-NaOHを5ml入れ2～12時間浸漬したものを測定する。検量線は澱粉中のアミロース含有率がすでに明らかな粳米を用いこれに糯米を混合してアミロース含有率が5%、10%、15%、20%となるように調整し、これを用いて検量線を作成するが多量試料の分析には20点に1点の既知試料を入れて分析する。アミロース専用オートアナライザーを用いたアミロース含有率測定法のフローダイヤグラムを図1に示す。

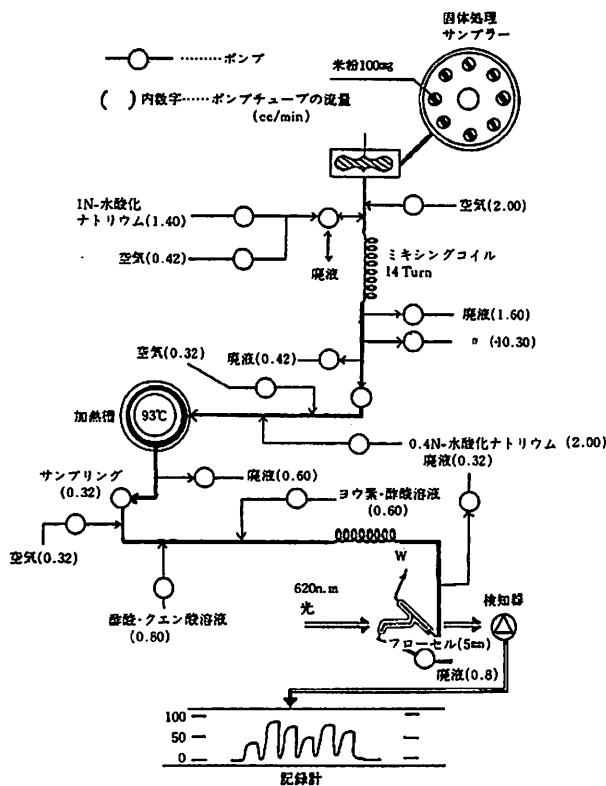


図1 アミロース分析用フローダイヤグラム

ブラベンダーアミログラフは小麦の酵素活性を簡易に評価するために活用される分析装置である。粳米は酵素活性が低いいため澱粉の熱糊化の特性が示される。堀内⁶⁾は米の熱糊化特性の測定にブラベンダーアミログラフを用いた。90%が50メッシュ以下の米粉(乾物)40gに蒸留水450mlを加え、30～93℃まで一定速度(1.5℃/min)で加熱し、93℃で10分間温度を保った後、加熱と同速度で冷却しアミログラムを作成した。北海道産米の澱粉と米粉のアミログラム特性値を比較、検討し、この測定法が北海道産米の品種、肥培管理法別試料の熱糊化性を評価できる事を認めた。アミログラム特性値相互の相関関係から糊化開始温度

、最高粘度値、ブレイクダウンの3特性値で熱糊化性の良否が解る

ため93℃で10分間温度を保った時点で分析を終了した(1点、42分に短縮)。

食味の良否はご飯のテクスチャーが大きく影響する、塑性流体であるご飯の場合、ご飯粒の粘り、硬さなどの物理的特性を評価することが肝要と思われた。そこで、北海道産米ご飯の硬さ、粘りを計測する目的でテクスチュログラフを利用した測定法の検討を行い次

のように測定条件を確立した。炊飯方法はガーゼを用いて除糠した 20g の精白米をアルミゼリーカップ(底 50mmφ、口径 70mmφ、高さ 40mm)に取り、水 35ml を加えて 25℃で 30 分放置後、1.8 リットル電気炊飯器の中に 5 ケのアルミゼリーカップが等間隔に宙づりとなる機材を作り外釜の壁に付かないようにして並べ炊飯時間が 20 分となる水量を外釜に入れ炊飯する。炊飯後 10 分蒸らした後、杉の箱(縦 65mm、横 65mm、高さ 40mm)に移し、ガーゼとガラス板で蓋をして 20~25℃で 1~3 時間放置後に測定する。テクスチュログラフは付着性強張 2 本アーム、プランジャー 22mm、受け皿 100mm 平皿、クリヤランス 0.2mm、ボルテージ 2V、チャートスピード 750mm/min、バイトスピード 6 回/min に設定する。ご飯粒は平均的な 3 粒を取り出し平皿の中心部に放射線状に並べ測定する。試料の測定は 5 度繰り返し 1 カップの平均値とし、2 カップ以上の平均値として示す。表示法は硬さ(H)1V 当量値、粘り(-H)5V 当量値、硬さ(H)/粘り(-H)1V 当量値とする。

お米の食味は熱変成を起し硬くなる蛋白に影響される。蛋白含有率の測定はケルダール法が正確であるが、分解、蒸留、定量に長時間を要し、危険で高価な薬品を使う欠点がある。これに対して近赤外線を用いる分析では薬品を使用しないで短時間(ケルダールの 1/77)、試料は非破壊で測定できる利点がある。近赤外線は精白米の表面の僅かな層に進入し、その後は反射される特性がある。その時、1100~2400nm の波長は白米を構成する物質の 2 分子、3 分子間に対して伸縮、対称伸縮、逆対称伸縮などの振動が起こる。この近赤外吸収の発生は数 nm の狭い波長幅で起こる、この吸収波長は構成する物質ごとに異なるから、シャープな吸収が認められる幾つかの波長を選択し、ケルダール法で分析した正確な粗蛋白含有率を目的変数とした重回帰式を作り、これを活用し短時間に自動的に蛋白含有率が測定できる。精白米は加熱せず粉碎できるブラベンダーテストミルを用い粉にし、50 メッシュの篩にかける。この試料を 20℃の恒温室に置き、これを 7ml のサンプルカップに一定の密度となるように慎重に詰めて測定器に入れ測定する。

食味特性値を用いて食味を表現する総合値は未だに認められない。そこでアミロース含有率と蛋白含有率が熱糊化性やご飯のテクスチャーに与える影響度を基準値化した数値を用いた重回帰式から計算し、これを簡略化して食味推定式を考案した。この式は Amylose Protein Score (APS) と呼び下式によって表される。この評価法と食味には図 2 に示したように $r = 0.888$ ($n=58$)、 $R^2=0.78$ の関係が認められている。

$$AS = (24 - A_m) \times 100 / 8$$

$$PS = (10 - P_r) \times 100 / 5$$

$$APS_1 = AS \times 0.6 + PS \times 0.4 \text{ (全国産米)}$$

$$APS_2 = AS \times 0.7 + PS \times 0.3 \text{ (Am 変動大)}$$

$$APS_3 = AS \times 0.3 + PS \times 0.7 \text{ (Pr 変動大)}$$

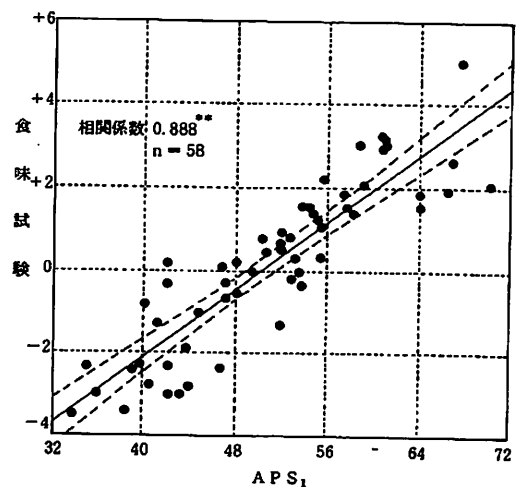


図2 食味と APS1 の関係

3 良食味米に対する品種・肥培管理技術の現状と展望

北海道稲作は、ここ 30 年間にわたり「おいしい北海道米を作るために」品種、肥培管理技術の開発、貯蔵・集荷、流通、そして何よりも米澱粉の分子構造と食味の関係や農家の良食味米生産など関係者挙げての取り組みが続けられた。その結果、消費者の北海道米に対する評価は昭和 40～50 年代に比較すると格段に向上してきた。こうした北海道米の食味向上経過を年代別・品種別に図 3 に示した。品種の食味は昭和 40 年代に下下～下中（品種育成に用いられている食味の九段階評価：上の上・中・下、中の上・中・下、下の上・中・下）であったものが、昭和 50 年代に中下～中上、平成年代には上中と、ほぼ 30 年間に 7 段階向上している。北海道産米は食味の平均値が「あきたこまち」クラスになると一級の食味を持つ本州産米に並ぶことから、消費者の評価は大きく向上するものと推察されるし、価格の安い北海道産米の食味が「コシヒカリ」並みともなればこれまでに想像のできないほどの評価を受けるに違いない。たぶん消費者の米評価は日本で一級の食味であるかどうかで大きく異なるものと思われる。すなわち、消費者が持つ評価を見ると、いつも変わらぬ視点は「一位あって二位なし」的な動向を取っている。北海道米の「ゆめぴりか」は食味特性が「魚沼ーコシヒカリ」を抜いて一位となり、平成 22 年度、23 年度産米の全道「ゆめぴりか」「ななつぼし」が特 A 米に認定されるに及んで、北海道は日本一美味しい米の生産地となった。この快挙は育種グループの 30 年間にわたる良食味米品種改良への努力と実績が、チャレンジした特 A 米品種開発の成功を導いたに違いない。これまでの良食味の品種改良の道のりはそう難しいものではないと思われたが、成功までには長い年月と関係者の努力が必要であった。

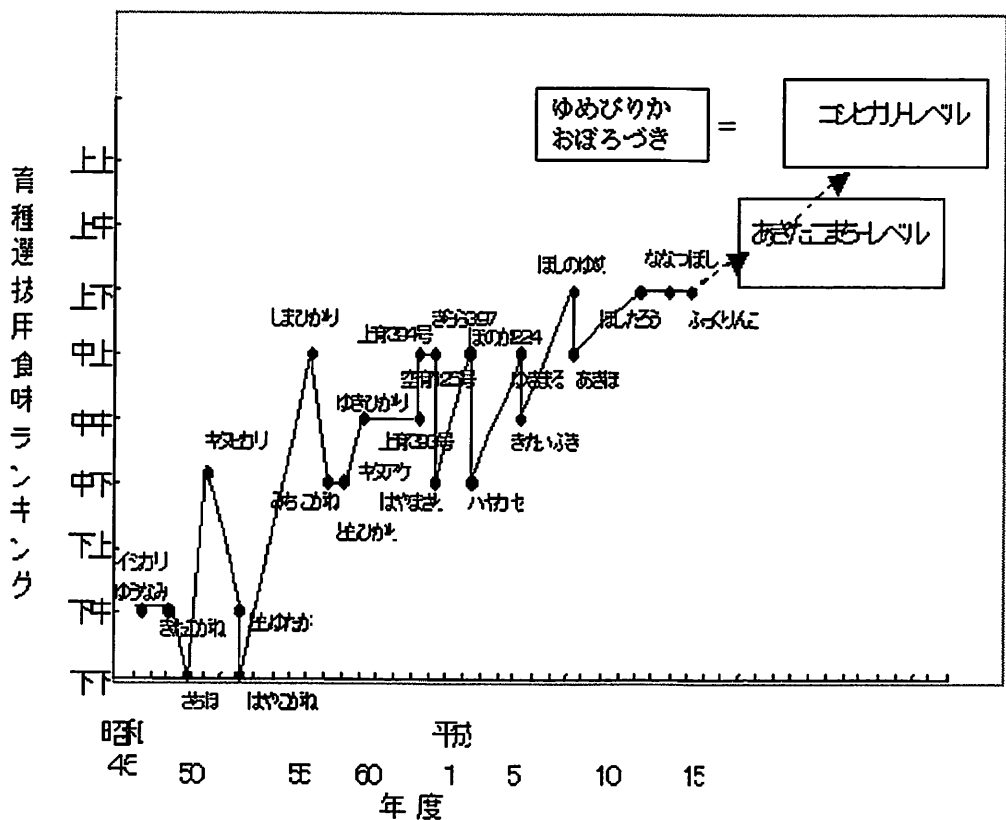


図 3. 北海道品種に対する食味ランキングの推移模式図

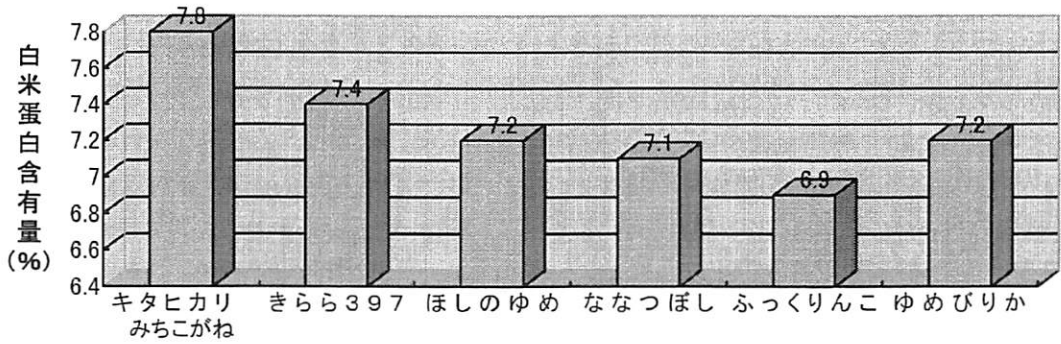


図4 最近の優良品種における白米蛋白低下模式図

米の食味はアミロース含有率と蛋白含有率に強く支配されており、北海道米はこの2成分が著しく高く、品種改良はこの成分を低下させることを中心として実施してきた。平成17年度までは北海道米品種の食味が「あきたこまち」に1ランク、「コシヒカリ」に2ランクほどの差となっているものと推察された、北海道米品種の食味は7段階向上してきており、残り2段階向上のための改良を急ぎ実施することが緊急の課題となった。すなわち、北海道米は、特A産米に代表されるような美味で売れる米を目標とした品種改良が柱となった。北海道米品種のアミロース含有率は19.5～20.5%、蛋白含有率は7.0～7.5%である。特A産米のアミロース含有率は17.5%、蛋白含有率は6.1%であることから、北海道に特A産地を作るためには、アミロース含有率2%、蛋白含有率1%を目標に低下させる必要があった。コシヒカリ級の良食味品種の開発はアミロース含有率2%、蛋白含有率1%低い米品種を緊急育成することを柱として推進してきた。アミロース含有率2%低下させるための「国宝ローズ」母材は低アミロース性を起源とする「空育147号」「空育168号」「上育447号」「渡育243号」また突然変異を起源とする「おぼろづき」「ゆめぴりか」などがある。これらは、「ほしのゆめ」より3～6%アミロース含有率の低い「うるち種」に属し、ある程度の栽培特性を持つ良食味系統である。一方、蛋白含有率1%低下させるための母材は、「ほしのゆめ」より0.3～1.0%蛋白含有率の低い「ななつぼし」「ふっくりんこ」「北海PL9」がある(図4)。更なる良食味米の育種はこれらの母材を先端的な育種手法と良食味米評価手法を活用して実施してきたいものである。その具体的な手法は次の通りである。①第2染色体、第6染色体に存在する良食味遺伝子および別の染色体にある耐冷性遺伝子を、DNAマーカーを活用して効率的に同時に集積する。②アミロペクチンの構造およびアミロース含有率を同時に10ミリグラム(米5粒)1点3分で自動分析できる装置(道立上川農試技術開発)⁷⁾を用いて選抜する。ご飯のつや・照りを示す輝度は「炊飯外観自動計測装置」(道立中央農試技術開発)を活用し、新たな良食味形質を選抜する。④アミロース合成酵素(GBSS)の合成を左右する遺伝子のDNAマーカーを開発し、アミロース等の温度変動性を少なくする育種手法を検討する。⑤道総研道南農試大型温室を利用した世代短縮を活用し、良食味米の早期選抜の可能性を考える。⑥

高品質な酒米および加工向け品種の開発を検討する。

北海道米の低アミロース化は、コシヒカリにアミロース起源をもつ「しまひかり」から「きらら397」、「ほしのゆめ」が優良品種となった。その後代系統のアミロース含有率は低いゾーンの変異が小さく、良食味化へジャンプした系統は認められなかった。低アミロース化の素材はこれに替わって国宝ローズにアミロース起源をもつ「ななつぼし」「ふっくりんこ」が優良品種となった。この系統の食味的な特徴は低アミロースでありながら低蛋白である点があげられる。この良食味の遺伝的起源は低アミロースと低蛋白が共存していることが優点であり、アミロース2%、蛋白1%低下させ得る育種に食味特性の総合力的な集積を図る意味で有益と推察される。また、「きらら397」の突然変異系統の「おぼろづき」は半もち種の遺伝的背景を持たせながら高アミロース化を計り、白米の白濁をなくすとともに粘りを確保した点にある。むしろ、この遺伝的背景を活用した低アミロースに低蛋白や耐冷性などの栽培特性を付ける方向の品種開発が早道になると考えられる。この遺伝的背景が低蛋白や栽培特性などの他の遺伝的性質に対しどのくらいの親和的な関係を持っているかが問われる。もしも、この遺伝子の活用が容易であった場合は、良食味米の品種開発を通じて本道稲作農業に計り知れない大きな果実となるに相違ない。このようなことを考えていくと、北海道にも「コシヒカリ」級の味を持つ品種育成の道が大きく開かれていたと考えられる。

こうした育種背景の中で平成19年度北海道農業試験会議で「上育453号」（ゆめぴりか）が奨励品種として誕生した。この品種のアミロース含有率は13%～16%であり、既存品種よりも4%～7%の大幅低下が実現した。蛋白含有率は7.2%と「ほしのゆめ」と殆ど差のない低蛋白性を有していた。この食味特性は総合値で「魚沼・コシヒカリ」や本州良食味米をやや上回るものであり、消費者の高い評価を得た（表1）。

表1 北海道米の食味評価

産地・品種	食味総合評価	粘り
北海道ゆめぴりか	+ 0.35	+ 0.64
北海道ふっくりんこ	+ 0.21	+ 0.25
秋田 あきたこまち	－ 0.16	－ 0.09
岩手 ひとめぼれ	－ 0.07	－ 0.05
茨城 コシヒカリ	－ 0.04	－ 0.03
新潟 コシヒカリ	+ 0.05	+ 0.09

注) 標準米は「北海道ほしのゆめ」、平成21年度産米、試験は平成21年3～5月実施、北海道292名、首都圏300名、川村周三、食糧ジャーナル vol34-5、36～39p (2009) を改変

「コシヒカリ」に近い良食味品種が育成されたとしても、これだけで北海道が全国一美味しい米産地として評価されるとは限らない。その良い例は氏の「コシヒカリ」と育ちの「魚沼」が銘柄として合体し「魚沼・コシヒカリ」と呼ばれて消費者の評価がなされたことでも分かる。すなわち、品種開発と産地・栽培技術が組み合わせられて、初めて日本一良食味銘柄の米が生まれると理解され、北海道は日本一の良食味銘柄を生産するための品種育成（前述）と

産地・栽培技術の確立を急ぐことが重要となる。北海道に全国一の良食味産地が生まれると、この産地を中心としてすそ野を形成するほかの米産地も生産・販売面で有利に展開するに違いない。「魚沼・コシヒカリ」も全国特Aの常連銘柄となるのに30～40年を要した

ことを考えると、全国一の良食味産地を北海道に定着させるのはそう簡単なものと思えない。しかし、北海道は産地の米関係者、農家、技術陣挙げて、ここ20年間にわたる良食味米生産に関する経験が蓄積されており、短期間に全国一の良食味産地を創出でき得る可能性を持ち合わせていると理解される。ここでは全国一の良食味産地となるために必要な肥培管理技術について考えてみる。

全国特A銘柄の蛋白含有率は魚沼コシヒカリ5.4%、産地平均で6.1%、北海道米の蛋白含有率は、7.0~7.5%であることから、北海道米の全国一の良食味産地は5.5~6.0%を目標とすべき最も重要な点と考えられるが、低蛋白化技術は多くの生産要因に関係するためそう簡易に実現できないと考えられるから、3段階程度の目標を持ち徐々に実現する事が肝要と思われる。

米粒中の蛋白質は水分を除くと、澱粉に次ぐ多量成分であり、食味に大きな影響を与えるため低蛋白含有率であることが望ましい。米粒中の蛋白含有率は、稲が吸収した窒素の玄米生産効率（玄米収量を窒素吸収量で割った値）と負の相関を示す。幼穂形成期1週間後までの吸収窒素は穂数、一穂粒数の増加に効率的に働き、窒素の玄米生産効率を高めるが、出穂後に吸収した窒素は玄米生産効率を低下させる。低蛋白米を生産する稲は、出穂期から成熟にかけて、葉身の窒素濃度の低いのが特徴である。窒素が米粒に移行する割合は、出穂期から出穂後20日間までの間の窒素供給で高まり、その傾向は、米粒の外側部よりも中心部で顕著である。この時期は胚乳の伸長と中心部細胞の発達が盛んな時期であるため、吸収された窒素が米粒中に多く蓄積されたものと考えられる。一方、米粒中の蛋白質含有率は土壌から供給される窒素によっても影響される。標準的な基肥窒素量の場合は、幼穂形成期1週間後で基肥から供給される窒素の大部分が吸収され、その後に吸収される窒素は、土壌由来と考えられる。蛋白含有率は土壌型によって異なり、土壌窒素の放出が遅れる湿田タイプよりも乾田タイプで低く、窒素放出量の多い泥炭土は鉾質土壌よりも高い。

このように蛋白含有率の差は、土壌型や水田の乾、湿が直接関与するのではなく、窒素などの養分供給を介して決まると理解される。また、早生種は晩生種に比較して、蛋白質含有率が高くなりやすいが、この場合は土壌からの窒素供給が盛んな時期と登熟期間が重なるため、土壌由来窒素が米粒に多く配分される。下層からの窒素吸収は、幼穂形成期ごろからはじまり、登熟期間に旺盛になることが明らかとなり、下層土の窒素供給量が蛋白含有率を高める要因となっている。成熟期の稲体窒素吸収量は、施肥窒素から20~30%、残り70~80%が土壌由来の窒素で構成されている。⁸⁾従って、低蛋白質米の生産には、生育後半に吸収される土壌窒素由来の制御が、重要な課題となる。こうしたことを踏まえると、研究開発を必要とする低蛋白米の生産技術は次の通りとなる。①8月以降に放出される土壌窒素を減少させる技術＝土壌の乾燥促進による乾土効果窒素の放出拡大、溝切りなどの排水対策による乾土化率の向上、稲わら対策など。②浅耕(8.0cm)技術の高度化、＝浅耕による浅耕犁底盤の形成法、収量を低下させないための他の技術との組み合わせなど。③側条施肥技術の高度化＝施肥位置や施肥量および使用する肥料の高濃度化と窒素形態など。④ケイ酸施肥、特に追肥を中心とした低蛋白技術の高度化＝資材、散布量と方法、土壌のケイ酸供給力との関係など。⑤窒素吸収を、競合を利用して制御する技術＝密植栽培技術があげられるが、低コスト対応できる代替技術の確立、偏穂重型品種の密植適性など

がある。⑥根活性問題や光合成の向上による低蛋白技術＝土壌還元を起こしづらい技術、各種無機養分の供給による健全な稲の生育技術、根活性向上資材のスクリーニングと実用化（可能性のある資材として腐植リン・アズミン・ケイ酸カリなど）。⑦低蛋白粒の電光選別機の開発と利用技術＝メーカーによる開発が進んでおり、これができれば利活用技術を確立することになる。

ただし、特A銘柄米生産といえども低収であっては米産地間競争に勝ち抜くことが出来ないことから、低蛋白含有率であり、かつ 600kg/10 a ほどの収量を安定的に確保できることが必要となるから、北海道稲作は日本一美味しい米生産地の自覚のもと、これに相応しい生産技術の研鑽が必要になる。

4 引用文献

- 1) 瀬戸良一、岡部勇、北海道米に対する研究(第2報)土壌条件、肥料条件が異なる米の理科学性について、北農 30(1)、P 5～8 (1963)。
- 2) 稲津 脩、北海道米の食味向上による品質改善に関する研究、道立農試報告第 66 号、P 3～40 (1988)。
- 3) 竹生新治郎、コメの味、食の科学 1、P 79～86 (1971)。
- 4) 谷達雄、吉川誠次、竹生新治郎、堀内久弥、遠藤勲、柳瀬肇、米の評価法に関する科学的要因 (1)、栄養と食糧、22(7)、P 452～461 (1969)。
- 5) Juliano, B.O.、A Simplified Assay for Milled Rice Amylose, Cereal Science Today 16(10), P 334～338, 340, 360 (1971)。
- 6) 堀内久弥、竹生新治郎、谷達雄、穀類澱粉の性状に関する研究、農化 35(6)、P 543～548 (1961)。
- 7) 五十嵐俊成、北海道米の澱粉分子構造に及ぼす登熟温度の影響と新食味評価法に関する研究、道立農試報告第 127 号、P 27～32 (2010)。
- 8) 後藤英次、北海道における高品質米生産に関する土壌科学性と合理的施肥法の研究、道立農試報告第 116 号、P 35～48 (2007)。

蛋白質含有率に影響する栽培条件

(道総研 中央農試 長田亨)

1. はじめに

北海道は東北以南に比べ冷涼な気候であり、稲の生育期間は短い。それゆえ気象変動は稲の生育に大きく影響し、収量や玄米品質、白米蛋白質含有率が大きく変動する。概して、冷害年には収量が低下するだけでなく、白米蛋白質含有率は高くなり食味不良の一因となる。また、作付地域によって気象条件や土壌条件が異なり、同一年次における地域や栽培条件による蛋白質含有率の変動幅は大きい(図1)。そのため、産米の食味や品質の均質化を図るために、栽培地帯・土壌区分別に施肥標準量を設定し、さらに、産米集荷時には、品種別に玄米品質と蛋白質含有率による区分集荷が実施されている。今回は、北海道米の食味向上かつ平準化に向けた取り組みで、これまでに得られた低蛋白米生産に関する知見や栽培技術について紹介する。

2. 低蛋白米生産に向けた肥培管理技術

過剰な窒素施肥は、産米の蛋白質含有率を高め食味低下を招く。広大さゆえに気象や土壌などの栽培環境が地域により大きく異なる北海道では、水稻栽培における窒素施肥標準量が地帯別・土壌型別に設定されている。水稻栽培地域を14地帯20区分に分け、区分別および土壌型別に過去の収量実績より算出した基準収量(390~570kg/10a)を設け、この基準収量に対応して土壌型別に窒素施肥標準量5.0~9.5kg/10aが設定されている(表1)。さらに土壌診断に基づく施肥対応では、窒素肥沃度を湛水培養窒素(40℃1週間培養法)で評価する土壌窒素肥沃度水準に応じて、施肥標準量から+0.5~-1.0kg/10aの範囲で施肥量を増減する。その他、堆肥などの有機物施用や前年秋および融雪後の土壌乾燥程度によって窒素施肥量を増減する。上記によって算出される窒素施肥量は白米蛋白質含有率7.0%以下の安定生産を行うための値である。

また、施肥法について北海道では府県に比べて初期生育が極めて重要であることから、基肥重点施用となる。窒素追肥の土壌診断基準値も示されているが、通常の移植栽培の場合、実際に追肥を必要とする圃場は限られる。基肥では主に全層施肥と側条施肥が実施されている。側条施肥では生育前半の窒素吸収が促進され、初期生育向上の効果が高いため低蛋白米生産に有効である。全層・側条組み合わせ施肥を実施する場合の窒素施肥量は、側条施肥量を概ね3.0~4.0kg/10a程度とし総窒素施肥量を0.5kg/10a減ずる。

ケイ酸肥料の施用は成熟期茎葉のケイ酸/窒素比を高め、窒素玄米生産効率が向上し、蛋白質含有率が低下する。ケイ酸肥料の効果は基肥よりも追肥で高く、幼穂形成期1週間後に20kg/10a程度のケイ酸質資材の施用が有効である。低蛋白米生産における土壌中の可給態ケイ酸含量の土壌診断基準値は16mg/100g(40℃-1週間湛水静置法)と定められているが、多くの圃場でこれを下回る。そのため、土壌改良材や追肥によるケイ酸質資材の活用が推奨されている。

密植栽培は初期生育量が早期に確保され穂揃い性が向上する。また、株当たりの窒素吸収量が抑制されることから窒素制御技術として有効である。その結果、蛋白質含有率が低下するとともに、収量性、玄米品質も向上する。密植栽培は初期生育の不良な地帯において特に効果が高い。

3. 気象の影響と対策技術

北海道の水稲栽培における冷害対策は極めて重要である。冷害による不稔の発生は減収を招くだけでなく、蛋白質含有率を高め食味を低下させる。蛋白質含有率は不稔の発生が多いほど高まる。そのため、冷害危険期およびその前歴期間での深水灌漑を励行し圃場水温を高めることにより、稔実に必要な充実花粉数を確保することが重要である（表2）。また、不稔の発生量は施肥条件によっても助長または緩和される。過剰な窒素施肥による冷害危険期における稲体窒素濃度の上昇は不稔発生を助長する。一方、前項で述べたようにケイ酸肥料は窒素玄米生産効率を高め低蛋白化に有効だけでなく、冷温による不稔発生を抑制する効果がある。

強風が吹走する地帯では防風網や防風林などの防風対策も低蛋白米生産に有効である。生育初期における防風処理の効果は灌漑水の水温上昇に現れ、初期生育が改善され乾物生産量が増加する結果、窒素玄米生産効率が高まり、蛋白質含有率は低下する。

4. 圃場、土壌管理による低蛋白化技術

春に速やかに融雪し圃場の乾燥を促進することは、耕起等の圃場準備が順調に進むことに加えて、低蛋白米生産にも有効である。土壌の乾燥化が進むことにより、土壌窒素の無機化が促進され、水稻の初期生育向上につながる。さらに乾燥期間の確保により、酸素が土層に主に酸化鉄の形で蓄えられ、その後の湛水期間における作土の土壌還元を抑制する。その結果、水稻の根が健全に生育し、生育、収量、品質を高める。土壌中の鉄が不足する圃場では、その効果が不十分となるため、鉄資材の施用や鉄含量に富む土壌を客土することで改善できる。融雪促進には気温が高まる3月中旬ごろにケイ酸供給を兼ねた、ケイ酸質資材の散布が推奨されている。融雪水を速やかに排除し乾燥を促すためには、前年収穫後の心土破碎や圃場内作溝明渠などの排水対策を施すことが有効である。また、収穫後に放置された稲わらは、水分を保持し、土壌乾燥の妨げとなるので、速やか搬出することが望ましい。

さらに、放置した稲わらの鋤込みは有機物分解時に酸素が消費され、土壌還元を促進する。そのため、硫化水素などの有害物質が生成され根の活性が低下し、生育、収量、品質が低下する。また、稲わらに含まれる窒素は生育後期に稲に吸収される割合が高く、蛋白質含有率を高める要因となる。この悪影響は稲わらの分解が緩慢な湿田型土壌や寒冷な地帯において顕著である。これを回避するため、稲わらは堆肥化し圃場還元することを推奨している。ただし、どうしても、搬出・堆肥化が困難な場合には、稲わらを裁断し、収穫後できるだけ早い時期に土壌表面に混和し分解を促進することで、稲わら鋤込みによる影響が軽減される（図2）。

泥炭土は道内に広く分布し、その水田では高蛋白米となる危険性が高い。これは水稻の生育後期における土壌由来の窒素供給量が多いためである。その対策としては、客土が有効であるが、実際ほとんどの圃場ですでに客土が行われている（図3）。さらに近年提案された砂質客土埋設工法は作土層と泥炭土層の間に砂質土壌を客土することにより、根の伸長を抑制し根域を制限する。その結果、生育後期の窒素吸収が抑制され蛋白質含有率は低下する。浅耕代かきもまた同様の効果によって、泥炭土圃場における低蛋白化に有効である。

5. 低蛋白米生産に向けた支援技術

衛星リモートセンシング技術により作成した「タンパクマップ」では、現地調査や実際の分析を

経ずに、広い地域内における蛋白質含有率の差異を把握ができる。また、解像度の高い衛星を利用すれば、圃場一筆内の蛋白質含有率の変動まで表わすことができる。土壌区分や収量実績等と併せ、周辺の地域や圃場間における比較によって、単位ごとに改善策を立てることも可能となる。

参考文献

- 1) 丹野久 2012. 北海道における良食味低蛋白米の生産技術. 米の外観・食味研究の最前線 [16]. 農業および園芸 87(2) : 233-249
- 2) 北海道編 2010. 北海道施肥ガイド 2010. II 水稻. 14-32
- 3) 北海道米麦改良協会編 2011. 北海道の米づくり 2011 年版. 1-310

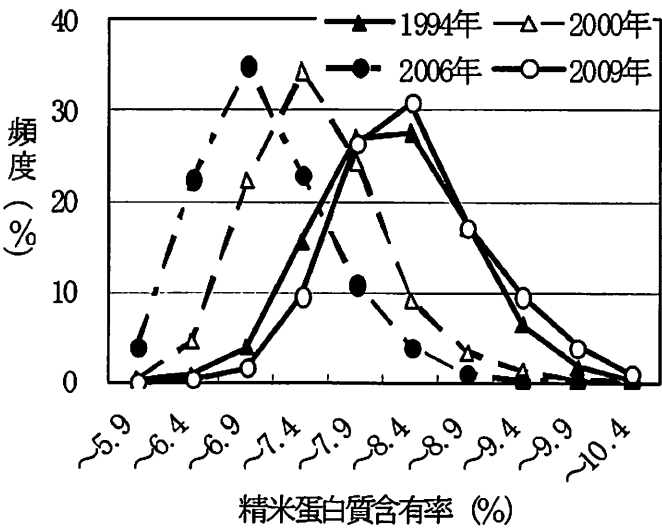


図1 北海道全域における蛋白質含有率の頻度分布
品種は「きらら 397」, 2009 年は冷害年, 北海道米麦改良協会北海道米分析センター分析値による。

表1 基準収量に応じた施肥標準量（北海道施肥ガイド2010）

基準収量 (kg/10a)	全量全層施肥における窒素施肥量 (kg/10a)					P ₂ O ₅ (kg/10a)	K ₂ O (kg/10a)
	低地土（乾）	低地土（湿）	泥炭土	火山性土	台地土		
390				7.0	6.0	8.0	8.0
420	7.0	6.5	5.0	7.5	6.5		
450	7.5	7.0	5.5	8.0	7.0		
480	8.0	7.5	6.0	8.5	7.5		
510	8.5	8.0	6.5	9.0	8.0		
540	9.0	8.5	7.0	9.5	8.5		
570	9.5	9.0	7.5				

注1 各地帯区分・土壌区分の基準収量に応じ、施肥量を算定する。
注2 実際の各圃場の収量水準に応じ、窒素施肥量を±0.5kg/10a の範囲で増減する。
注3 全層・側条組合せ施肥を実施する場合の窒素施肥は、側条施肥を 3.0～4.0kg/10a 程度とし、総窒素施肥量を表の値から 0.5kg/10 a 減肥する。

表 2 冷害危険期における深水灌漑の効果

	出穂前最低気温および水温（出穂日＝0）						不稔 %	千粒重 g	蛋白質 含有率 %	アミロース 含有率 %	食味官能 評価 総合値 ²⁾
	-29～ -25日	-24～ -20日	-19～ -15日	-14～ -10日	-9～ -5日	-4～ 0日					
深水	18.4	18.3	18.9	17.2	20.3	20.9	16.5	20.6	6.4	18.7	0.62
浅水	18.8	17.5	18.0	16.2	19.6	19.9	39.3	20.4	7.1	17.3	0.38
気温	16.0	14.7	15.0	13.3	17.8	17.7					

- 1) 浅水は5cm程度、深水は前歴10cm、危険期20cmで行った。
2) 「ほしのゆめ」（タンパク質：6.5%, アミロース：23.8%）を標準として評価。
供試品種は「ゆめぴりか」, 中央農試岩見沢グライ低地土, 後藤（2009）による。

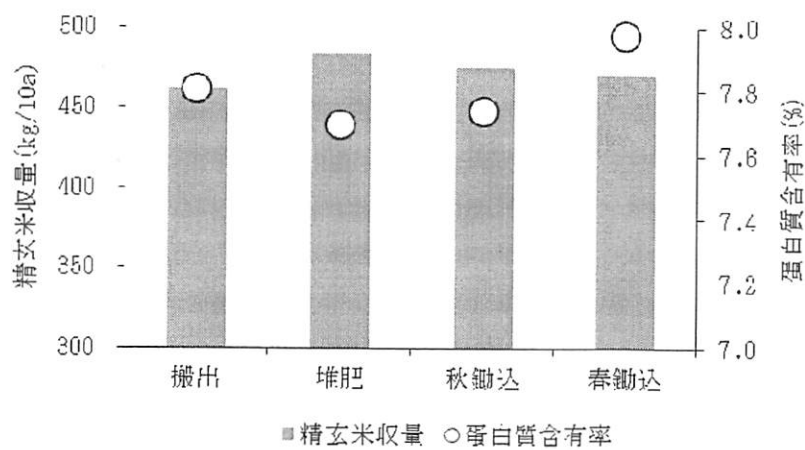


図 2 稲わら鋤込みが収量および蛋白質含有率に及ぼす影響
中央農試泥炭土、稲わら連用試験（1999-2010）より

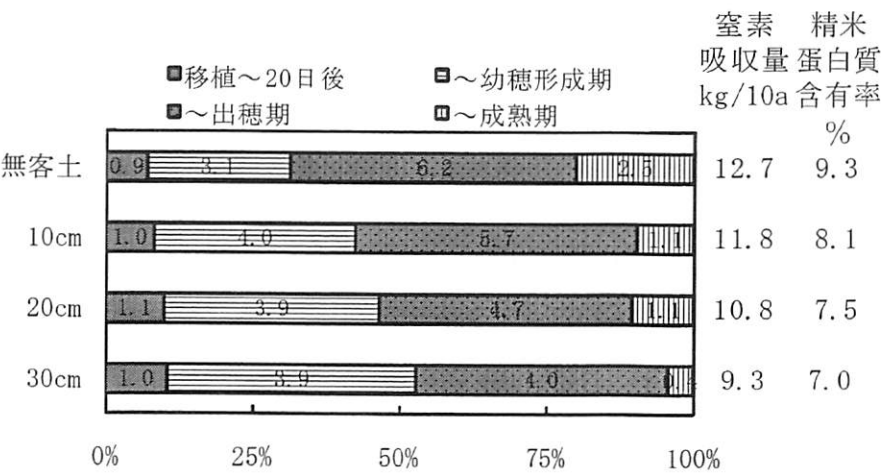


図 3 泥炭土での客土試験における時期別窒素吸収率と蛋白質含有率の比較
左端の数字は客土深。柳原（2002）による。

澱粉構造等から見た食味特性

北海道立総合研究機構 農業研究本部 上川農業試験場 五十嵐俊成

1 背景と目的

米は約 70%以上が澱粉で構成されており、胚乳澱粉はアミロースとアミロペクチンの 2 つの分子から構成されている。アミロペクチンはイネ胚乳澱粉の約 80%以上を占める主要成分であり、その分子構造の差異はアミロース以上に米飯の物理性に大きく影響すると考えられている。

近年、アミロペクチンの分子構造の解析法が開発され、アミロペクチン鎖長分布が米の食味や物性に大きく関与していることが明らかとなってきた。例えば、アミロペクチン 100%で構成される糯米では、餅生地硬化性が品種や気象条件で異なることが知られていたが、その要因は、アミロペクチンの分子構造が関与しており、硬化性の高い糯米のアミロペクチンは長鎖が多く、逆に硬化性の低い糯米のアミロペクチンは短鎖が多いことが明らかとなった。また、登熟温度が低いほど、アミロペクチン短鎖の割合が増加することが明らかとなっている¹⁾。

これまで、澱粉と食味の関連性については、アミロースとアミロペクチンのバランスと漠然と理解されてきたが、実際には胚乳澱粉の約 80%以上を占めるアミロペクチンの分子構造の差異が物性に大きく影響しており、その分子構造は、澱粉を合成する時期の温度条件により、アミロペクチン合成に関わる遺伝子の発現や酵素活性のバランスが変化し、その結果として鎖長分布が変動すると考えられている。

そこで、本報告では、北海道における澱粉の分子構造等から見た食味特性を明らかにし、澱粉の分子構造に着目した、育種選抜に活用できる新しい分析方法について述べる。

2 澱粉の構造と生合成

澱粉はグルコースのみらなる多糖で、アミロースとアミロペクチンの 2 つの分子から構成されている。基本構造となる単位鎖は、

α -1,4-結合のみで連結したグルコース残基からなる糖鎖である。還元性末端基 (ϕ) をもつ単位鎖を主鎖、主鎖または他の単位鎖に結合している単位鎖を側鎖という。アミロペクチンは図 1 に示したクラスター構造をしており、構成グルコース残基の 6 位に他の単位鎖を結合しない単位鎖を A 鎖、結合す

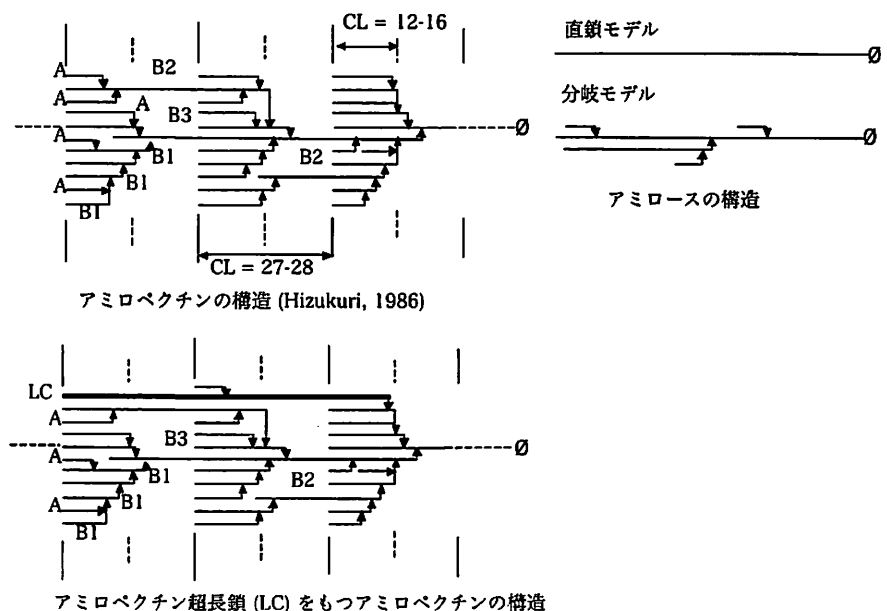


図1 アミロースとアミロペクチンの構造

る単位鎖を B 鎖, C 鎖は還元末端基を有する単位鎖である²⁾。

澱粉の生合成に関与する酵素は、少なくとも 4 種である。澱粉生合成の前駆体である ADP-グルコースを供給する ADP-glucose pyrophosphorylase (AGPase; EC 2.7.7.27)、ADP-グルコースのグルコースをグルカン鎖の非還元末端基に転移してグルコースポリマーを生成する starch synthase (EC 2.4.1.12)、ならびにアミロース様分子の α -1,4 結合を切断し α -1,6 結合で転移して、アミロペクチンを生成する starch branching enzyme (EC 2.4.1.18)。さらに、debranching enzyme (isoamylase と pullulanase)が知られている。

2 北海道米の澱粉の分子構造と性質³⁾

秋田県産の「あきたこまち」を比較品種として、北海道の主要品種である「きらら 397」、「ほしのゆめ」、低アミロース突然変異形質 *dull* を有する「彩」を供試品種とした。まず、ラピッド・ビスコ・アナライザーを用いて熱糊化特性を調べた。「ほしのゆめ」・「きらら 397」は最高粘度が低く、ブレイクダウンが小さく、Setback (最終粘度-最低粘度) が高いのに対して、低アミロース品種の「彩」と「あきたこまち」は、最高粘度が高く、Setback は低かった。この熱糊化特性の違いは、澱粉の分子構造の差異に基づいていることが明らかとなった。

ヨウ素親和力から求めた真のアミロース含量は、「あきたこまち」が 15.6%であったが、「ほしのゆめ」・「きらら 397」では約 18%であった。また、アミロペクチンのヨウ素親和力を無視した見かけのアミロース含量も同様の傾向を示した。さらに、北海道米のヨウ素親和力は「あきたこまち」に比べ、アミロースではやや小さいのに対して、アミロペクチンでは大きく、特に「ほしのゆめ」・「きらら 397」では、「あきたこまち」の 2.5 倍であった (表 1)。

表1. ヨウ素親和力とアミロース含量

品種	ヨウ素親和力, IA (g/100 g)		アミロース含量 (%)	
	アミロース	アミロペクチン	真 ^a	見かけ ^b
ほしのゆめ	19.2	0.5	17.7	19.0
きらら397	19.3	0.5	18.0	19.3
彩	19.7	0.3	15.5	16.4
あきたこまち	20.1	0.2	15.6	16.6

^a (IA defatted starch-IA amylopectin) / (IA amylose-IA amylopectin)×100.

^b (IA defatted starch / 20)×100.

インディカ米など、老化しやすい米のアミロペクチンには、アミロース様の長いアミロペクチン超長鎖(アミロペクチン LC)が存在することが知られている⁴⁾。「ほしのゆめ」・「きらら 397」では、アミロペクチンのヨウ素親和力が「あきたこまち」よりも 2.5 倍高いことから、「ほしのゆめ」と「きらら 397」のアミロペクチン分子にはアミロペクチン LC 含量が多いことが示唆された。

そこで、蛍光標識グルコース HPLC 法でアミロペクチンの単位鎖長分布を調べた結果、「ほしのゆめ」と「きらら 397」のアミロペクチン LC 含量は、「あきたこまち」に比べて多かった。重量分布から求めたアミロペクチン LC に相当する炭水化物量は、「あきたこまち」が最も少ない 1.1%、次いで「彩」が 1.7%で 1%台であるのに対して、「ほしのゆめ」では 3.7%、「きらら 397」では 3.9%で「あきたこまち」の 3.5 倍以上であった。

3.アミロペクチン LC 含量に及ぼす登熟温度と品種の影響⁵⁾

アミロペクチン LC 含量は、炊飯米の物性と密接な関係があることが明らかにされている。これまで北海道米の選抜指標としてきた見かけのアミロース含量は、アミロペクチン LC 含量も含まれた値であることから、今後は見かけのアミロース含量に加えて、アミロペクチンの構造に着目した選抜が必要である。

アミロペクチン LC はアミロース合成酵素である GBSSI により合成されることが明らかとなっている。アミロース含量は登熟温度が低いほど高いことが知られているが、アミロペクチン LC 含量の温度反応性は知られていない。そこで、アミロペクチン LC 含量に及ぼす登熟温度と品種の影響について検討した。

「きらら 397」を異なる温度条件で栽培し、澱粉をアミロペクチンとアミロースに分別調製し、アミロペクチンの鎖長分布を調べた。その結果、アミロペクチン LC 含量は低温ほど増加する傾向が認められた (表 2)。

表2.「きらら397」のアミロペクチン単位鎖長分布 (重量分布)。

サンプル	登熟温度. (°C) 昼/夜	A+B1 (%)	B2+B3 (%)	Amylose + amylopectin LC (%)	Amylopectin LC (%)	(A+B1) (B2+B3)
澱粉	21/17	64.0±0.5*	17.8±0.4	18.2±0.6		3.6±0.1
	25/21	67.3±2.3	18.3±2.3	14.4±0.5		3.7±0.6
	29/25	67.4±1.3	20.3±0.1	12.3±1.3		3.3±0.1
アミロペク チン	21/17	75.8±1.3	21.7±0.4		2.58±0.89	3.5±0.1
	25/21	75.2±0.8	23.5±0.6		1.30±0.62	3.2±0.1
	29/25	74.4±0.6	25.1±0.4		0.48±0.27	3.0±0.1

*Mean ± SD, SD = Standard deviation (n=3).

さらに、うるち品種と低アミロース品種のべ 10 品種を用いて登熟温度がアミロペクチン LC 含量に及ぼす影響を検討した (図 2)。系統 A を除き、アミロペクチン LC 含量は、いずれの品種とも登熟温度が高いほど低下した。同一登熟温度におけるアミロペクチン LC 含量の品種間差は小さく、いずれの品種もほぼ同等であった。また、うるち品種と低アミロース品種のいずれも、見かけのアミロース含量とアミロペクチン LC 含量の間には有意な正の相関が認められた (図 3)。アミロペクチン LC 含量の範囲はうるち品種と低アミロース品種で差はなく、低アミロース品種はうるち品種に比べて見かけのアミロース含量に占めるアミロペクチン LC 含量の割合が高い傾向が認められた。

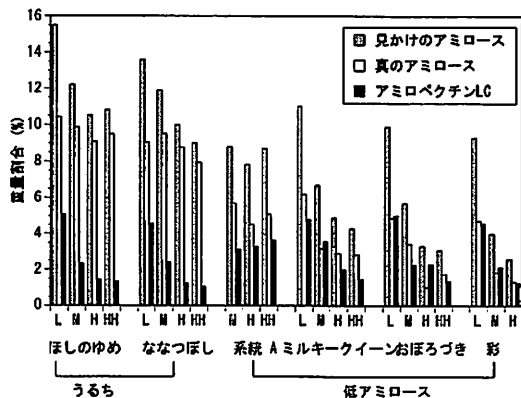


図2 登熟温度と見かけのアミロース、真のアミロース、アミロペクチンLC含量の関係
登熟温度 昼/夜: L, 22/16; M, 26/20; H, 30/24; HH, 34/28

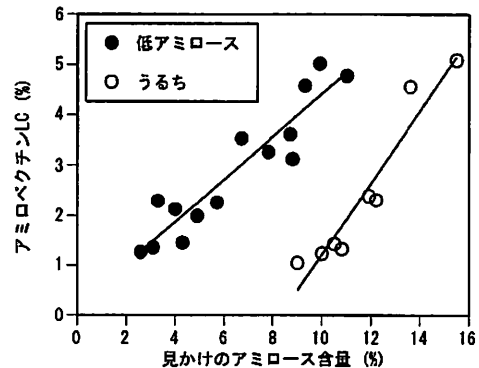


図3 見かけのアミロース含量とアミロペクチンLCの関係

●: $Y = 0.177 + 0.425X$, $r = 0.935$ $p < 0.0001$, $n = 14$
○: $Y = -5.942 + 0.716X$, $r = 0.959$ $p < 0.001$, $n = 8$

アミロペクチン LC 含量の 1℃当たりの変動量は、19～23℃の範囲では 1℃当たり 0.542%、23～27℃では 0.152%、27～31℃では 0.037%で、低温ほど変動が大きかった (図 4)。したがって、北海道のように低温条件で登熟する地域ではアミロペクチン LC 含量が変動し易いことが明らかとなった。

さらに、見かけのアミロース含量とアミロペクチン LC に及ぼす登熟温度と品種の影響を重回帰分析により評価した結果、見かけのアミロース含量は品種と登熟温度で 95%説明でき、登熟温度の影響は品種の 2.6 倍であったのに対して、アミロペクチン LC では 77%説明でき、登熟温度の影響は品種の 8.6 倍で、品種よりも登熟温度の影響が大きいたことが明らかとなった (表 3)。

一方、見かけのアミロースとアミロペクチン LC の差から求めたアミロース含量は、登熟温度よりも品種の影響が大きいたことが明らかとなった。

表3. 見かけのアミロース、アミロペクチン超長鎖、真のアミロースに及ぼす品種と登熟温度の影響

成分	ソース	DF	Sum of squares	F Ratio	Prob>F	Rsquares	N
アミロース	品種	9	282.1	31.4	<.0001	0.95	39
	登熟温度	3	242.2	80.9	<.0001		
アミロペクチンLC	品種	9	18.8	2.5	0.03	0.77	38
	登熟温度	3	54.3	21.6	<.0001		
真のアミロース*	品種	9	287.9	14.2	<.0001	0.86	38
	登熟温度	3	63.6	9.4	0.0002		

ANOVA, Analysis of variance. * Calculated from (amylose content-amylopectin LC content).

アミロペクチン短鎖画分 (A+B1)、長鎖画分 (B2+B3)、見かけのアミロース (Amylose+LC)、アミロペクチン超長鎖 (LC)の各成分について、温度反応性を調べた結果、B2+B3は、登熟温度が高いほど多くなる傾向であったのに対して、Amylose+LCとLCは、少なくなる傾向であった。また、A+B1とAmylose+LCは品種間差が大きかった (図5)。これまで、品種の選抜指標として、品種間差の大きい見かけのアミロースに着目してきたが、A+B1についても着目することが重要と考えられた。

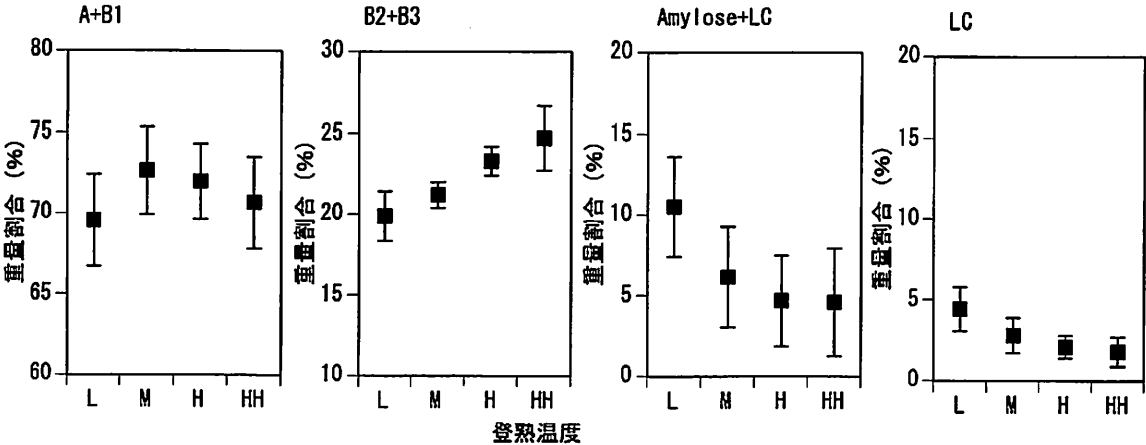


図5 異なる登熟温度で栽培された10品種の枝切り澱粉における各画分の重量割合
登熟温度 昼/夜: L, 22/16; M, 26/20; H, 30/24; HH, 34/28; エラーバーは標準偏差

4. マルチチャンネル検出器を備えた新たなオートアナライザー⁶⁾

(1) マルチスペクトルオートアナライザーの概要

水稻育種の現場で、アミロペクチンの構造解析を行なうことは労力的に困難である。ヨウ素澱粉反応は、澱粉の基本構造である α -1,4-グルカンとヨウ素が複合体を形成して呈色する反応である。この呈色度は α -1,4-グルカンの鎖長により異なることが知られている。つまり、ヨウ素吸収曲線は α -1,4-グルカンの鎖長分布を反映したものと捉えることができると考えられる。

そこで、従来のオートアナライザーにヨウ素吸収曲線が自動測定できるマルチチャンネル検出器を備えた新たなオートアナライザーを開発し、育種選抜に活用できる簡易な老化性指標 (RI) の推定法を検討した。

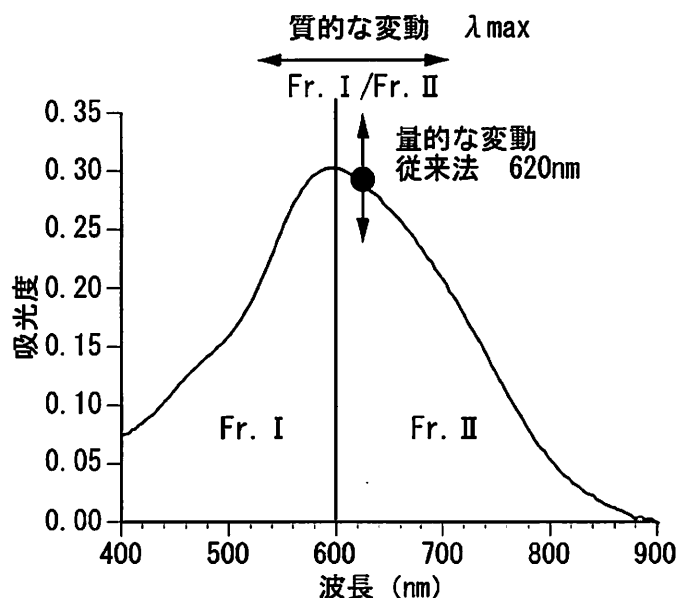


図6 ヨウ素吸収曲線の概念図 (五十嵐ら, 2009)

新しい装置は、ヨウ素吸収曲線をフォトダイオードアレイにより連続流れ分析において瞬時に測定するとともに、従来の 620nm の吸光度に加えて、ピーク面積 (Σ 400~900 nm)、最大吸収波長 (λ max)、400 nm~600 nm の吸光度の積算値 (Fr.I) と 600 nm~900 nm の吸光度の積算値 (Fr.II) とのそのピーク面積比 Fr.I/II 比を求め、量的な変動と質的な変動を測定できるのが特徴である (図 6)。

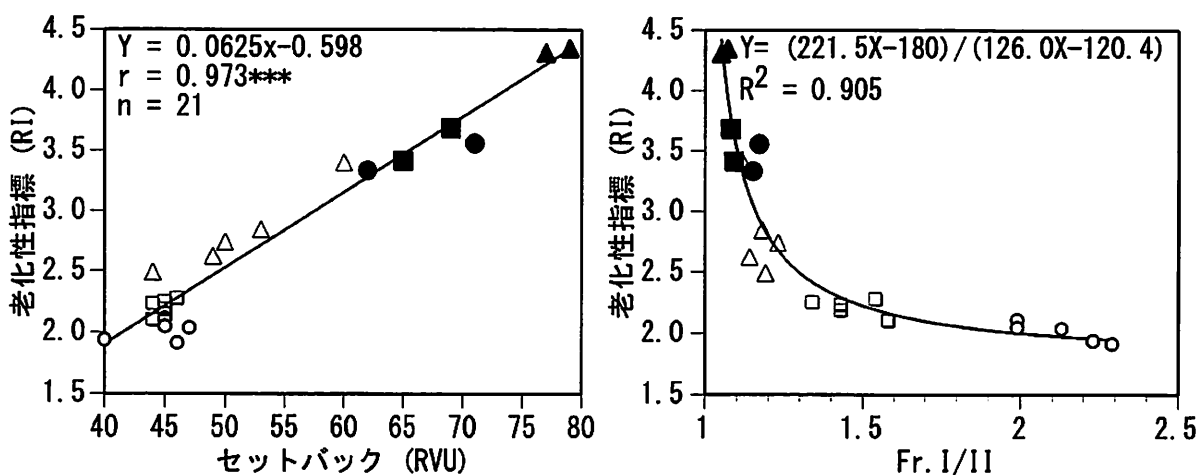


図7 セットバックおよびFr. I/IIと老化性指標の関係 (五十嵐ら, 2009)

老化性指標 (RI) = $(-0.105 - 0.0081 \times \text{最高粘度}) - (0.0025 \times \text{最低粘度}) + (0.035 \times \text{最終粘度})$ (大坪ら, 2007)

大坪ら⁷⁾が提唱した老化性指標 (RI)はRVAのセットバックと高い正の相関関係 ($r = 0.973^{***}$, $n = 21$)があり、ピーク面積比 Fr.I/II と老化性指標 (RI) の関係から、 $Y = (221.5X - 180) / (126.0X - 120.4)$ ($R^2 =$

0.905) の回帰式を得た (図 7)。

(2) マルチスペクトルオートアナライザーによる良食味米の選抜指標⁸⁾

育成材料および府県産良食味品種を供試して Fr.I/II とセットバックの関係調べた結果、負の双曲線を示した (図 8 左)。この関係に食味官能総合評価値を加えた等高線図を図 8 右に示した。食味官能総合評価値は-0.690～1.167であった。Fr.I/II は 1.22～1.33、セットバックは 85.0～111 の範囲であった。食味官

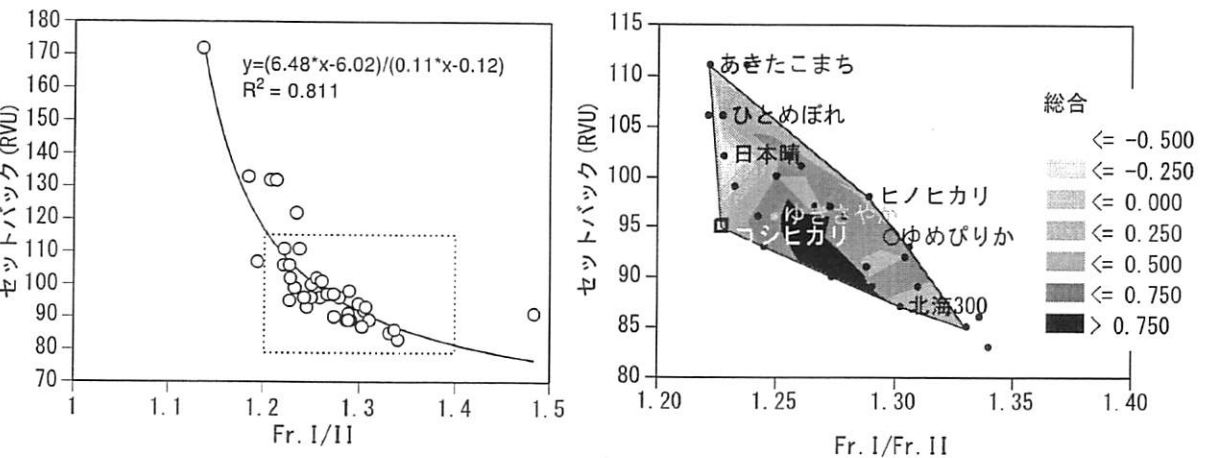


図8 Fr. I/IIとコンシステンシーおよび食味官能総合評価値の関係
右図は左図の点線部分を拡大し、食味官能総合評価値を等高線図で示した。

能総合評価値は、Fr.I/II が小さくセットバックが高いほど、低い傾向が認められた。食味官能総合評価値が最も高い領域は、Fr.I/II が 1.25～1.30 でセットバックが 95 以下の範囲であった。この範囲は双曲線の焦点付近と一致した。

図 9 にアミロペクチン短鎖の割合と Fr.I/II の関係を示した。アミロペクチン短鎖の割合と Fr.I/II の間には 0.1%水準で有意な正の相関関係があった。Fr.I/II は、アミロペクチン短鎖の割合が多い程、大きいことが明らかとなった。アミロペクチン短鎖は、アミロペクチンクラスターを構成する鎖に相当し、炊飯後の水分保持機能と密接な関係があり、アミロペクチン短鎖が多い程、柔らかい食味となると考えられる。図 8 から Fr.I/II の最適な範囲を 1.25～1.30 と設定すると、アミロペクチン短鎖の割合の適正範囲は 64～67%と推定された (図 9)。また、最大吸収波長とアミロペクチン短鎖の割合には負の相関関係が認められ、ヨウ素吸収曲線の最大吸収波長は 580～590 nm が最適範囲と考えられた (図 10)。図 11 にアミロペクチン短鎖の割合と食味官能評価値の「柔らかさ」と「総合」の関係を示したが、有意な相関は認められなかった。しかし、アミロペクチン短鎖の割合が 64%以上ではコシヒカリと同等以上の値を示した。一方、過度にアミロペクチン短鎖が多いと柔らか過ぎる場面も懸念され、67%前後が適正と考えられた。

これらのことから、アミロペクチン短鎖の割合は「冷めても柔らかく粘りのある米」の選抜指標として有効であるが、測定方法に手間がかかること、簡易迅速に分析が可能なマルチチャンネルオートアナライザーのヨウ素吸収特性値 Fr.I/II とアミロペクチン短鎖の割合は高い相関関係が認められることから、読み替えが可能であり、Fr.I/II 値で 1.25～1.30 が良食味米の目標値として妥当と考えられる。なお、最大吸収波長では 580～590 nm が目標値と考えられるが、最大吸収波長を解析するためにはピーク解析ソフトウェアが必要であり、吸光度の積算値の比である Fr.I/II の方が計算は簡単である。

以上のことから、マルチスペクトルオートアナライザーによる良食味米の選抜指標は Fr.I/II が 1.25～1.30

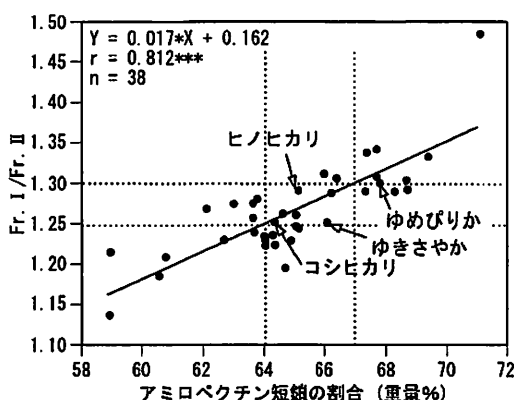


図9 アミロペクチン短鎖の割合とFr. I/IIの関係

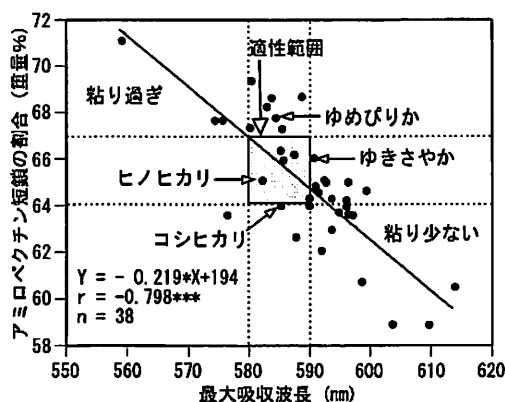


図10 最大吸収波長とアミロペクチン短鎖の割合

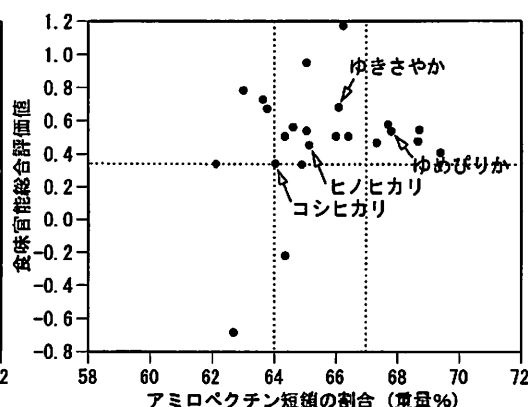
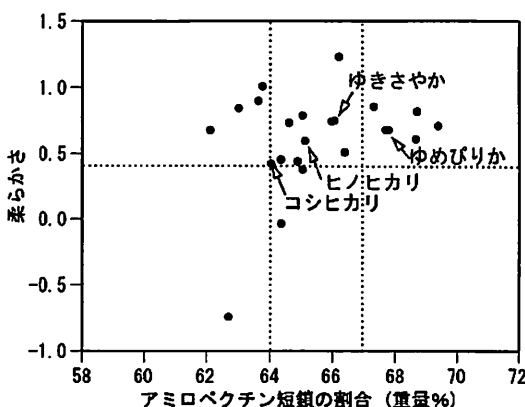


図11 アミロペクチン短鎖の割合と食味官能総合評価値の関係

と推定される。なお、最近育成された極良食味品種である「ゆきさやか」、「ゆめぴりか」はいずれも概ねこの範囲であった。本方法は従来のオートアナライザーによるアミロース含量の分析方法と全く同じ操作でヨウ素吸収曲線を自動測定できる初めての方法であり、アミロース含量、井ノ内ら⁹⁾の最大吸収波長、山下ら¹⁰⁾の二波長測定法に加え、ヨウ素吸収曲線のピーク面積、ピーク面積比 Fr.I/II をすべて同時に行うことによって、老化性指標 (RI) やアミロペクチン短鎖の割合の推定など多次元解析が可能となった。今後、新たな加工適性を備えた素材の探索などにおいてヨウ素吸収曲線を解析する場合、マルチスペクトル解析が可能な本装置は有効と考えられる。

5. 登熟温度を確保するための栽培技術¹¹⁾

(1) 移植苗の葉齢、出穂日、登熟期間とアミロース含量の関係

前章において、食味向上を図るため澱粉構造等から見ても登熟温度を確保することが重要であることを指摘した。

北海道においては登熟温度を確保するため、水稲地帯別栽培指標が設けられており、品種と苗質、移植時期が定められている。

とくに、移植苗の葉齢は出穂期の早晩に影響する。そこで、移植苗の葉齢がアミロ

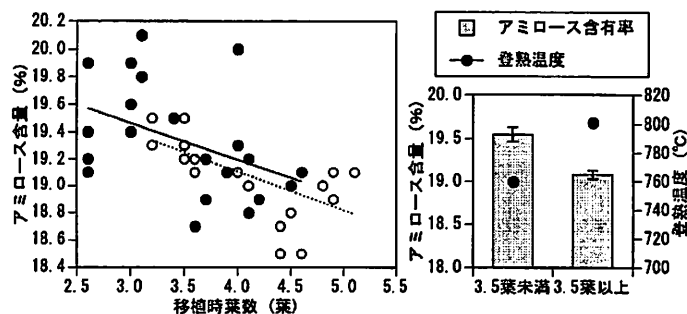


図12 移植時葉数とアミロース含有率の関係 (上川農試 1991, 1992年).
○: 1991年 $r = -0.634^{***}$, $n = 26$, ●: 1992年 $r = -0.446^*$, $n = 22$.
***, *: 0.1%, 5%水準で有意.

ス含量に及ぼす影響を検討した。まず、移植苗の葉齢（2.6～5.1葉）とアミロース含量の関係を図12に示した。移植苗の葉齢とアミロース含量にはいずれの年次とも負の相関（1991年: $r=-0.634^{***}$, $n=26$, 1992年: $r=-0.446^{*}$, $n=22$ ）があり、アミロース含量は移植苗の葉齢が進んでいるほど低下した。

北海道の水稲機械移植栽培基準における中苗の葉齢は概ね3.1～3.5程度である。そこで、中苗と成苗におけるアミロース含量の差異について、苗の葉齢を3.5葉以上と未満の2群に分割し、アミロース含量の平均値の差を検討した。その結果、葉齢3.5葉未満のアミロース含量の平均値は19.6%、登熟温度は760℃であった。これに対し葉齢3.5葉以上のアミロース含量の平均値は19.1%、登熟温度は801℃であった。また葉齢が3.5葉未満と以上のアミロース含量には1%水準で有意な差が認められた。

次に、出穂日別の登熟温度とアミロース含量の分布を図13に示した。全出穂期間の登熟温度は619～804℃に分布し、出穂期間の

登熟温度の平均は739.8±47.6℃で、出穂日が遅いほど登熟温度は低く、8月5日以降の登熟温度は低下しアミロース含量が上昇する傾向であった（図10 C, A）。各出穂日に出現した穂のアミロース含量は18.3～22.4%に分布し、全期間の平均は19.9±1.04%であった（図10 A）。出穂日別のアミロース含量の標準偏差は0.38～1.34%であり、中央値は1.01%で出穂日内においてアミロース含量は約1%の変動があった。調査したすべての穂のアミロース含量は15.2～22.8%に分布し、平均値は19.6±1.22%であった（図10 B）。

(2) 年次、移植時期、苗の種類がアミロース含量に及ぼす影響

アミロース含量を年次、移植時期、苗の種類の各要因別に最小2乗平均で示した（表4）。また、その分散分析表を表5に示した。

上川農試の結果では、アミロース含量の変動は年次、移植時期、苗の種類によりその98%を説明できたが、年次のみ有意（F値226.11, $p<0.0001$ ）であった。中央農試の結果では、アミロース含量の差異は年次、移植時期、苗の種類によりその88%が説明できたが、年次の効果が有意に大きく（F値60.87, $p<0.0001$ ）、次いで苗の種類でも有意（F値5.01, $p=0.04$ ）な差が認められた。

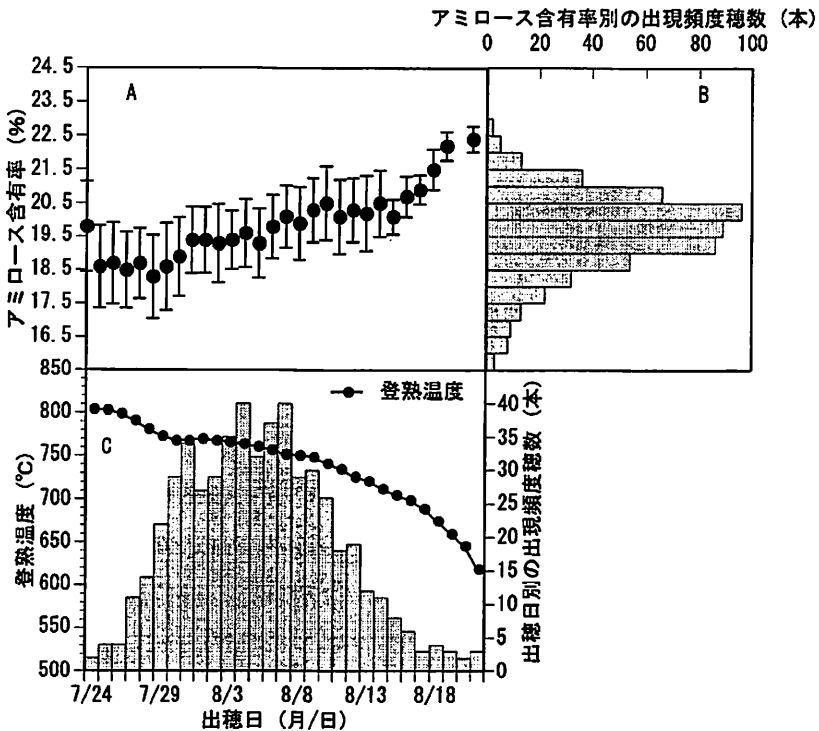


図13 出穂日別の登熟温度およびアミロース含有率（上川農試 1992年）。
A：出穂日とアミロース含有率の関係、エラーバーは各出穂日毎のアミロース含有率の標準偏差。B：アミロース含有率別の出現頻度穂数。C：各出穂日における穂数の出現頻度。

表4年次, 移植時期, 苗の種類がアミロース含量に及ぼす影響.

		水準	アミロース含量(%)		登熟温度(℃)	
上川農試 N=12	年次	1992	20.7	b	762	C
		1993	21.4	c	772	B
		1994	18.8	a	907	A
	移植時期	早期	20.4	a	814	A
		標準	20.2	a	813	A
	苗の種類	成苗	20.3	a	815	A
		中苗	20.3	a	811	B
中央農試 N=18	年次	1991	20.0	b	827	B
		1993	21.7	c	714	C
		1994	19.1	a	940	A
	移植時期	早期	20.0	a	838	A
		標準	20.3	a	827	Ab
		晩期	20.4	a	817	B
	苗の種類	成苗	20.0	a	841	A
		中苗	20.5	b	813	B

値は数量化理論Ⅰ類による最小二乗平均.

同一英小文字間には, 5%水準で有意差がないことを示す(最小2乗平均差の Student の t 検定).

表5年次, 移植時期, 苗の種類がアミロース含量に及ぼす影響(分散分析表).

試験地	要因	自由度	平方和	F 値	p 値(Prob>F)	自由度調整済み寄与率
上川農試 n=12	年次	2	14.11	226.11	<.0001	
	移植時期	1	0.16	5.24	0.06	0.98
	苗の種類	1	0.01	0.43	0.53	
中央農試 n=18	年次	2	20.51	60.87	<.0001	
	移植時期	2	0.78	2.32	0.14	0.88
	苗の種類	1	0.85	5.01	0.04	

6.まとめ

以上のことから、北海道米の老化しやすい特徴は、アミロースとアミロペクチン LC 含量が関与していることが示唆され、この欠点を補うため、「ゆめぴりか」や「ゆきさやか」など適度にアミロース含量が低い品種が育成され、北海道米の食味水準は著しく向上した。加えて、これらの品種はアミロペクチン短鎖画分が多く、柔らかくて冷めてもモチモチとした食感が持続され老化しにくい特性があることがわかってきた。

近年、北海道の登熟温度が高く推移しており、澱粉の観点から見ればアミロース含量やアミロペクチン

LC 含量も低下し、老化しにくい構造を有していると推察される。しかし、過去の気象から見れば十分な登熟温度を得られない年次が多い。したがって、安全出穂期間内に出穂させる必要がある。

安全出穂期間内に出穂させる手段として、育苗方法による苗の種類と移植時期を適正化することがあげられる。成苗と中苗では同時に移植した場合、平常年では1～2日、冷温年で2～3日の出穂差がある。また、出穂期は移植時期によっても変動する。一般的に早植によって生育が促進され、晩植にすると生育が遅延し出穂期も遅くなる。このように、育苗と移植時期による出穂期を調整する役割は大きく、品種（早晩性）、育苗（苗の種類）、移植時期の3要素を適切に組み合わせて、安全出穂期間内に出穂させることが重要である。

本研究では、アミロース含量を20%以下に低位安定化させるためには、出穂期後40日間日平均気温積算値（登熟温度）は800℃程度必要であり、8月5日までに収穫させることが必要であった。これらのことから、出穂促進技術として成苗移植（移植苗の葉齢3.6～4.0枚以上）が望ましいと考えられた。

7. 引用文献

- 1) 五十嵐俊成, 木下雅文, 神田英毅, 中森朋子, 楠目俊三 (2008): アミロペクチン単位鎖長分布による水稻糯品種の餅硬化性評価. *J. Appl. Glycosci.*, 55, 13-19.
- 2) 檜作進 (2003):「澱粉の分子構造」. 不破英次, 小巻利章, 檜作進, 貝沼圭二編「澱粉科学の事典」, 朝倉書店, p13-14.
- 3) 五十嵐俊成, 花城勲, 竹田靖史 (2008): 北海道産米の澱粉の分子構造と性質. *J. Appl. Glycosci.*, 55, 5-12.
- 4) Y. Takeda, S. Hizukuri and B.O. Juliano (1987): Structures of rice amylopectins with low and high affinities for iodine. *Carbohydr. Res.*, 168, 79-89.
- 5) 五十嵐俊成, 神田英毅, 木下雅文 (2008):登熟温度が米のアミロペクチン単位鎖長分布と超長鎖 (LC) 含量に及ぼす影響. *J. Appl. Glycosci.*, 55, 191-197.
- 6) 五十嵐俊成, 柳原哲司, 神田英毅, 川本和信, 政木一央 (2009): 米の食味評価のためのケモメトリックス手法による澱粉のヨウ素吸収曲線の解析. *日作紀*, 78, 66-73.
- 7) 大坪研一, 岡留博司, 井上茂 (2007): 穀類の食品物性値を表示する糊化特性測定装置. 日本特許第 3908227 号, 1-22.
- 8) 五十嵐俊成 (2011): 米の外観品質・食味研究の最前線(14)北海道米の澱粉の分子構造と新食味評価手法. *農業および園芸*, 86(12), 1184-1195.
- 9) 井ノ内直良, 池内南美, 高美正, 朝岡正子, 不破英次 (1996): 米のアミロース含量簡易測定法の検討. *応用糖質科学*, 43, 1-5.
- 10) 山下純隆, 馬場紀子, 森山弘信 (1994): 2 波長測定法による米のアミロース及びアミロペクチンの定量. *福岡農総試研報*, A-13, 13-16.
- 11) 五十嵐俊成, 古原洋 (2008):「きらら 397」における登熟温度および枝梗着生位置がアミロース含有率に及ぼす影響. *日作紀*, 77, p.142-150.

(4) 生産現場からみた技術的課題

(上川農業改良普及センター本所 桑原英郎)

1) 生産現場での低蛋白米生産技術実施状況

(1) 北海道の水稲生育の特徴と栽培技術について

北海道の稲作栽培地帯は道南から道北までと広範囲にわたり冷涼な気象条件下で栽培されている。生育の特徴から①生育期間が短い。②主稈葉数が少なく最高分げつ期の前に幼穂形成期を迎える。③穂孕期にたびたび低温の影響を受け不稔が多発する。低温による生育遅延や登熟不足による減収など安定生産を阻害する多くの要因がある。これらの条件を踏まえて初期生育を良好にする技術(成苗化、適正栽植密度、側条施肥など)や幼穂形成期から穂孕期、すなわち減数分裂期(冷害危険期)の深水管理などを実施している。

これら低温や冷害に負けない安定生産を目的とした生産技術は、低蛋白米生産を目指した技術と同じである。一方、北海道の特徴として1戸当たりの耕作面積が大きく、育苗ハウス面積や育苗箱の増加による育苗管理作業や移植作業の拡大をもたらしている。このため、たとえば密植栽培は労力が実施する上での制限要因となる場合がある。

(2) 低蛋白米生産技術の実施状況について

育苗型式は、1970年代に稚苗での機械移植が普及し1976年の冷害を機により安定性を目指した中苗移植機、さらに成苗移植機が開発された。H23年での成苗の普及面積割合は全道で67%となっている。上川管内の成苗移植面積率は75%と広く普及し定着している(表1)。しかし、近年育苗ハウスの高温化や水田面積の拡大による育苗の長期化によって老化苗や早期異常出穂の発生が懸念される(図1)。老化苗や早期異常出穂の発生は初期生育を阻害し、玄米品質低下や蛋白質含有率の上昇要因となる

水稲移植機は、初期生育を良好にする側条施肥移植機の導入が進んでいる。現在、生産現場で行われている施肥法は全層施肥および全層施肥と側条施肥の組み合わせ施肥がほとんどである。

北海道では、窒素施肥量の設定として「施肥標準」や「土壌診断に基づく施肥対応」が出され、さらに新品種・新技術に対応した「施肥ガイド」(H14、H22年改訂)により細かい対応が可能になった。生産現場では施肥ガイドを基に土壌診断値(可給態窒素:40℃1週間湛水培養法)や乾土効果を加味した施肥量を指導している。しかし、上川管内JAの窒素施肥量の実態を調査すると施肥基準よりも施肥量が多く多収を目指した栽培がある。最近の水田土壌分析値では、可給態窒素値が高く肥沃な土壌が多くなっている(図2)。肥沃な水田土壌が多いことや施肥窒素量の増加は低蛋白米生産に対しマイナスの影響がでている。窒素追肥は、過去に安定収量を図るため幼穂形成期や止葉期にかけて実施されていた。しかし、近年は、窒素肥沃土の低いほ場や砂質土壌など肥料持ちの悪いほ場を除いて、分追肥は実施されていない。窒素追肥は米粒中の蛋白質含有率を高め食味を低下させるなど収量、品質の向上をもたらさない場合があり、低蛋白米生産を目指した施肥時期の改善指導によって、止葉期や幼穂形成期の追肥技術は無くなった。

栽植密度の実態調査では、成苗の適正栽植密度は22~25株/㎡であるが約45%が基準に達せず疎植になっている(図3)。これは前述のとおり育苗労力や苗代施設の増大に対応できないためで

ある。

ケイ酸資材の施肥は光合成量の増加、受光態勢の改善、根活性の改善や枯れ上がりの抑制、病害虫被害の抑制など効果が認識されている。また、蛋白質含有率8%以下を目指した可給態ケイ酸指標が出され、ケイ酸不足土壌に対するケイ酸資材の施用が指導されている(図4)。H24年上川管内JAのケイ酸質資材施用実態を調査した結果、融雪材としての施用が多く、施用量は68.3kg/10aであった(表2)。幼穂形成期1週間後のケイ酸追肥技術は、蛋白質含有率の低下につながることから指導している。しかし、その施用効果が土壌やほ場条件によって不安定なところもあり普及面積は多くない。普及面積の拡大には明確な効果や簡便な施用方法の開発が求められる。

H23年稲わらの処理実態では、堆肥や飼料・敷わらが14%、すき込み73%(内春すき込み39%)、焼却5%程度である(表3)。稲わらを搬出して乾く水田作りが初期生育を高め低蛋白米生産に有効である。特に排水不良田での改善効果が大きく根域の拡大や土壌還元の軽減効果があるものの、秋の降雨によって稲わら収集作業が困難な年がある。また、他の農作業のためわらの搬出が出来ない例も多い。

北海道では水稻栽培期間にしばしば一時的または連続した低温や強風に見舞われることから、南空知など防風網の設置や防風林の造成などが行われている。しかし、設置する場所の確保や費用、設置後の農作業の影響、日陰作物の問題、年次によって防風効果が出にくいなどから十分に普及していない。

不稔歩合を軽減し稔実初数を確保することが低蛋白米生産につながることから、穂孕期の深水管理の重要性を認識し多くの農家は実施している。幼穂を低温から守る深水管理は水深を18~20cm確保する必要がある、水深管理を的確に行うため「水見番」が普及している。減数分裂期(冷害危険期)の実態調査から、前歴期間(幼穂形成期から10日間)の水深は5~10cmの実施率が80%、危険期(幼穂形成期後10~20日)では10cm以上の実施率が50~60%であった。ただし、基本となる冷害危険期の水深18cmを確保できている例は少ない(図5)。

2) 「ゆめぴりか」における低蛋白米生産の取組

平成20年に品種となった「ゆめぴりか」はアミロース含有率が適度に低い蛋白含有率が高まりやすい品種であった。このことから、普及センターは各地の「ゆめぴりか生産協議会」と連携し試験場の成績や現地実証試験から栽培上の問題点を整理し栽培指針や栽培目標を提案し、北海道の高級ブランド米としての確立を目指した取り組みを行っている。

「ゆめぴりか」は、①蛋白質含有率が高くなりやすい②耐冷性が劣る③いもち病耐病性が不十分④耐倒伏性がやや弱いなどの欠点が指摘されている。

栽培にあたり品種特性を理解した上で低蛋白生産が可能な土壌の選定や土壌窒素分析から施肥および栽植密度(密植)、冷害危険期の深水管理の励行を進めてきた。現地で取り組んだ「ゆめぴりか」低蛋白米栽培技術について述べる。

(1) 育苗

他品種と比べ苗の葉数は進む傾向にあるが、分けつが発生しにくく、初期茎数の増加が劣ることがわかった。葉色は淡く、第一鞘高が長く徒長しやすく健苗作りがむずかしい傾向にあり、こ

の対策として苗床追肥量と回数について検討した。成苗ポットでは苗代分けつを確保するため、2.5葉期以降3葉期展開前に追肥（窒素 0.5 g/箱）することで効果が確認された。また、2回追肥することにより苗の乾物重の増加、移植後の茎数増加の効果が認められた（図6，図7）。

(2) 栽植密度の適正化

栽植密度を高める（株間を狭くする）ことによって蛋白質含有率は低下することが確認された。栽植密度は成苗の基準内である 23.3 株/m²（株間 13 cm）で疎植よりも安定的に蛋白質含有率が低下した（図8）。

(3) 施肥

耐冷性が不十分であり、窒素施肥量が多いと不稔歩合が増加し蛋白質含有率も高まった（図9）。

(4) 深水管理

平成 21 年は 7 月下旬の低温によって不稔が多発した。この教訓から、前歴期間および冷害危険期にかけての深水管理の重要性を再認識した。また、不稔の多発が蛋白質含有率を高め食味低下を招いた（図 10）。

(5) アミロース含有率の変動

アミロース含有率は、登熟期間の気温が高い平成 22 年に低下し、「ほしのゆめ」に比較し年次変動が大きいことがわかった（図 11、12）。アミロース含有率の低減を図るために、適期内早植（5 月 25 日まで）を行い出穂の早期化（安全出穂期間）とともに穂揃性の良化に努めることが重要であることを認識した。

(6) 低タンパク米生産（表 4）のための要点と課題

- ①穂孕期の低温は不稔を多発させる。不稔軽減のため深水を徹底する。
- ②気象条件によってアミロース含有率や蛋白含有率が大きく左右される。
- ③水田の肥沃度（可給態窒素）と施肥窒素量の制御が必要である。
- ④穂揃性の向上を図るため苗質の良化と適期移植を図る。

3) 今後の低蛋白米生産の可能性

(1) 生産現場に希望すること

土壌条件や気象条件にあわせた肥培管理を確実に行うことで、新たな品種が開発されても低蛋白米生産は可能である。生産者は水田にあわせた施肥、健苗の適期移植や確実な水管理が実施できることが望まれる。

また、地域内の高位平準化のためには「ゆめぴりか」生産協議会が取り組んだように統一した栽培目標や指針を決めて実行できる生産者の組織化と生産体制の確立が必要である。

(2) 品種・技術開発に希望すること

稲作生産者は、どのような気象条件下でも蛋白質含有率の低い「美味しい米」の安定生産を目指している。このためには、育苗期間の高温でも早期異常出穂しない稲や登熟期間の温度に左右されずアミロース変動が少ない稲、初期の生育量を早期に確保出来る稲、倒伏や病害虫の耐性が強い稲など気象（低温、高温）に左右されない優良品種の開発を待ち望んでいる。

(3) 指導機関に希望すること

北海道のさらなる良食味米生産・販売の拡大には、試験研究、普及センター及び JA 営農指導、ホクレンと連携した生産体制の確立や生産技術情報などの迅速な伝達が重要である。また、生産者組織と一体となった販売体制の確立が必要である。

今後も北海道米の目指す目標(方向)を生産者、JA、普及センター、試験研究、ホクレンが共有し相互に持てる力を発揮することが府県産有名ブランドと肩を並べる産地評価の維持に必要と考える(表5)。

表 1 育苗型式別普及面積%(H23)

	中苗マット苗	成苗ポット苗
全道	31.1	67.0
上川	25.0	75.0

(米に関する資料 H24)

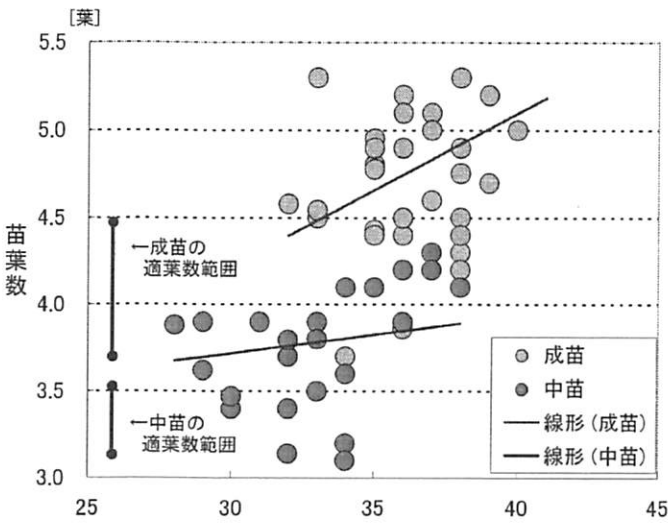


図 1 育苗日数と葉数
(H22 石狩普及センター稲作部会)

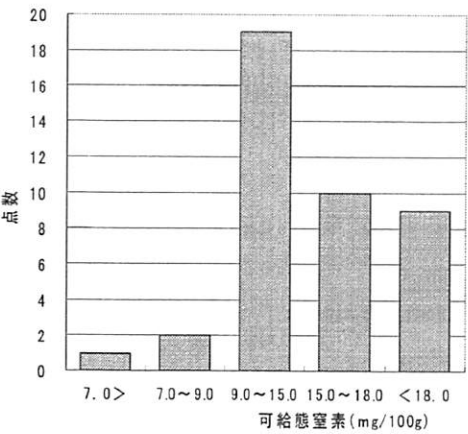


図 2 水田可給態窒素の分布
(H24 上川管内 A 農協)

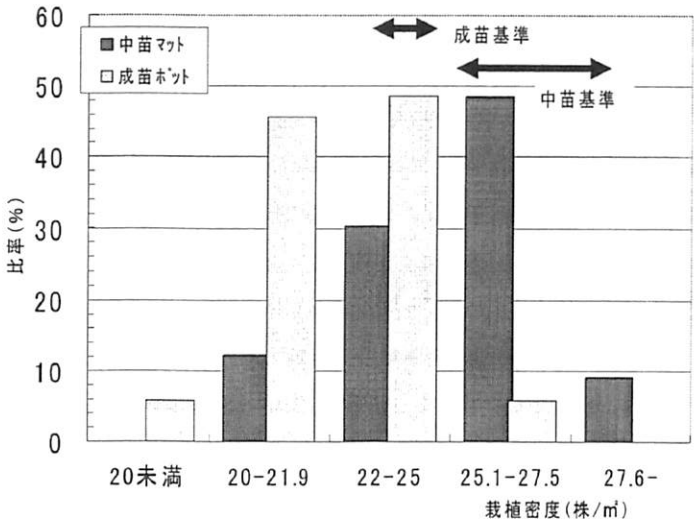


図 3 石狩管内における栽植密度
(H22 石狩普及センター稲作部会)

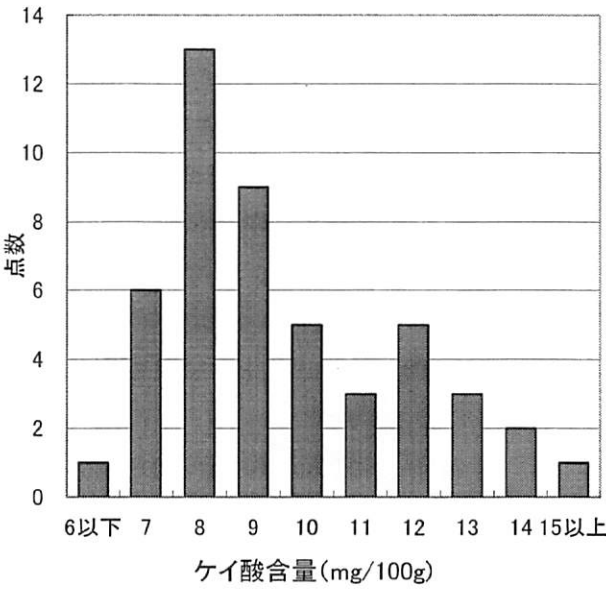


図4 水田土壌ケイ酸分布
(H24 上川管内A農協)

表2 ケイ酸資材施用実態

実施戸数%	76.1%
ケイ酸施用平均	68.3kg/10a
最大施用量	260kg/10a

(H24 上川管内A農協)

表3 稲わらの処理状況（％、H22）

すき込み	内春すき込み	堆肥化	飼料	敷わら	焼却
73.4	38.7	14.5	3	2.9	5.2

(H24 米に関する資料)

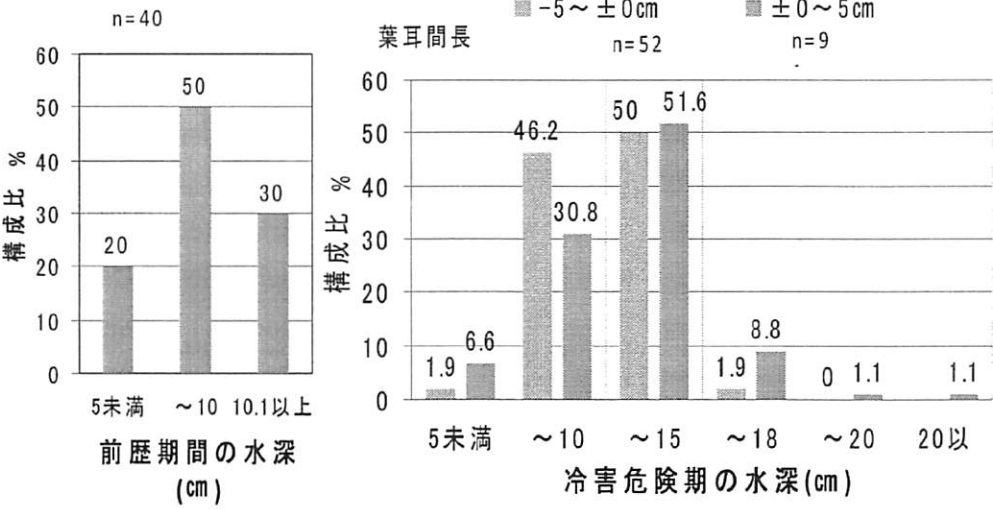


図5 「ゆめぴりか」の深水管理
(H22 「ゆめぴりか」栽培ほ場における冷害危険期の水深実態調査)

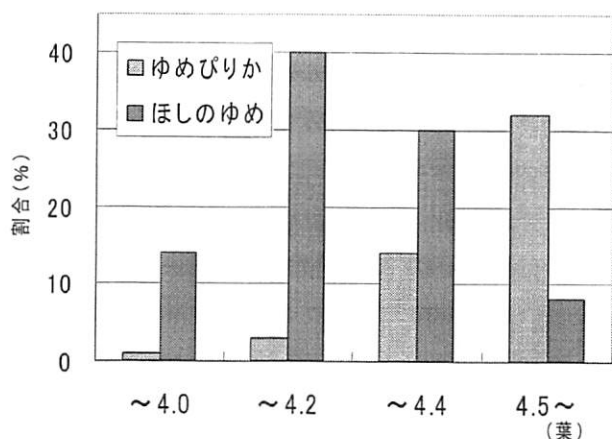


図6 「ゆめぴりか」での移植時苗の出葉割合 (H21 旭川市旭正)

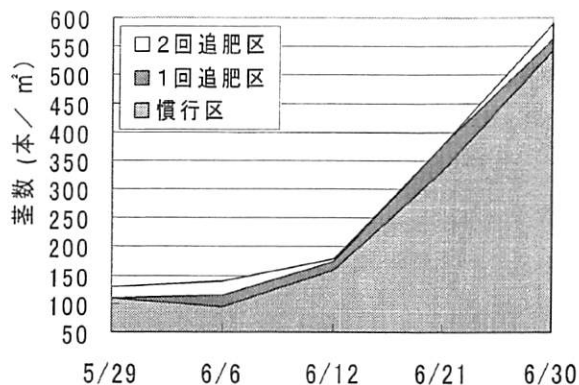


図7 「ゆめぴりか」での追肥回数による移植後の茎数推移 (H21 旭川市旭正)

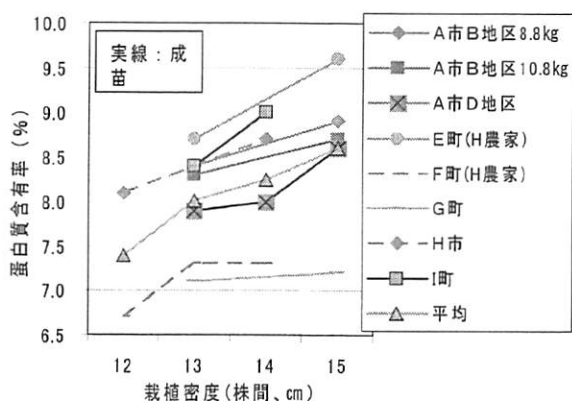


図8 「ゆめぴりか」での栽植密度と蛋白質含有率 (H21 上川管内)

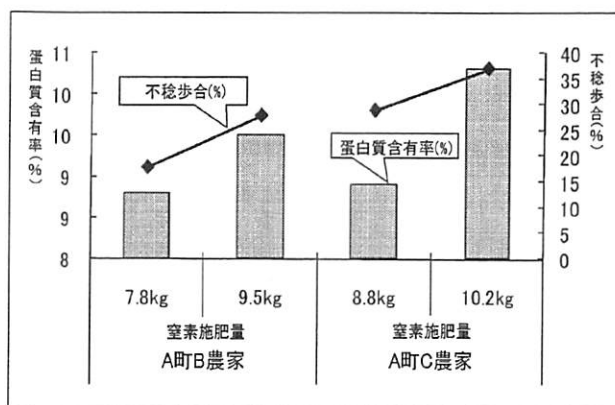


図9 「ゆめぴりか」での窒素施肥量と蛋白質含有率、不稔歩合 (H20-21 上川管内)

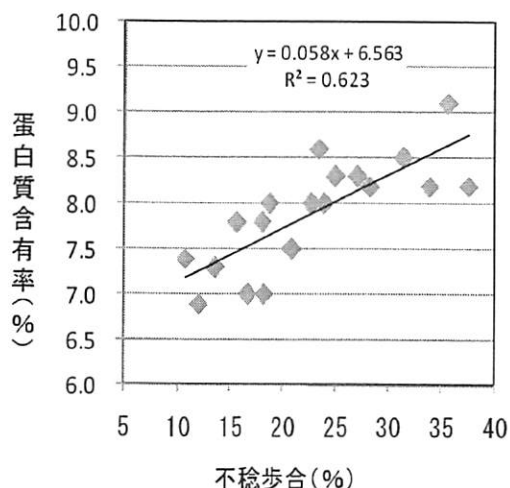


図10 「ゆめぴりか」での不稔歩合と蛋白質含有率の関係 (H21 上川各奨決+品種比較)

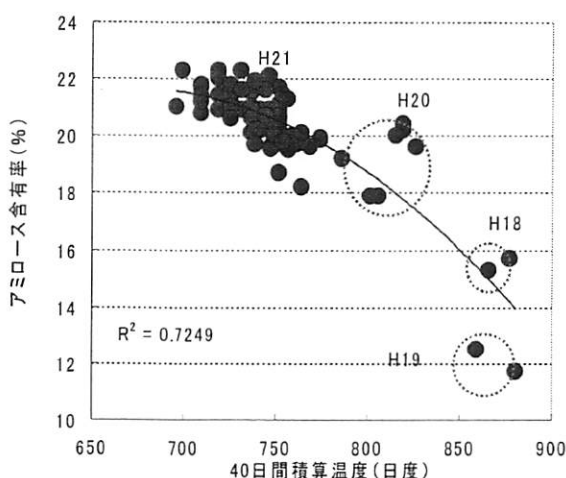


図11 「ゆめぴりか」での40日間積算温度とアミロース含有率の関係 (H22 石狩普及センター稲作部会)

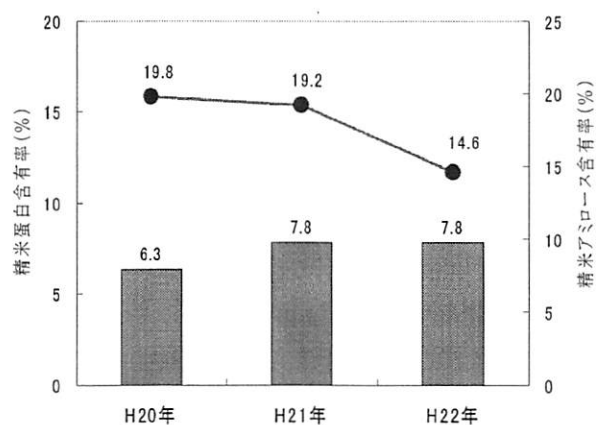


表4 「ゆめぴりか」での蛋白仕分出荷比率

	6.8%以下	6.9～7.4%以下	7.4%以下	7.5%以上
21年産	10%	24%	33%	67%
22年産	4%	20%	23%	77%
23年産	27%	48%	75%	25%

(ホクレン H21～23 年産)

図 12 「ゆめぴりか」での蛋白とアミロース年次別推移
(H23 北海道米麦改良協会より作図 全道平均値)

表5 主要産地銘柄の食味ランキング

都道府県	地域	品種名	22年	23年
北海道	全道	ゆめぴりか	(特A)	特A
	全道	ななつぼし	特A	特A
	全道	きらら397	A	A
	全道	ほしのゆめ	A	A
秋田県	県北	あきたこまち	A	A ⁺
	県南	あきたこまち	A	A
宮城県	県中	ひとめぼれ	特A	特A
	県北	ひとめぼれ	特A	特A
新潟県	魚沼	コシヒカリ	特A	特A
	上越	コシヒカリ	A	A
富山県	県西	コシヒカリ	A	A

一般財団法人日本穀物検定協会「米の食味ランキング」

引用文献

- ・北海道農政部 2012. 米に関する資料.
- ・上川農業改良普及センター 2011・2012. 営農の手引き.
- ・北海道米麦改良協会 2011. 北海道の米づくり[2011 年版].
- ・上川農業改良普及センター 2011・2012. 上川産ゆめぴりか栽培特性と栽培指針.
- ・石川農業改良普及センター 2010. 石狩産ゆめぴりか栽培マニュアル.
- ・北海道米の新たなブランド形成協議会 2012. 「ゆめぴりか」作付生産者の皆様へ.

一般講演

1 3 課題

(一般講演1)

札幌と首都圏における米飯の嗜好調査と北海道米新品種「ゆめぴりか」への官能応答

吉田 慎一¹⁾・藤川 咲子²⁾・川村 周三²⁾

(¹⁾ホクレン農業総合研究所、²⁾北海道大学農学研究院)

Cooked rice preference survey and sensory evaluation of “Yumepirika” ,Hokkaido new rice variety,in Sapporo region and The Capital city area.

Shin-ichi YOSHIDA¹⁾, Sakiko FUJIKAWA²⁾, Shuso KAWAMURA²⁾

「ゆめぴりか」はブランド米としての認知定着が図られる低アミロース米系統品種である。低アミロース米は単独では粘りが強すぎるため業務用途等でのブレンド利用が多く(深井ら 2004)、単品での利用実態は少ない。北海道米の主な流通先は北海道と首都圏である。北海道では「おぼろづき」(Ando ら 2010)の普及により、低アミロース米に対する消費受容が進みつつある。しかし、首都圏では「コシヒカリ」がシェアを占めており(北見 2009)、主食用途としての低アミロース米系統品種の市場受容性については不明な点が多い。

本報では、「ゆめぴりか」の市場受容性を検討するため、札幌と首都圏で 650 名規模の嗜好調査と食味官能試験を実施し、米飯に対する嗜好と官能応答に消費地間差異が無いこと、両都市共通して「ゆめぴりか」に対する評価が高いことを実証した。

【材料および方法】

1. 供試材料

材料は全て 2008 年産の 1 等米であり、玄米で入手し、試験供試直前まで 2℃で密封保管した。試験直前に 90.0±0.1%の歩留で搗精し、精米を得た。供試材料は「ゆめぴりか」(奨励ほ場産)、「ふっくりんこ」(七飯町産)、「ほしのゆめ」(旭川永山産)、「コシヒカリ BL」(新潟県南魚沼産)、「コシヒカリ」(茨城県つくば産)、「あきたこまち」(秋田県由利本荘産)および「ひとめぼれ」(岩手県奥州江刺産)の 7 点とした(表 1)。なお、炊飯時加水量は「ゆめぴりか」が精米重量対比で 1.25 倍、その他 6 点は同比 1.30 倍とした。

2. 米飯に対する嗜好調査

札幌市と首都圏在住の一般消費者を被験パネルとし、嗜好調査を実施した。パネルは性別と世代とが均等になるよう調整し、1都市あたり 324 名の計 648 名とした(表 2)。嗜好調査では、アンケート(図 1)により米飯の外観、香味、食感の各官能特性で重視される嗜好要素を抽出した。

3. 食味官能試験

アンケート被験直後に、食味官能試験を行った。本試験では旧食糧庁の米の食味試験実施要領に準じ、「ほしのゆめ」を基準試料とした多重相対比較法により評価した。評価項目は①精白米外観、②炊飯米外観、③香り、④硬さ、⑤粘りおよび⑥総合評価の 6 項目とし、評価尺度は精白米外観、炊飯米外観、香り、総合評価を±5、硬さと粘りを±3とした。

【結果および考察】

1. 米飯に対する嗜好調査の結果

両消費地における嗜好調査の結果を図2に示した。本報では、5～7点を「重視している」と設定しており、平均点が5.0点以上となった項目を「消費者が美味しいご飯に求める要素」と仮説づけた。各要素について求められるポイントは、外観面では「つやつやしている」、「ふっくらしている」、香味面では「好ましい香りがする」、「甘味を感じる」、「ご飯の味が十分に感じられる」の計5項目で両都市共通して高いスコアを示した。食感面では「粘りがある」が札幌で重視されており、東京都に比べやや高いスコアを示した。以上より、米飯に対する嗜好意識に消費地間差は無いと考えられた。

2. 食味官能試験の結果

官能試験では、両地域とも炊飯米外観と粘りの二項目が総合評価と正の相関関係にあり($P<0.01$)、嗜好調査の結果とほぼ一致した(表3, 4)。更に米飯に対する官能応答についても、札幌と東京との消費地間差は無く、評価スコアがほぼ一致した。その中で「ゆめぴりか」は他の比較試料5点に比べ炊飯米外観と粘りの評価値が有意に高く($P<0.05$)、総合評価値が最も高かった(図3)。以上より、外観評価が高く適度に粘りが強い「ゆめぴりか」は、消費者の嗜好に合致する可能性が高い品種であることが示唆された。

表 1. 供試材料

生産地	品種名	精米蛋白質	アミロース
旭川永山	ほしのゆめ	6.6%	22.2%
奨励ほ場	ゆめぴりか	6.2%	17.6%
函館方面	ふっくりんこ	6.2%	21.8%
南魚沼市	コシヒカリ	5.8%	18.8%
つくば市	コシヒカリ	6.4%	17.7%
由利本荘市	あきたこまち	6.9%	19.2%
奥州江刺市	ひとめぼれ	6.5%	20.0%

表 2. 1都市あたりの被験パネルの内訳

	第1世代 (18歳～20代)	第2世代 (30代)	第3世代 (40代)	第4世代 (50代～64歳)	計
男性人数	40～41	40～41	40～41	40～41	162
女性人数	40～41	40～41	40～41	40～41	162
合計	81	81	81	81	324

以下に、おいしいご飯（白飯）に重視と思われる項目を～をあげました。それぞれの項目で、あなたご自身はどの程度重視と意思ですか。あてはまるところに○をおつけください。 (○は一つずつ)

	1 まったく重視でない	2 ほとんど重視でない	3 それほど重視でない	4 どちらでもない	5 やや重視である	6 かなり重視である	7 絶対重視である
a ご飯粒の形がきれいである	1	2	3	4	5	6	7
b 色が白い	1	2	3	4	5	6	7
c つやつやしている	1	2	3	4	5	6	7
d 透明感がある	1	2	3	4	5	6	7
e 好ましい香りがする	1	2	3	4	5	6	7
f 粘りがある	1	2	3	4	5	6	7
g やわらかい	1	2	3	4	5	6	7
h ふっくらしている	1	2	3	4	5	6	7
i 甘味を感じる	1	2	3	4	5	6	7
j ご飯の味が十分に感じられる	1	2	3	4	5	6	7

図 1. 嗜好アンケート調査票

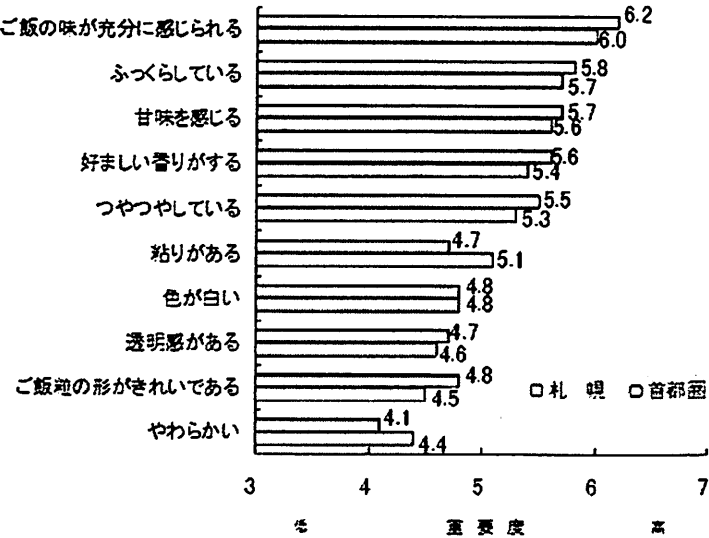


図 2. 嗜好調査結果

表 3. 札幌市試験での評価項目間の相関係数

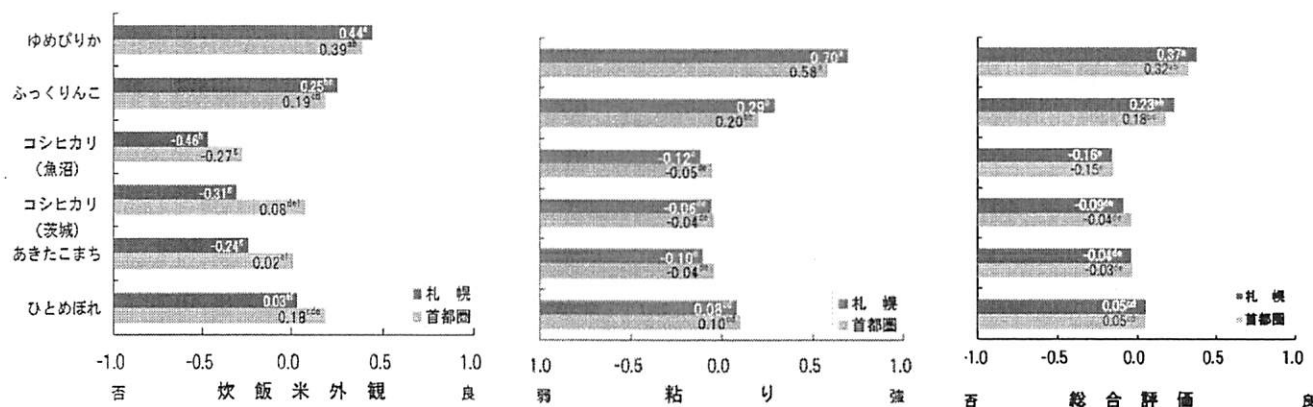
評価項目	精米外観	炊飯米外観	香り	硬さ	粘り	総合評価
精米外観	1.00	0.66	0.42	0.18	0.41	0.50
炊飯米外観		1.00	0.73	0.52	0.89**	0.95**
香り			1.00	-0.15	0.54	0.70
硬さ				1.00	0.64	0.59
粘り					1.00	0.96**
総合評価						1.00

** $P < 0.01$

表 4. 首都圏試験での評価項目間の相関係数

評価項目	精米外観	炊飯米外観	香り	硬さ	粘り	総合評価
精白米外観	1.00	0.84**	0.65	0.17	0.76**	0.76**
炊飯米外観		1.00	0.44	-0.08	0.82**	0.93**
香り			1.00	0.30	0.30	0.45
硬さ				1.00	-0.39	0.49
粘り					1.00	0.94**
総合評価						1.00

** $P < 0.01$



異なる文字間で5%の危険率で有意差あり。

図 3. 食味官能試験の評価結果

【引用文献】

- Ando., I., H. Sato, N. Aoki, Y. Suzuki, H. Hirabayashi, M. Kuroki, H. Shimizu, T. Ando and Y. Takeuchi
2010. Genetic analysis of the low-amylose characteristics of rice cultivars Oborozuki and Hokkai-PL9. Breed.Sci. 60:187-194.
- 深井洋一, 石谷孝佑 2004. 低アミロース米のブレンド適性の評価. 食科工誌 51(5):254-262
- 北見幸一 2009. 米穀農産物におけるブランド効果の実証的研究. 広報研究 13:60-73.

出荷基準に満たない「ゆめぴりか」を活用した高品質ブレンド米の開発技術

吉田 慎一

(ホクレン農業総合研究所)

The development technology to make high quality blended rice by utilizing “Yumepirika” which is off delivery basis.

Shin-ichi YOSHIDA

出荷基準に満たない、蛋白質含有率の高い「ゆめぴりか」を活用した良食味かつ老化耐性の強いブレンド米の作出を目的とし、当該品種と相性の良い北海道米の選抜と適正な配合割合の探索を行った。加えて、「ゆめぴりか」をブレンドすることによる老化抑制効果の検証を行った。

本報では、官能特性の程度が弱い原料に程度の強い原料をブレンドした場合、その官能特性を補強できる傾向を把握した。これに該当する官能特性は外観、味、硬さおよび粘りであった。官能特性面で「ゆめぴりか」と相性の良い品種は「ななつぼし」>「おぼろづき」>「ふっくりんこ」の順となり、この評価序列は炊飯直後、冷や飯時とも概ね一致した。また、炊飯米の物性測定より、北海道米の原料単品に比べブレンド米の粘りが強くなることが確認され、「ゆめぴりか」を配合することで老化耐性を補強できる可能性が示唆された。

【材料および方法】

1. 供試材料

供試内容を表1に示した。材料は全て2010年産の1等米とした。ブレンド米の原料は「ゆめぴりか」基準外米(鷹栖)、「ななつぼし」(東神楽)、「ふっくりんこ」(七飯)および「おぼろづき」(鷹栖)の4点とした。対照試料に「コシヒカリ BL」(新潟)と「あきたこまち」(秋田)の府県産米2点を用いた。なお、「ほしのゆめ」(旭川永山)を官能評価の基準試料に用いた。

2. ブレンド試料の調製

「ゆめぴりか」基準外米(以下、YpE)に他の北海道米原料を20、40、60、80%の比率で均分器を用いて配合し、計12点のブレンド試料を調製した(図1)。

3. 官能評価と炊飯米の物性測定

官能評価は穀検法に準じて行い(n=30)、各ブレンド試料、北海道米の原料単品、府県産2点について評価した。官能評価は2回行った。1回目は炊飯直後時にブレンド試料全点について、2回目は冷や飯時に行い、初回試験で総合評価が0.0点以上、かつ府県産米2点に優れた試料について評価した。炊飯理化学試験は物性測定を中心に行い、官能評価に供した米飯の物性値をテクスチャーアナライザー(Stable Micro Systems社製,TA-XT plus)を用いて測定した(n=10)。

【結果および考察】

(1) 官能評価の結果

①. 炊飯直後の評価

炊飯直後の結果から、総合評価の上位6点は、ななつぼし60%(0.32)、ななつぼし20%(0.21)、

おぼろづき 20% (0.18)、ふっくりんこ 60% (0.13)、ふっくりんこ 20% (0.07)、ななつぼし 80% (0.00) であった(表 2)。多変量解析より各評価項目間の相関係数を算出し、炊飯米外観、味の向上、粘りの増強、軟化が総合評価の向上に寄与することが示唆された(表 3)。更にこれら4項目の官能特性は、程度が弱い原料に程度の強い原料をブレンドした場合、程度の強い原料側に移行する傾向を示した(図 2)。

②. 冷や飯での評価

YpE を配合した各ブレンド試料は、北海道米原料単品と府県産米に比べ「粘り」の強さが維持されており、概ね「コシヒカリ BL」や「あきたこまち」に優った。総合評価は、ななつぼし 20% (0.83)、ななつぼし 60% (0.47)、ふっくりんこ 60% (0.37)、ふっくりんこ 20% (0.20)、おぼろづき 20% (0.00)、ななつぼし 80% (-0.10) の評価順となり、炊飯直後時と同様に「ななつぼし」との相性が良かった(表 4)。

(2) 炊飯理化学試験の結果

炊飯直後時と冷や飯時に測定した「付着性」の測定結果を図 3 に示した。付着性は「粘り」(官能値)と高い正の相関関係にある物性値である。各ブレンド試料の付着性は YpE 以外の北海道米原料単品や府県産米に比べ高い値が計測され、「ゆめぴりか」をブレンドすることにより「粘り」が増強・持続する傾向を示した。したがって、他の北海道米への「ゆめぴりか」のブレンドは、食感面での老化抑制に効果があると推察された。

表 1. 供試材料一覧

品 種 名	品質区分*	産 地	P T	A L
ゆめぴりか	基準外E次	鷹 栖 町	8.5	14.9
ななつぼし	1 次	東 神 楽 町	7.6	18.2
ふっくりんこ	B 次	七 飯 町	7.7	18.3
おぼろづき	6 次	鷹 栖 町	9.6	11.8
ほしのゆめ	1 次	旭川市永山	7.7	19.1
コシヒカリBL	一 般	新潟県	5.5	16.7
あきたこまち	ｽｽﾞﾉﾌﾞ 経由	秋田県由利本荘	7.1	17.7

* 北海道米は平成23米穀年度の仕分け区分に則った

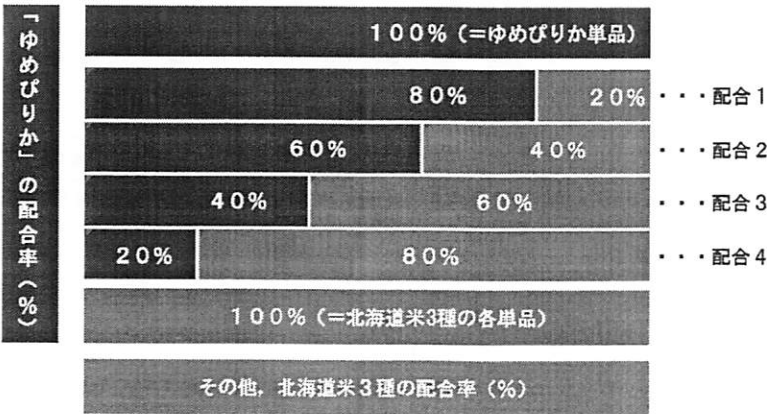


図 1. ブレンド試料の配合設計

表 2. 炊飯直後時の官能評価結果

配合相手	配合相手のブレンド率	炊飯米外観	香　　り	味	粘　　り	硬　　さ	総合評価
ほしのゆめ	基準（単）	0.00◎	0.00◎	0.00◎	0.00◎	0.00◎	0.00◎
おぼろづき	20%	-0.14	0.04	0.36	0.25	0.21	0.18
	40%	-0.29	-0.06	-0.16	0.26	0.45	-0.26
	60%	-0.58*	-0.13	-0.13	0.26	0.39	-0.26
	80%	-0.82*	0.07	0.07	0.14	0.36	-0.25
ななつぼし	20%	-0.25	0.00	0.25	0.21	-0.54	0.21
	40%	-0.06	0.06	0.03	0.23	-0.48	-0.03
	60%	-0.16	-0.16	0.32	0.42	-0.68*	0.32
	80%	-0.39	-0.04	0.04	0.00	0.04	0.00
ふっくりんこ	20%	-0.46*	0.11	-0.11	0.07	-0.43	0.07
	40%	-0.20	-0.13	0.10	-0.10	-0.47	-0.03
	60%	0.00	-0.16	0.06	0.19	-0.32	0.13
	80%	-0.25	-0.04	0.07	0.18	-0.18	-0.14
ゆめびりか	（単）	-0.67*	0.03	0.03	-0.30	-0.23	-0.10
おぼろづき	（単）	-0.59*	0.00	0.11	0.19	0.22	-0.07
ななつぼし	（単）	-0.44	0.11	0.37	0.26	-0.37	0.30
ふっくりんこ	（単）	-0.26	0.22	-0.19	0.00	0.07	0.04
コシヒカリ	（単）	0.00	-0.03	0.07	0.17	0.10	-0.13
あきたこまち	（単）	-1.13*	-0.13	-0.33	-0.43	0.90*	-0.73*

（単）：単品試料（ブレンド無し）

*：基準（◎）に対し5%の危険率で有意差あり

表 3. 評価項目間の相関係数

	総合評価	炊飯米外観	香　　り	味	粘　　り	硬　　さ
総合評価		0.64*	0.24	0.78*	0.78*	-0.80*
炊飯米外観	0.64*		-0.02	0.52*	0.52*	-0.56*
香　　り	0.24	-0.02		-0.01	0.01	0.08
味	0.78*	0.40	-0.01		0.55*	-0.57*
粘　　り	0.78*	0.52*	0.01	0.55*		-0.33
硬　　さ	-0.80*	-0.56*	0.08	-0.57*	-0.33	

* $P < 0.05$

表 4. 冷や飯時の官能評価結果

配合相手	配合相手のブレンド率	炊飯米外観	香　　り	味	粘　　り	硬　　さ	総合評価
ほしのゆめ	基準（単）	0.00◎	0.00◎	0.00◎	0.00◎	0.00◎	0.00◎
おぼろづき	20%	0.00	0.20	0.17	0.23	-0.27	0.00
ななつぼし	20%	0.27	0.27	0.73*	0.53	-0.60*	0.83*
	60%	0.07	0.03	0.67*	0.50	-0.07	0.47
	80%	-0.17	-0.17	-0.03	-0.23	-0.10	-0.10
ふっくりんこ	20%	0.00	0.23	0.40	0.80*	-0.50	0.20
	60%	0.10	0.10	0.17	0.50	-0.77*	0.37
ゆめびりか	（単）	0.00	-0.07	-0.03	0.67*	-0.17	0.23
おぼろづき	（単）	-0.30	-0.03	-0.03	0.30	-0.10	0.20
ななつぼし	（単）	0.30	0.27	0.27	0.10	-0.37	0.30
ふっくりんこ	（単）	-0.17	-0.03	0.23	0.17	-0.70*	0.37
コシヒカリ	（単）	-0.63*	-0.20	-0.13	-0.33	-0.27	-0.13
あきたこまち	（単）	-1.47*	-0.07	-0.33	-0.83	0.67*	-0.67*

*：基準（◎）に対し5%の危険率で有意差あり

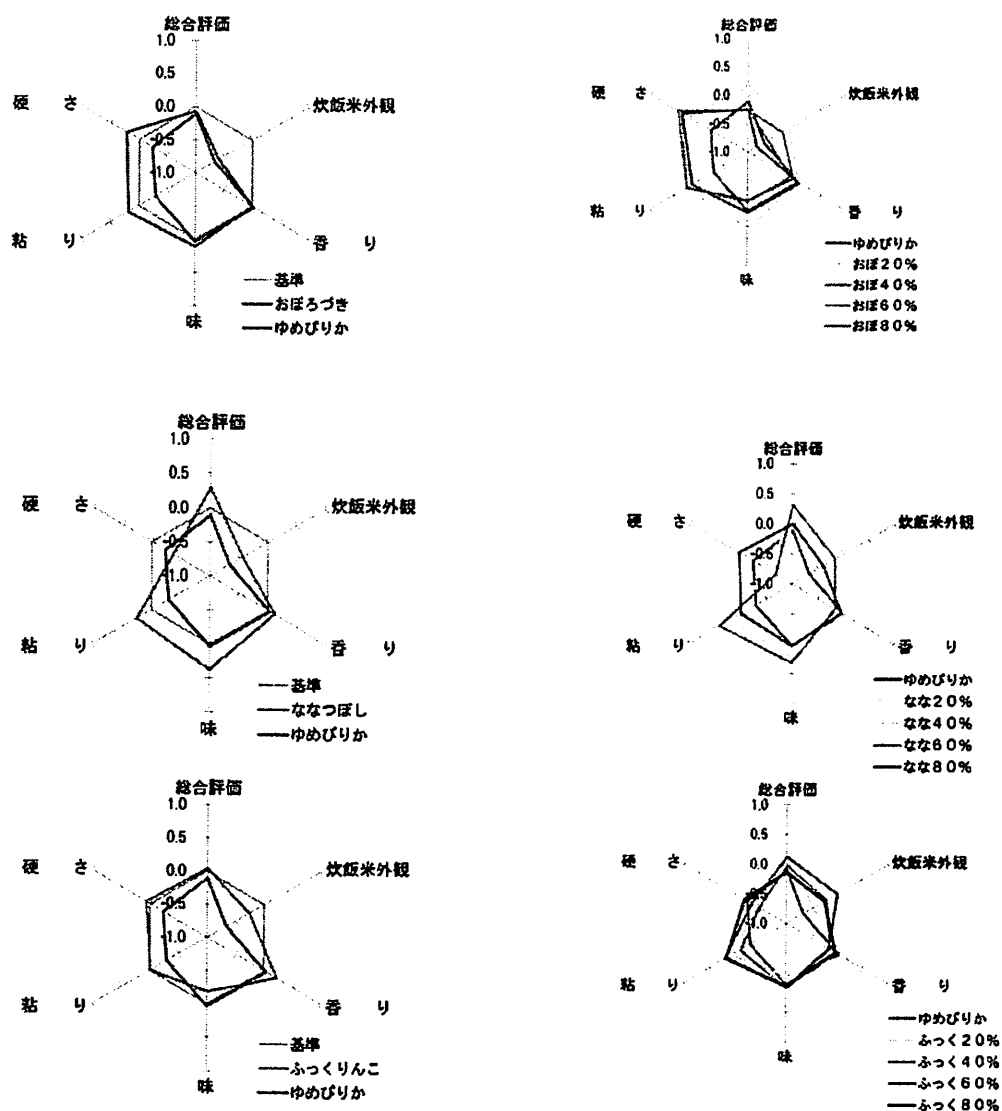


図 2. 原料単品およびブレンド試料の官能特性(左列：原料単品，右列：ブレンド試料)

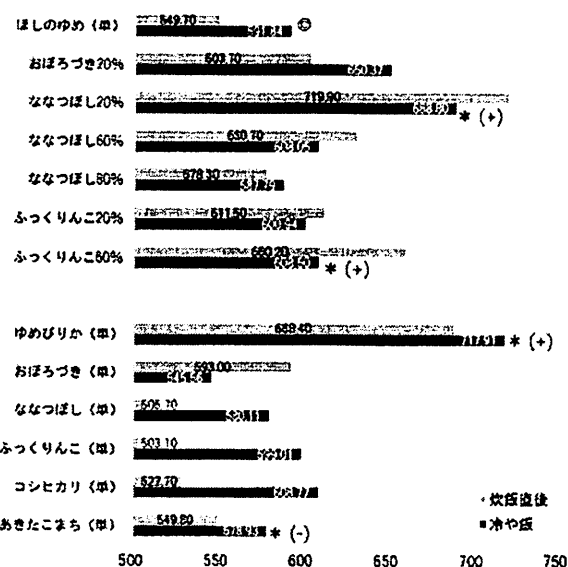


図 3. 米飯の付着性

◎ 基準試料
* 基準試料に対し有意差あり (P<0.05)

北海道米の食味向上の歩み

川村周三¹⁾・横江未央²⁾・吉田慎一³⁾・藤川咲子¹⁾

(¹⁾北海道大学, ²⁾北海道大学, 現生研センター, ³⁾ホクレン農業総合研究所)

Progress of improving eating quality of Hokkaido grown rice

Shuso KAWAMURA¹⁾, Mio YOKOE²⁾, Shin-ichi YOSHIDA³⁾, Sakiko FUJIKAWA¹⁾

従来から、わが国で一般の消費者に最も人気のある(一番美味しいと思われている)米は「コシヒカリ」である。一方、北海道は高緯度寒冷地であるために府県で育種されたイネの品種を作付することができず、北海道で育種された品種のみを作付してきた。また北海道はイネの登熟期間が短く、登熟期の気温も低いために、古くから「北海道米は美味しくない」とされており、「売れないお米の“やっかいどう米”」とも揶揄(やゆ)されてきた。そこで北海道では米の食味向上を目指して、米の生産に携わる数多くの人たちが連携して長年にわたる努力を積み重ねてきた。ここでは北海道米の食味向上の歩みについて報告する。

【方法】旧食糧庁の「米の食味試験実施要領」に準じて、米の食味官能試験を行った。評価項目は、精白米外観、炊飯米外観、香り、硬さ、粘り、総合評価の6項目である。試料は1991年、2004年、2005年、2006年、2008年産の北海道米と府県米である。

【結果】1991年産米48点の食味試験の結果(図1)、総合評価の順位で、北海道米は6位の「きらら397」から35位の「ほのか224」までの範囲であった。一方、「コシヒカリ」は産地による変動が大きく、1位から44位の範囲であった。同様に「ササニシキ」も変動が大きく、11位から45位の範囲であった。

2004年産米18点の食味試験の結果(図2)、総合評価の順位で、北海道米は1位の「ほしのゆめ」から8位の「ななつぼし」までの範囲であった。「コシヒカリ」は5位から16位の範囲であった。

2005年産米18点の食味試験の結果(図3)、総合評価の順位で、北海道米は1位の「げんきぼし」から12位の「ほしのゆめ」までの範囲であった。「コシヒカリ」は4位から18位の範囲であった。

2006年産米20点の食味試験の結果(図4)、総合評価の順位で、北海道米は1位の「ふっくりんこ」から18位の「おぼろづき」までの範囲であった。「コシヒカリ」は6位から19位の範囲であった。

2008年産米7点の食味試験の結果(図5)、総合評価の順位で、北海道米は1位の「ゆめぴりか」から4位の「ほしのゆめ」までの範囲であり、「コシヒカリ」は5位と6位であった。



図1 1991年産米の食味試験の総合評価
*, **: ◎印の米に対して危険率
5%または1%でそれぞれ有意差あり

2004年産米:18点10品種、生産地:11道県
食味試験:札幌3回実施、延べパネル人数:144名
各試料当りパネル人数:48名、基準米:きらら397(北海道芦別市)

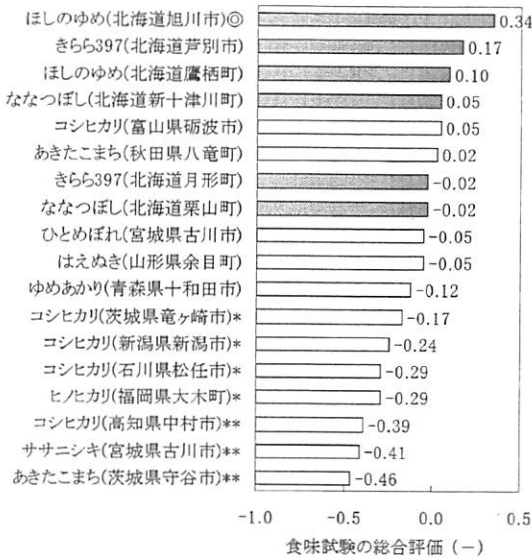


図2 2004年産米の食味試験の総合評価

2005年産米:18点10品種、生産地:11道県
食味試験:札幌3回実施、延べパネル人数:130名
各試料当りパネル人数:43名、基準米:きらら397(北海道鷹栖町)

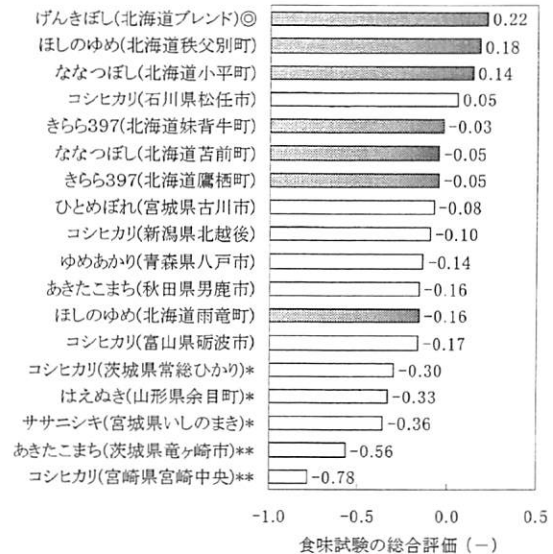


図3 2005年産米の食味試験の総合評価

【考察】近年、北海道米の食味は大きく向上した。その理由は以下の3点が挙げられる。

1. 品種改良 北海道では品種改良によってアミロース含量が適度に低い品種が育成され、「きらら397」以降「ほしのゆめ」、「ななつぼし」、「おぼろづき」、「ふっくりんこ」、そして2009年に一般栽培が始まった「ゆめぴりか」に代表される良食味品種が育成された。

2. 栽培管理技術 北海道ではイネの生育段階に合わせた窒素(肥料)制御、側条施肥、ケイ酸の施肥などの低タンパク米の生産に有効な栽培技術が開発され、現在はその栽培管理技術が普及している。

3. 収穫後技術 北海道の米の共同乾燥調製施設では、荷受時の籾の自動品質検査と品質仕分け、籾の精選別技術、粒厚選別と色彩選別とを併用した玄米の精選別技術の開発などにより、高品質で安定した玄米の生産が可能となった。また冬季の自然の寒さを利用した籾の超低温貯蔵により、夏まで籾を氷点下で貯蔵し、新米と同等の品質の米を1年を通して安定供給することが可能となった。

【まとめ】品種改良、栽培技術、収穫後技術の向上により、北海道米の食味評価は大きく向上した。

2006年産米:20点10品種、生産地:9道県
食味試験:札幌4回実施、延べパネル人数:189名
各試料当りパネル人数:47名、基準米:きらら397(北海道旭川市)

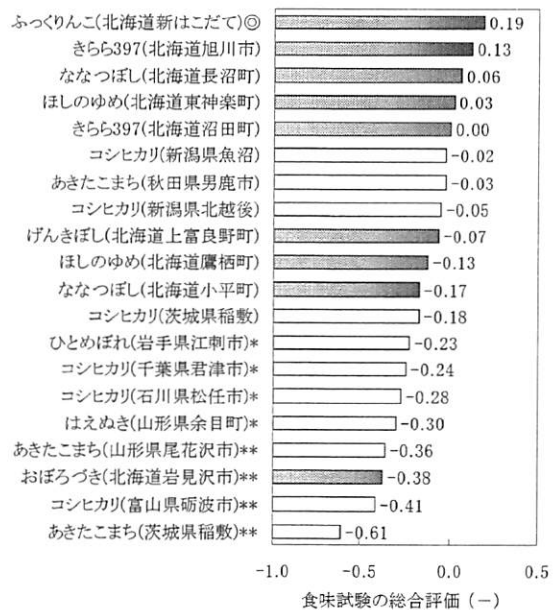


図4 2006年産米の食味試験の総合評価

2008年産米:7点6品種、生産地:5道県
食味試験:札幌6回東京6回実施、延べパネル人数:659名
各試料当りパネル人数:659名、基準米:ほしのゆめ(北海道旭川市)

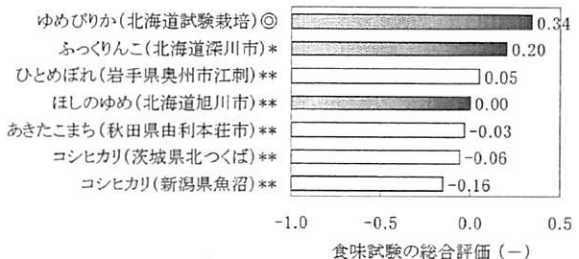


図5 2008年産米の食味試験の総合評価

冬季の自然冷気を利用した超低温貯蔵による米の高品質保持技術

川村周三¹⁾・竹倉憲弘²⁾

(¹⁾北海道大学, ²⁾北海道大学, 現東北農業研究センター)

Super-low-temperature storage technique for preserving high quality rice by using natural cold air in winter

Shuso KAWAMURA¹⁾, Kazuhiro TAKEKURA²⁾

北海道における米の共同乾燥施設は、1995 年以前はライスセンター(粳貯蔵を行わない)が中心であった。1995 年に食糧管理法が廃止され、新食糧法が施行された。そこで北海道では、大ロットで高品質な米を安定して出荷するために、1996 年以後、粳貯蔵を行うカントリーエレベーターを建設した。その結果、2011 年には粳貯蔵可能な施設は 29 か所、粳貯蔵能力は約 13 万 t となっている。北海道では、冬季の自然冷気を利用した超低温貯蔵(氷点下での米の貯蔵)による米の高品質保持技術が実用化され、多くのカントリーエレベーターで粳の超低温貯蔵が行われている。ここでは超低温貯蔵の実用化実証試験について報告する。

【方法】 北海道上川ライスターミナルで 1996 年から 1998 年に超低温貯蔵を実用化するための実証試験を行った。さらに北海道雨竜町ライスコンビナートで 1999 年から 2000 年にかけて再度実証試験を行い、その有効性を確認した。上川ライスターミナルのサイロを用いて、きらら 397 の粳 378t を貯蔵した。貯蔵期間は 1997 年 11 月下旬から 1998 年 8 月中旬までの約 9 ヶ月間であった。1998 年 2 月 2 日から 2 月 10 日の間に、 -5°C 以下の外気を断続的に延べ 113 時間サイロへ通風した。雨竜町ライスコンビナートでは、きらら 397 の粳 500t とほしのゆめの粳 494t を 2 基のサイロにそれぞれ貯蔵した。貯蔵期間は 1999 年 11 月下旬から 2000 年 7 月中旬までの約 8 ヶ月間であった。2000 年 1 月 20 日から 2000 年 1 月 27 日の間に、 -7°C 以下の外気を断続的に延べ 91 時間サイロへ通風した。サイロへの通風は 2 基同時におこなった。いずれの貯蔵試験においても、サイロ貯蔵と並行して比較対照のために -5°C 貯蔵(冷凍庫)、低温貯蔵(サイロの近隣にある米の低温倉庫)、室温貯蔵(大学の実験室)の 3 条件でそれぞれ約 20 kg の粳を貯蔵した。

【結果】 1. 貯蔵中の温度 図 1 に 1997 年から 1998 年の貯蔵中の粳温度を示した。貯蔵中の外気温度は、最低で -21°C まで低下した。日最低気温が氷点下であったのは、11 月下旬から 4 月上旬にかけての 5 ヶ月あまりであった。11 月から 2 月にかけてサイロ内壁付近の粳の穀温は、自然放冷により低下した。しかし、サイロ中心部の粳の穀温は貯蔵開始時とほぼ同じであった。2 月上旬にサイロ内へ外気を通風することによって、サイロ内すべての粳の穀温が氷点下になった。最低穀温は、2 月上旬に内壁付近が約 -7°C であった。サイロ中心部の粳の穀温は、7 月中旬まで氷点下であった。サイロ内すべての粳の穀温が氷点下であった期間は、2 月上旬から 3 月下旬にかけての約 1.5 ヶ月間であった。すなわち、自然冷気を米の冷却に利用することにより実用的に超低温貯蔵(氷点下での米の貯蔵)が可能であることが実証された。

2. 貯蔵前後の品質 図 2 に貯蔵前後の各試料の発芽率を示した。貯蔵前の発芽率は 96%であった。貯蔵後の発芽率は -5°C 貯蔵が最も高く、次にサイロ貯蔵と低温貯蔵が高く、いずれも貯蔵前の発芽率とほ

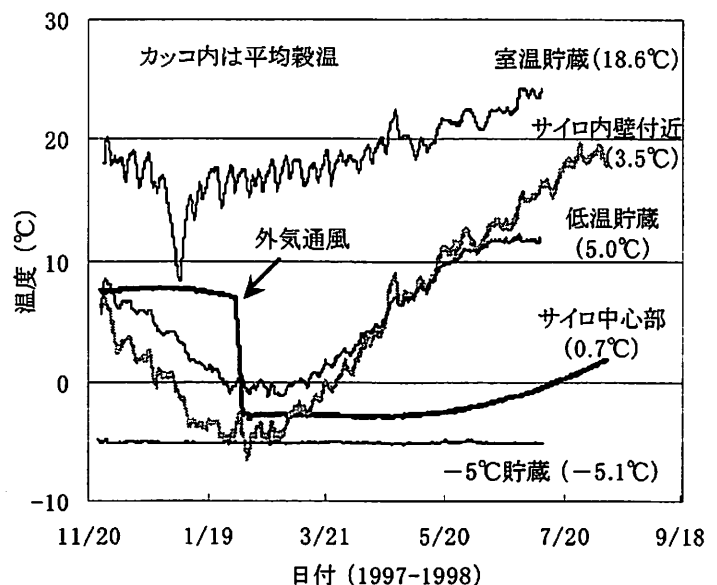


図1 貯蔵中の粳温度の変化と平均粳温度

ほぼ同じく 93%以上であり、新米と同様な品質が保持されていた。一方、室温貯蔵の発芽率は大きく低下し、10%となった。

図 3 に貯蔵前後の各試料の脂肪酸度を示した。脂肪酸度は貯蔵後にいずれも増加したが、 -5°C 貯蔵が最も増加が抑制されており、次にサイロ貯蔵、低温貯蔵と増加が大きく、室温貯蔵の増加が著しかった。

図 4 に貯蔵前後の各試料の食味試験の総合評価を示した。総合評価は、貯蔵前に比較してサイロ貯蔵と -5°C 貯蔵でわずかに良くなり、室温貯蔵では総合評価が大きく低下した。通常、米の食味が貯蔵後に良くなることはない。この試験でサイロ貯蔵と -5°C 貯蔵の総合評価が貯蔵前に比べて、わずかながらも良くなったのは以下の理由による。

食味試験は、滋賀県産の日本晴を基準米として相对比较法で行った。貯蔵前の食味試験で基準米とした日本晴を冷蔵庫($3\sim 5^{\circ}\text{C}$)に玄米で貯蔵し、貯蔵後の基準米とした。基準米も貯蔵中に品質が低下する。サイロ貯蔵と -5°C 貯蔵では貯蔵中の平均温度が冷蔵庫よりも低く、かつ初貯蔵であったため、貯蔵中の品質低下が基準米よりも抑制された。その結果、貯蔵後の総合評価が貯蔵前よりも相対的に良くなった。

【考察】 1. 米の貯蔵温度 米は稲の種子として貯蔵中も生きている。米を低温で貯蔵すると米自身の生理活性や酵素活性が抑制され、貯蔵中の品質劣化も抑えられ、新米に近い食味を保持できる。基礎実験により乾燥後の米は -80°C まで冷却しても凍結せず凍結傷害も発生しないことを確かめた。したがって、米は凍らないので貯蔵中の温度は低ければ低いほど、米の高品質保持が可能である。

2. 冬季の自然冷気を利用した超低温貯蔵の特徴 米の貯蔵温度は低ければ低いほど良い。しかしながら、米の温度を低下させるために冷却設備と電気エネルギーを使うと貯蔵コストが増加するので、実用的には望ましくない。一方、北海道のような寒冷地では、冬季の寒冷外気という自然冷熱エネルギーを利用することにより米を氷点下に冷却することが可能である。

この貯蔵技術は、冷却設備や冷却のための電気エネルギーを必要としない。そのうえ、貯蔵温度が低いいため、品質保持効果大きい。すなわち、これは寒冷地の自然環境を有効に活用し、低コスト省エネルギーで米の高品質保持をする貯蔵技術である。わが国の米の主産地は北海道、東北、北陸地域である。これらの地域は冬の気温が氷点下になることが多い。超低温貯蔵はこのような自然環境を有効に活用した環境にやさしい貯蔵技術である。

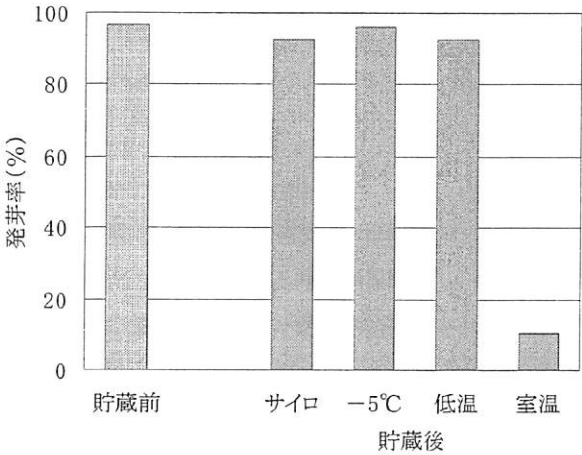


図 2 貯蔵前後の発芽率

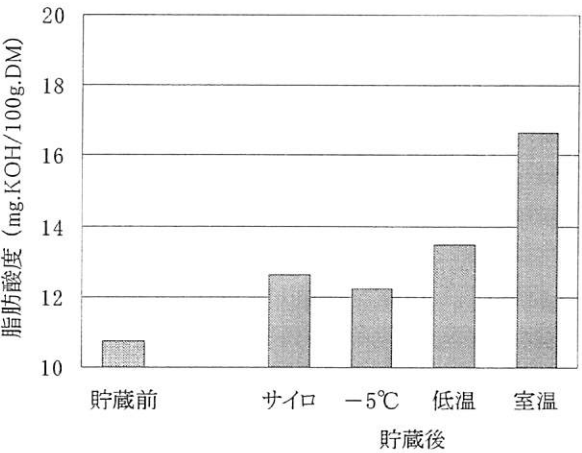


図 3 貯蔵前後の脂肪酸度

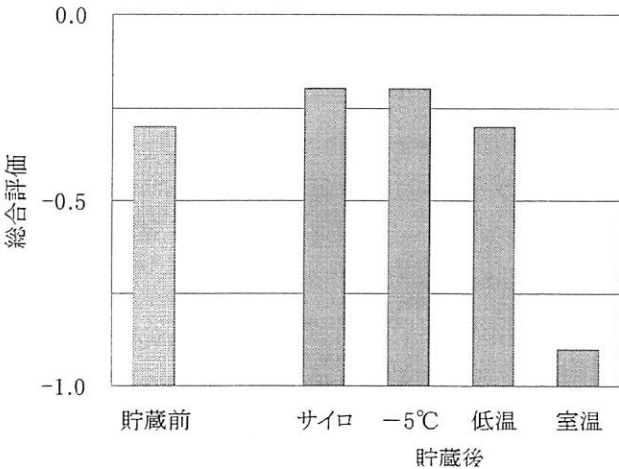


図 4 貯蔵前後の食味試験の総合評価

穂肥方法がコシヒカリの玄米外観品質、タンパク質含有率および食味に及ぼす影響

佐藤 徹^{1)*}・東 聡志¹⁾・金井 政人¹⁾

(¹⁾新潟県農業総合研究所作物研究センター)

Effects of the nitrogen application method on the grain quality and protein content of brown rice and palatability of rice cultivar “Koshihikari”.

Toru SATO¹⁾, Satoshi AZUMA¹⁾, Masato KANAI¹⁾

コシヒカリは日本における極良食味品種であるが、玄米タンパク質含有率が高まると食味が低下することが知られており、良食味米生産のために以前に比べ施肥量を抑えた栽培が行われている。一方、近年の夏季の高温による背白・基白粒の発生は窒素施肥量が少ない場合に多く発生するため、高温登熟下での食味と外観品質を両立させる栽培法が求められている。そこで、穂肥施用方法と外観品質、玄米タンパク質含有率および食味との関係について検討した。

【材料および方法】

1. 試験 1:新潟県農業総合研究所作物研究センター(長岡市)内圃場で 2011 年 5 月 10 日に「コシヒカリ BL」を機械移植した。基肥窒素量は 10a 当たり 3kg および 5kg とし、 P_2O_5 および K_2O は 3kg 施用した。穂肥は 1 回目(出穂 18 日前)、2 回目(出穂 10 日前)、3 回目(出穂 3 日前)のそれぞれの時期に窒素成分 1kg/10a 施用した区と施用しない区を設定した。
2. 試験 2:試験 1 と同じ圃場において基肥窒素を施用しない区において、出穂 9 日前、6 日前、3 日前および出穂期(8 月 6 日)に窒素成分で 10a 当たり 1kg および 2kg 施用した区を設定した。
3. 調査項目は SPAD 値、収量・収量構成要素、外観品質(穀粒判別機 RGQI20A, サタケ)、玄米タンパク質含有率(水分 15%換算, TM-3500, 静岡製機)、食味官能試験(新潟農総研パネラー 21~30 名, 食味基準は新潟農総研 H23 産コシヒカリ BL)。

【結果および考察】

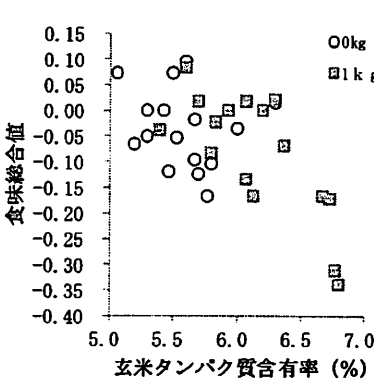
1. 試験 1 において、分散分析の結果、1 回目の穂肥は倒伏を大きくし、乳白粒率が高まるが、基白粒率は低下した。2 回目の穂肥は乳白粒率を高めた。3 回目の穂肥は基白粒率を低下させ、整粒率を高めた。また、いずれの時期の穂肥施用により収量は高まり、玄米タンパク質含有率が高くなった(第 1 表)。
2. 玄米タンパク質含有率が 6.5%を超えると大きく食味官能総合値が低下した(第 1 図)。玄米タンパク質含有率が 6.0%以上では基白粒率の減少が小さかった(第 2 図)。3 回目の穂肥時期の SPAD 値が 33 以上の時に穂肥を施用すると玄米タンパク質含有率が 6.5%を超える場合がみられた(第 3 図)。
3. 試験 2 において、分散分析の結果、穂肥時期では出穂 3 日前および出穂期の穂肥施用により乳白粒率および背基白粒率が低下し、玄米タンパク質含有率が高まった。一方、穂肥量では 2kg 区の玄米タンパク質含有率が高まった。また、乳白粒率および背基白粒率には有意差がみられなかったが、出穂 3 日前および出穂期の 2kg 区で背基白粒率が低下する傾向がみられた(第 2 表)。

以上の結果、出穂 3 日前の SPAD 値が 32 以下の場合、穂肥窒素量で 1~2kg/10a 施用することにより、食味を低下させず、外観品質を高められると考えられた。

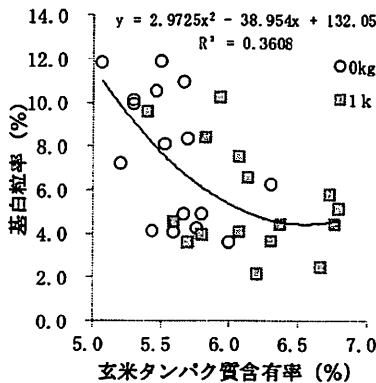
表1 穂肥時期が収量，玄米外観品質および玄米タンパク質含有率に及ぼす影響（要因効果表）

		収量	穂数	籾数	千粒重	登熟歩合	倒伏	整粒	乳白	基白	玄米タンパク
総平均		(kg/10a)	(本)	(粒/m ²)	(g)	(%)	(0-5)	(%)	(%)	(%)	(%)
		600	370	32896	21.0	87.3	3.3	66.8	3.7	6.5	5.9
基肥(A)	3kg	-14	-9.0	-312	-0.03	-1.1	-0.5	-0.5	-0.9	1.0	-0.2
	5kg	14	9.0	312	0.03	1.1	0.5	0.5	0.9	-1.0	0.2
穂肥1回目(B)	無し	-21	-0.4	-468	-0.13	-1.1	-0.4	-0.6	-1.3	1.0	-0.2
	有り	21	0.4	468	0.13	1.1	0.4	0.6	1.3	-1.0	0.2
穂肥2回目(C)	無し	-16	-1.3	-763	-0.20	0.4	0.0	-0.7	-1.1	0.7	-0.2
	有り	16	1.3	763	0.20	-0.4	0.0	0.7	1.1	-0.7	0.2
穂肥3回目(D)	無し	-12	-3.0	-138	-0.03	-1.4	0.1	-1.4	-0.1	1.0	-0.3
	有り	12	3.0	138	0.03	1.4	-0.1	1.4	0.1	-1.0	0.3
分散分析	A	**	*	ns	ns	ns	**	ns	**	*	**
	B	**	ns	ns	**	ns	**	ns	**	*	**
	C	**	ns	ns	**	ns	ns	ns	**	ns	**
	D	*	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	*	**
交互作用 (AD) [*]			ns	ns	(AB) [*]	ns	ns	ns	(BC) [*]	ns	ns

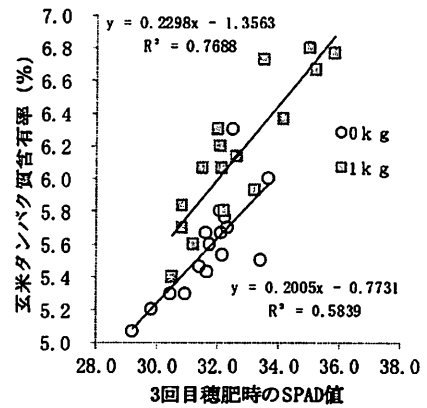
分散分析の*, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意差あり、nsは有意差なしを示す。



第1図 3回目穂肥時期の追肥が玄米タンパク質含有率および食味総合値に及ぼす影響



第2図 3回目穂肥時期の追肥が玄米タンパク質含有率および基白粒率に及ぼす影響



第3図 3回目穂肥時のSPAD値および穂肥施用が玄米タンパク質含有率に及ぼす影響

第2表 穂肥時期および量が玄米タンパク質含有率，乳白粒率および背基白粒率に及ぼす影響。

		玄米タンパク質含有率(%)			乳白(%)			背基白(%)		
		穂肥量			穂肥量			穂肥量		
		1kg	2kg	平均	1kg	2kg	平均	1kg	2kg	平均
穂肥時期 (出穂前)	-9日	4.63	4.82	4.73 c	2.28	1.18	1.73 a	12.33	11.98	12.15 a
	-6日	5.03	5.33	5.18 bc	1.05	1.15	1.10 ab	10.78	4.83	7.80 ab
	-3日	5.18	5.93	5.56 ab	0.45	0.35	0.40 b	6.20	2.08	4.14 b
	0日	5.33	6.20	5.77 a	0.45	0.58	0.51 b	6.50	2.03	4.26 b
	平均	5.05	5.57		1.06	0.81		8.95	5.23	
分散分析 穂肥量		*			ns			ns		
穂肥時期		**			*			*		

分散分析の*, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意差あり、nsは有意差なしを示す。

同一英文字間には最小有意差法で有意差がないことを示す。

背基白粒率は穀粒判別機RGQI20Aで基部未熟および腹白粒に判定された粒の合計。

茨城県の大規模水稻農家水田における移植日、出穂日および登熟期の気温と食味関連形質との関係

滑川 桂介*・新田 洋司・塩津 文隆・浅木 直美

(茨城大学農学部)

Relation between Palatability Properties and Transplanting or Heading Date, Ripening Period Temperature
in Paddy Field of Large-Scale Farmer in Ibaraki Prefecture

Keisuke Namekawa*, Youji Nitta, Fumitaka Shiotsu and Naomi Asagi

(The College of Agriculture, Ibaraki University)

著者らは 2008 年より、茨城県つくば市で水稻品種コシヒカリを大規模に栽培している農家において、生態学的・形態学的調査をつづけている。近年、夏季の異常高温により水稻の登熟期間が高温で経過し、玄米の外観品質ならびに食味関連形質の低下が懸念されている。本報では、移植日、出穂日および出穂後 10 日間または 20 日間における平均気温と食味関連形質との関係について調査した。

茨城県つくば市で品種コシヒカリを化学肥料によって一般的に栽培している同一農家の 3 地区の水田を対象とした（第 1 表）。2008、2009 および 2011 年に調査およびサンプリングを行った。育苗、移植、管理、収穫作業等は当該農家の慣行法によった。また、当該水田で収穫された玄米について穀粒判別機（サタケ社製、RGQI10）で粒厚を調査した。その後、搗精歩合 90%に搗精（山本製作所製、VP-32T）したのち、米粒食味計（サタケ社製、RCTA11A）で食味関連形質（アミロース含有率、タンパク質含有率、食味値）を測定した。

第 1 図に、移植日、出穂日、出穂後 10 日間および 20 日間の日平均気温と精米のアミロース含有率、タンパク質含有率、食味値との関係を示した。3 地区すべてのプロットを込みにした場合、いずれにおいても有意な相関関係は認められなかった。すなわち、本研究では、移植日、出穂日に年次・栽培地区でそれぞれ 24、16 日の差異があったが、食味関連形質との関係は明確ではなかった。なお、若森地区では、出穂後 20 日間の日平均気温とアミロース含有率および食味値との間に有意な相関関係が認められた。

2011 年は東日本大震災の影響（播種・移植を遅らせる行政指導や、灌漑設備が壊れたことによる水の供給不能など）で例年と比べて各地区で移植日が変動し、とくに若森地区では移植日が例年よりも 24 日遅れた。また、移植日の変動にともない出穂日も変動し、若森地区では例年よりも遅く、堰下地区では例年よりも早かった。しかし、3 地区すべてのプロットを込みにした場合では、移植日および出穂日と食味関連形質との間に有意な相関関係は認められなかった。したがって、本調査水田においては、移植日ならびに出穂日の変動が食味におよぼす影響はあまり認められないと考えられた。

近年、登熟期の異常高温による白色不透明部を有する米の発生や品質・食味低下を回避するために、多くの地域で遅植えが奨励されているが、本研究の結果は遅植えしても食味への影響は認められない 1 事例と考えられた。なお、若森地区において、出穂後 20 日の日平均気温とアミロース含有率および食味値との間に有意な相関関係が認められたが、これは 2008 年の出穂期における気温が 27.4℃と高温だったことが原因と考えられた。

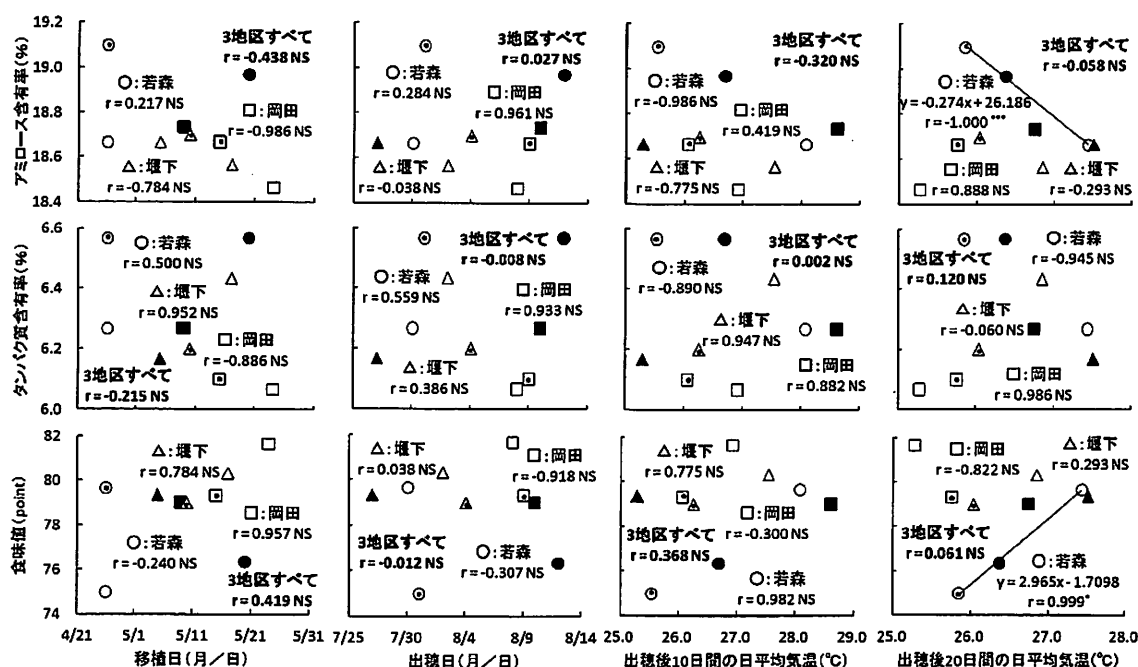
今後は、移植日、出穂日および出穂後 10 日間または 20 日間における平均気温と収量構成要素、千粒重および玄米粒厚との関係を検討する。

本研究は、茨城県つくば市大曾根地区の農家、根本 善太郎 氏の協力を得てとりまとめた。ここに記して謝意を表する。

第1表 3地区の水田における移植日，出穂日および食味関連形質.

栽培地	生産年	移植日 (月/日)	出穂日 (月/日)	食味関連形質(精米)		
				アミロース 含有率(%)	タンパク質 含有率(%)	食味値 (point)
若森	2008	4/26	7/30	18.67 c	6.27 b	79.67 a
	2009	4/26	7/31	19.10 a	6.57 a	75.00 c
	2011	5/20	8/12	18.97 b	6.57 a	76.33 b
岡田	2008	5/24	8/8	18.47 b	6.07 b	81.67 a
	2009	5/15	8/9	18.67 a	6.10 b	79.33 b
	2011	5/9	8/10	18.73 a	6.27 a	79.00 b
堰下	2008	5/17	8/2	18.57 b	6.43 a	80.33 a
	2009	5/10	8/4	18.70 a	6.20 b	79.00 b
	2011	5/5	7/27	18.67 ab	6.17 b	79.33 ab

食味関連形質の同一アルファベットを含む同一地区の年次間ではフィッシャーのLSD法による5%水準での有意差がないことを示す.



第1図 2008, 2009, 2011年の3カ年における移植日，出穂日，出穂後10日間ならびに20日間の日平均気温と食味関連形質との関係.

○：若森地区，□：岡田地区，△：堰下地区. シンボルの白抜き：2008年，中点：2009年，黒抜き：2011年. *, ***, 5, 0.1%水準で有意であることを示す. NS：有意ではない.

酒米品種「山田錦」における心白発生と生育特性および粒大との関係

池上 勝¹⁾・藤本啓之¹⁾・小河拓也¹⁾・宮脇武弘¹⁾

(¹⁾ 兵庫県立農林水産技術総合センター)

Relationship between white-core expression and growth characteristics and grain size on sake brewing rice cultivar “Yamadanishiki”.

Masaru Ikegami¹⁾, Hiroyuki Fujimoto¹⁾, Takuya Ogawa¹⁾, Takehiro Miyawaki¹⁾

心白は米粒の中央部分に見られる白色部のことで、酒造りにおいては水分の吸収や麹菌の侵入に適した構造をしており、酒米の重要な玄米形質の1つである。

近年、兵庫県の酒米品種「山田錦」では従来よりも心白が大きくなる傾向が認められ、その要因解明が求められている。現在、著者らは農林水産省の「農林水産政策を推進する実用技術開発事業委託事業」で酒米の温暖化適応策と関連して心白の発生と環境条件との関係を検討している。本報告は酒米品種「山田錦」の心白の大きさについて、生育特性や粒大、粒形との関係を調査したものである。

【材料および方法】

心白の発生と生育特性との関係解明は、1989年～2011年の兵庫県立農林水産技術総合センター酒米試験地（兵庫県加東市）の気象感応調査のデータを用いた。ただし、台風や干ばつの影響が大きかった1994年、1998年、2004年、2005年の4カ年を除いた19カ年のデータを用いた。

気象感応調査の耕種概要は、播種期が5月14～16日、移植期が6月4～6日、施肥は窒素成分でa当たり基肥に0.4kg、穂肥を幼穂形成期に0.2kg施用した。

玄米横断面の心白の形状と粒大、粒形との関係解明は2011年の酒米試験地における作期試験の玄米を用いた。作期試験の移植期は6月6日と6月15日の2作期で、調査粒数は計400粒である。横断面の心白の形状は目視により、「点・線」、「中」、「大」、「極大」の4種類と「大」と「極大」で横断面中央に明瞭な線状の白色部が認められる線状との複合型として「大・複合型」、「極大・複合型」の2種類の計6種類に分類した（図2、図3）。

【結果および考察】

1. 兵庫県の「山田錦」産地で出穂、成熟期の早生化など温暖化の影響と考えられる生育変化が顕著になった1998年以前（1989～1997年）と以降（1998～2011年）で心白発現率と株当たりの穂数の平均値を比較すると、大きい心白（以下、心白（大））は13.8%から27.3%に、穂数は16.4本から19.0本に増加した（図1）。気象感応調査における最高分げつ期は7月20日前後であり、移植期から7月20日までの日平均気温の推移は1989年以降上昇傾向にあり、1998年以前と以降の平均値で比較すると23.5℃から24.2℃と0.7℃高くなった。この期間の気温と穂数には有意な相関は認められないが、気温の上昇により基肥肥料の分解、吸収が促進され、分げつや穂数の増加に影響しているのではないかと考えられた（データ省略）。
2. 心白発現率について、心白（大）は心白（中）、心白（小）と有意な負の相関が認められた。心白（大）の発現率は穂数が多く、1穂粒数が少ない場合に高くなり、反対に心白（中）、心白（小）の発現率は低くなる傾向が認められた（表1）。
3. 心白の大きさと粒大との関係では、心白（大）の粒幅、粒厚および粒重は、心白（中）、心白（小）、心白（無）より大きかった（表2）。心白（大）の横断面の心白の形状は、全般に粒大が大きいと大きくなる傾向が認められた（表3）。「大」と「極大」の粒大について、それぞれ複合型との間には有意な差は認められなかった（表3）。
4. 近年増加している大きい心白の発生は、穂数の増加が関係していると考えられるため、基肥の減量など栽培法の検討が必要である。また、これまで良質な酒米としては粒大が大きく、心白発現率の高いものが求められてきたが、心白（大）や横断面の心白「大」、「極大」が多くなると、精米時の碎米や水浸裂傷粒の増加が懸念されるため、酒造適性の観点から適切な粒大や心白の大きさについて再検討が必要である。

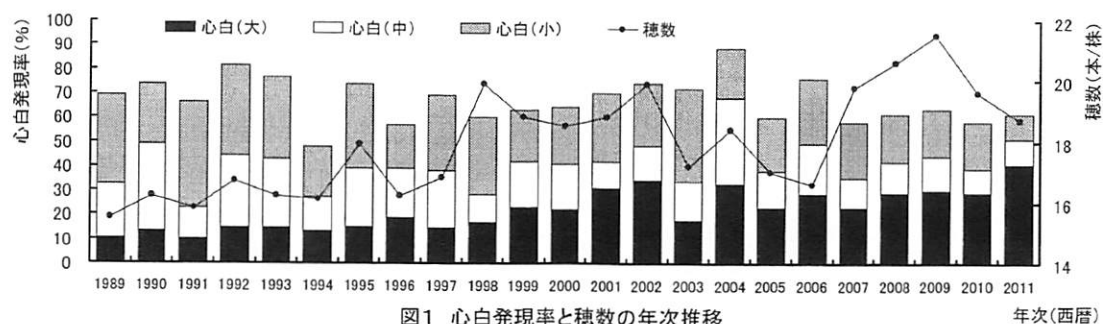


図1 心白発現率と穂数の年次推移

年次(西暦)

表1 心白発現率と倒伏および収量構成要素との相関係数

	心白(大)	心白(中)	心白(小)	心白(計)	倒伏	穂数(株)	1穂粒数	m ² 当り粒数	登熟歩合	千粒重
心白(中)	-0.660 **	1.000								
心白(小)	-0.747 **	0.350	1.000							
心白(計)	-0.258	0.573 *	0.561 *	1.000						
倒伏	0.384	-0.342	-0.492 *	-0.337	1.000					
穂数(株)	0.735 **	-0.620 **	-0.600 **	-0.285	0.590 **	1.000				
1穂粒数	-0.622 **	0.619 **	0.331	0.208	-0.121	-0.697 **	1.000			
m ² 当り粒数	-0.002	0.326	-0.252	0.134	0.438	0.149	0.533 *	1.000		
登熟歩合	-0.412	0.260	0.506 *	0.354	-0.659 **	-0.420	0.241	-0.263	1.000	
千粒重	-0.049	0.446	-0.159	0.139	-0.129	-0.236	0.452	0.472 *	0.230	1.000
精玄米歩合	-0.377	0.041	0.440	0.085	-0.565 *	-0.235	0.175	-0.196	0.806 **	0.100

注)数値の右肩の*,**はそれぞれ5%,1%水準で有意であることを示す。

表2 心白の大きさと粒長、粒幅、粒厚及び粒重との関係

心白の大きさ	調査粒数	粒長(mm)	粒幅(mm)	粒厚(mm)	粒重(mg)
心白(無)	39	5.43 a	3.15 a	2.09 a	26.4 a
心白(小)	64	5.49 ab	3.19 ab	2.12 a	27.5 b
心白(中)	66	5.51 bc	3.22 b	2.13 a	27.9 b
心白(大)	194	5.55 c	3.27 c	2.18 b	29.0 c
分散分析		P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01

注)数値の右肩に同一のアルファベットを含む場合は5%水準で有意な差がないことを示す、Tukey-Kramer法

表3 心白(大)の玄米横断面の白色部の形状と粒長、粒幅、粒厚、粒長/粒幅比および粒重との関係

横断面の心白の形状	調査粒数	粒長(mm)	粒幅(mm)	粒厚(mm)	粒長/粒幅比	粒重(mg)
点・線状(1)	49	5.53	3.22 a	2.14 a	1.72 a	27.9 a
中(2)	47	5.54	3.25 a	2.16 ab	1.71 ab	28.7 ab
大(3)	24	5.61	3.26 ab	2.18 abc	1.72 abc	29.4 bc
大・複合型(3(1))	14	5.55	3.29 ab	2.17 abc	1.69 abcd	29.1 abc
極大(4)	25	5.54	3.34 b	2.20 bc	1.66 d	29.7 bc
極大・複合型(4(1))	35	5.59	3.33 b	2.22 c	1.68 bcd	30.1 c
分散分析		NS	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01

注)数値の右肩に同一のアルファベットを含む場合は5%水準で有意な差がないことを示す、Tukey-Kramer法



図2 心白の大きさによる分類

注)左から大、中、小



図3 玄米横断面の心白の形状

注)左から点状、線状、中、大、大・複合型、極大、極大・複合型

中国の主要ジャポニカ産地における水稻品種の食味実態調査

崔 晶^{1)・4)}・張 欣^{1)・4)}・松江勇次^{2)・4)}・楠谷彰人^{3)・4)}

(¹⁾ 天津農学院, ²⁾ 九州大学大学院農学研究院, ³⁾ 香川大学農学部,
⁴⁾ 中日水稻品質・食味共同研究センター)

The palatability of *japonica* type rice cultivars produced at different locations in China
Cui Jing, Xin Zhang, Yuji Matsue, Akihito Kusutani

現在、中国においては所得向上や消費者の食生活の多様化によって、より品質の良い米、良食味の米を消費者が求め始めている。こうした背景を反映してジャポニカ米品種の作付け面積が急激に増加している(第1図)。このため、中国においては米の安定生産体制を前提とした良食味品種の育成や良食味米生産のための栽培管理技術の開発が急務となっている。しかし、中国では未だ全国的に統一された食味特性の評価法や官能検査基準が定まっておらず、これに基づいた良食味品種の育成(選抜)も行われていない。また、中国各地で栽培されているジャポニカ米品種の食味実態についても明らかでない。

本報告は、中国の主要ジャポニカ産地における品種の食味についての実態調査の結果に基づき、今後の中国におけるジャポニカ型水稻良食味品種育成のために、有用な遺伝資源について検討したものである。

【材料と方法】

食味官能試験は天津農学院中日水稻品質・食味共同研究センターにおいて、2011年12月21～23日の間に実施した。食味試験は、1回の食味供試点数は10点で、-3(かなり不良)～+3(かなり良)の7段階で評価した。パネルは天津農学院教職員18名で、津原45号(河北省で最も普及している品種で、食味水準は中程度である)を基準米として産地別品種についてそれぞれ2回の食味評価を行い、その平均値で示した(写真1)。供試品種はすべて2011年産で、天津市5品種(E28, 津原5号, 津原11号, 津原17号, 津川2号), 遼寧省6品種(塩豊47, 塩粳218, 塩粳456, 沈農9903, 鉄粳7号, 遼星1号), 吉林省5品種(吉83, 吉88, 吉105, 吉803, 長白9), 黒龍江省6品種(龍粳21, 龍粳25, 龍粳26, 龍粳31, 粳稻12, 空育131), 江蘇省5品種(南粳44, 連粳7号, 淮稻5号, 武運粳24, 徐稻3号)の計27品種を用いた。

【結果と考察】

1 食味の総合評価の分散分析

食味総合評価(食味)において、パネル間での品種間差の判定は有意であり、パネル構成員が異なっても食味の品種間差の評価に一定の傾向があることを示した(第1表)。

2 主要産地における品種別の食味の頻度分布

27品種の食味の頻度分布は、-2.24～+1.78と広く分布し、基準米に比べて有意な差(LSD 5% 1.06)で食味が優れた品種数は6(吉803, 津川2号, 塩粳218, 徐稻3号, 吉83, 吉105)で全体の約20%も認められた。

3 主要産地における品種別の食味と分散との関係

ここでの品種ごとの食味の分散は、パネル構成員間の分散を計算したもので、分散が小さい(パネル構成員間差が小さい)品種は安定性が高いとした。食味が最も優れた品種は吉803で+1.78、次に津川2号の+1.60であった。この両品種は分散も比較的小さかった。産地別にみると中国東北部の吉林省産の品種は、すべてが基準米に比べてプラスの値を示し、最も優れた。吉林省産品種の食味が優れた要因については、異なる生産年での確認、食味の育種水準および栽培期間中の栽培環境の面から今後解析する。また、楢円で囲んだ品種は、食味が優れとともに分散も小さいことから交配母本として有効であると判断された。

今後の計画

広域にわたってのジャポニカ米栽培地帯において、さらなる良食品種の探索と収集を行うとともに、良食味品種育成のための交配母本の活用と良食味品種の遺伝的背景を解明していく。

第1表 食味総合評価の分散分析.

要因	総合評価			
	df	SS	MS	F
全 体	503	942.5		
品 種	27	595.1	22.04	30.2**
誤 差	476	347.4	0.73	

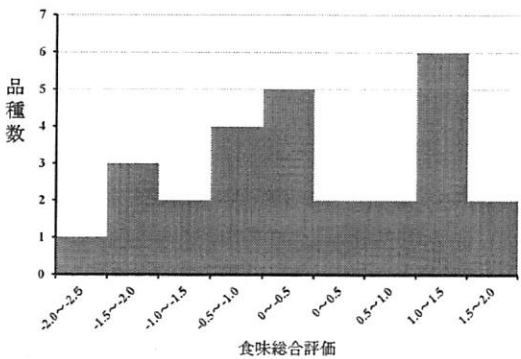
**1%水準での有意性を示す.



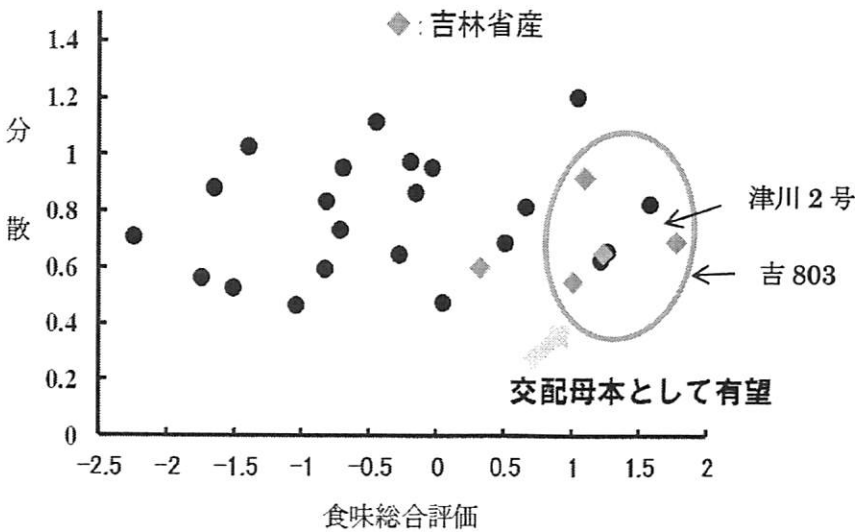
写真1 天津農学院における食味官能試験



第1図 中国におけるジャポニカ米水稻品種の栽培地帯.



第2図 主要産地における品種別の総合評価の頻度分布



第3図 主要産地における品種別の食味と分散との関係.

Importance of rice grain quality in Tanzania: a case of sensory test in Zanzibar on cooked grain quality of
NERICA and local cultivars

Nobuhito Sekiya¹⁾, KhatibJuma Khatib²⁾, SubiraMaslah Makame²⁾, Motonori Tomitaka³⁾, Nobuaki Oizumi³⁾,
Hideki Araki⁴⁾

(¹⁾The University of Tokyo, ²⁾Zanzibar Agricultural Research Institute, ³⁾JICA, ⁴⁾Yamaguchi University)
タンザニアにおけるイネの穀粒品質の重要性：ザンジバル島で実施したネリカと在来品種の炊飯米
官能試験の例から

関谷信人 ¹⁾・ハティブ ジュマハティブ ²⁾・スビラ マスラマカメ ²⁾・富高元徳 ³⁾・大泉暢章 ³⁾・
荒木英樹 ⁴⁾

In Tanzania, rice is becoming an increasingly important cash crop due to its relatively high market prices. With strong consumer preferences for grain quality, the market price of rice varies with cultivar or brand. Therefore, rice farmers in Tanzania often select cultivars for production based on consumer preference rather than on yield potential. The NERICA (New Rice for Africa) cultivars are interspecific hybrids between *Oryza sativa* and *Oryzaglaberrima*. These are well adapted to rainfed conditions with potential yields of 4–7 t ha⁻¹. Their early maturation (90–100 days), combined with their high yield potentials are expected to provide a good opportunity for increases in rainfed rice production in Tanzania where rice growing is greatly affected by a short rainy season. Thus, a sensory analysis of their cooked grain qualities was conducted to examine the possibility of introducing these promising cultivars in the country.

<Materials and Methods>

The sensory test was conducted in Zanzibar in October 2009 (Fig. 1). Eighteen people (11 farmers, 4 extension officers and 3 researchers) total took part in the test. Cultivars subjected to the test were shown in Table 1. Samples (1,120 mL) of each rice cultivar or brand were mixed with water and the mixtures stirred to wash the grains. After several such washes, the samples were mixed with water (1,280 mL) and cooked in an electric rice cooker (GRC4304, Geepas, Dubai). A spoonful of cooked rice of each cultivar or brand was given to each participant with its identity concealed. The participants scored each cultivar or brand by criteria listed in the Table 2. The participants rinsed their mouths with water after scoring each sample. Each participant summed the scores for each cultivar or brand and ranked them based on the summed scores. Friedman's ANOVA was conducted on the ranked data set.

<Results and Discussion>

In all the grain quality assessments, both BKN SUPA and Mbeya rice scored higher than Mapembe, suggesting that the results of our blind test were in good agreement with the evaluations by the local markets. Overall, Mbeya rice scored highest followed in declining sequence by BKN SUPA, NERICA 1, 10, 2, 12 and Mapembe, and NERICA 14 scored the lowest. The grain qualities of some NERICA cultivars were evaluated highly by the local people. NERICA 1, in particular, was ranked as highly as BKN SUPA. Therefore, NERICA 1 may well be accepted by farmers due to its good grain quality.

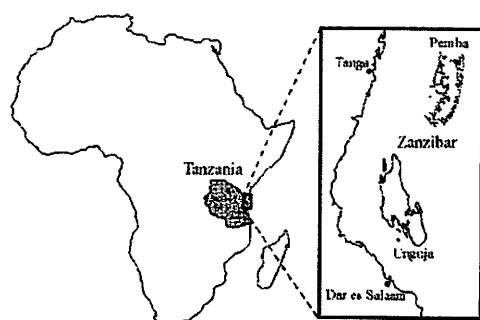


Fig. 1 Location of Zanzibar

Table 1 Rice cultivars or brands subjected to the sensory test

Cultivars/brands	Description
NERICA	NERICA 1, NERICA 2, NERICA 10, NERICA 12 & NERICA 14
BKN SUPA	A lowland rice cultivar developed in a FAO supported irrigation project in Zanzibar and popularly grown in Unguja island and the highest-ranked brand in Zanzibar markets
Mbeya rice	A blend of such local cultivars as Kilombero, Rangimbili, Zambia etc. produced in the Mbeya region and the highest-ranked brand across Tanzania
Mapembe	An imported rice from Asia and the lowest-ranked brand in Zanzibar markets

Table 2 Scoring criteria

Criterion	Score		
	3	2	1
Color	attractive	less attractive	not attractive
Fluffiness	fluffy	less fluffy	not fluffy
Aroma	aromatic	less aromatic	not aromatic
Taste	tasteful	less tasteful	not tasteful

Table 3 Gain quality scores. The data are derived from Sekiya et al. (2012).

Criterion	N1	N2	N10	N12	N14	BKN SUPA	Mbeya	Mapembe
Color	47	42	45	47	27	50	52	48
Fluffiness	34	38	35	30	31	44	43	27
Taste	44	33	35	32	31	40	40	32
Aroma	30	30	31	30	24	33	33	23
Score total	155	143	146	139	113	167	168	130
Rank total	65.5	85.5	76	89.5	118	56	53.5	104.0
Mean rank	3.64	4.75	4.22	4.97	6.56	3.11	2.97	5.78
Friedman's ANOVA: $\chi^2 = 33.68$, $P < 0.001$ (ties: 35, χ^2 corrected for ties = 39.35, $P < 0.001$)								

<Reference>

N.Sekiya, K. J.Khatib, S. M.Makame, M.Tomitaka, N.Oizumi, H. Araki. 2012. Performances of NERICA Cultivars in Zanzibar, Tanzania: Yields, yield components and grain qualities. *Plant Prod. Sci.* (in press).

食味官能試験について
木野 信秋
一般財団法人日本穀物検定協会

近年、様々な品種特性を持つ良食味品種が各産地で誕生しております。

穀検では、昭和46年産以降、全国規模の産地・品種について食味官能試験を行い、その結果について毎年食味ランキングに取りまとめて発表し、関係者の参考に供してまいりました。

更には、生産者及び米穀販売業者、外食事業者、炊飯業者などからのご依頼者の要望に沿って食味試験を行っています。

1. 食味評価の方法

米の食味は、私たち人間がご飯を食べて“おいしい”“まずい”を判断するものです。

従って、人間の感覚をもとにして、しかも科学的に食味の良否を決める官能検査法が基本になっています。

食味試験は、個人の感覚による主観的な評価をもとにしますが、集団によってこの主観を打ち消して、客観的な評価ができるように組み立てられています。そのためにはパネルの正しい構成によって評価の偏りをなくし、近代統計学の理論と方法を導入し、試験条件を標準化してあります。

また、同時に理化学的測定によって食味の良否を推定することも行っています。

食味評価は、当協会独自の基準米（複数産地コシヒカリのブレンド米）と試験対象産地品種を白飯で「香り・外観・味・粘り・硬さ・総合評価」の六項目について比較評価する相対法により行います。

2. パネルの選定

食味試験は、パネルの平均的評価に基づいて結果の判定を行うものです。感覚による判断には個人差が大きく影響します。ですから、多数の消費者が問題とする程度の差をパネルによって検出するためにも、ある程度のパネル要員を確保する必要があります。

パネルの選定及び構成は、幾つかの選定条件並びに試験実施方法を設定したうえ、これらを考慮に入れながら選定します。

また、パネルには、誰でもがなれる訳ではありません。人には、味が全くわからない「味音痴」がいるものです。このことから、協会では味覚テストと嗅覚テストを受けてもらい、パネルとして、適性が有るか、無いかの判断をします。

毎年1回、選定テストを実施し、常にエキスパートパネルの確保に努めています。なお、選定に当たっては次の事柄に十分考慮し、パネル選定を行います。

- ①断続的に食味試験に参加できる人から人選します。
- ②年齢は広範囲にわたることが望ましいことから、20代～50代の中から人選します。
- ③男女ほぼ同数になるよう人選します。
- ④味覚テスト並びに嗅覚テストの結果に基づき人選します。

ア) 味覚（みかく）テスト（別名、五味テスト）といわれています。

甘味（ショ糖）、酸味（クエン酸）、旨味（グルタミン酸ソーダ）、塩味（食塩）、苦味（カフェイン）の五つを人工的に調合した試験溶液濃淡2種類のものを準備し、それぞれ濃度別に識別させます。

イ) 嗅覚テスト

当協会では、テストに使用する匂い試験液は次の5種類の市販品を利用します。

・バラの花びらのおい・プリンのにおい・桃の缶詰めのにおい・汗臭いにおい・かび臭いにおいです。

ウ) パネルの訓練

食味試験後、各自の評価結果について、ディスカッションを通じて、教育訓練を行うなど、質の向上を図り、食味の再現性に努めています。

3. 食味試験の手順

食味試験は基準米と供試米を「香り・外観・味・粘り・硬さ・総合評価」について比較評価する相対法によって行われるため、実施に当たり、同一条件・環境の下で評価することを求められていますので、幾つかの点に注意しながら、取り進めます。

4. 保管・とう精

食味試験に使用する供試米は、常に同一条件で使用できるよう、また、長期保管に耐えられるよう5℃～10℃程度で保管管理します。

包装容器についても、試験期間中、供試米の出し入れを考え、長期保管に耐えられるもの、結露などの発生を防ぐものを使用します。

とう精は、山本式縦型とう精機を使用（年に1回メーカーにて調整）、流量と抵抗の調整は一定の条件に統一します。（とう精度は市販精米程度）

試験に使用する供試米は、使用2日前、保管庫から取り出し、室温に戻し、翌朝、とう精します。

5. 食味試験の流れ

- ①試験に使用する精米の水分を測定します。

これは、精米の水分含有率によって、加水量を調整するためです。水分は、品種・産地によって異なるので、一定の条件に基づき加水量を決定します。

②洗米は4釜並行して行います。

1回、2回目は、精米についたヌカやごみを洗い流すため、水道水で手早く洗米します。

3回、4回、5回目は、浄水で軽く攪拌しながら洗い流します。

水の澄み具合を一定にします。

③水分測定器で3回測定、3回の平均値を採用。

水分含有量14.1%の場合、加水量を830g（供試米600g）と定め、水分1%増減ごとに加水量を16g加減します。

④炊飯National IHジャー炊飯器SR-A10Cを使用。

おいしく炊き上げるのではなく、同一条件で炊き上げることが大切です。

また、炊き上がりが同時になるよう、4釜同時に炊飯器のスイッチを入れます。

⑤浸漬時間、むらし時間は炊飯工程に含まれます。

⑥攪拌、シヤモジで米粒を潰さないよう釜底より、丁寧に攪拌します。米粒が潰れると、評価するときに、外観でマイナス要因になります。

⑦放冷、攪拌終了後、速やかに内釜に布巾を掛けます。釜蓋を僅かに開け、約30分間放冷します。（これは、釜の中のご飯粒の水分率を均一にするために行います。）さらに、試食に適する温度まで放冷します。（60℃）

⑧盛り付け、50g程度の炊飯米を米粒が潰れないようにアルミカップに軽く入れ、試験皿に盛り付けます。盛り付ける順番は、初めに基準米を赤色の箇所盛り付けます。その次に供試米を黄色、青色、緑色の箇所に盛り付けます。

盛り付けが終了したら、速やかにキャップを被せ、極力、匂いが逃げるのを防ぎます。

⑨評価

予め、食味の順番による評価の偏りをなくするため、パネル20名を1グループ3～4名の6グループに編成し、グループ別に試食の順序を変えて行います。

⑩初めに、香から評価します。次に、外観、味、粘り、硬さ、最後に総合評価の順で評価を行う。評価にはあまり時間をかけずに、評価尺度の程度に基づき判定するよう心がけます

⑪評価項目のポイント

香り：盛り付けられたご飯上のキャップを外し、箸で押し分けて、鼻がご飯に付く程度まで近づけ、匂いを嗅ぎます。ご飯特有の香りの状態を評価します。ご飯を食べたときの、口から鼻に抜ける香りを評価します。

ア) 外観：ご飯の白さ、つや、ご飯粒の構成（砕粒・煮崩れ状態）、粒の形の整否等を観察します。

イ) 味、粘り、硬さ：同時に評価します。味は、いわゆるご飯のうまみで、ご飯を呑み込む時の喉ごしの感じの良い滑らかさ、噛んでいるとき感ずる、かすかな「あまみ」です。

ウ) 粘りは、ご飯を噛んで、離す時の歯や口腔の感覚です。硬さは、ご飯を噛む時の歯ごたえです。自分の好みに合った粘り、硬さかどうかでなく、あくまでも基準米の粘り具合と比べてどうかを判断します。

エ) 総合評価：香り・外観・味・粘り・硬さまでの5項目の個別評価を平均するような、頭の中で計算するものでなく、あくまでもパネル（試験者）が基準米と比べて良いか不良かを、感覚で供試米の食味は総合的にどうかを判断します。

⑫評価尺度については、個々の感覚による差が大きく影響を及ぼしかねないことから、尺度の統一化を図ることが必須要件となります。

a) 「かなり良い・かなり悪い」度合：1回目の試食（1度観る、1度嗅ぐ、1口目のご飯を噛む）で明確な違いがあると確信された場合。

b) 「少し良い・少し悪い」度合：1回目の試食では明確な違いがあると確信されないが、ある程度の違いのあることが分かる場合。

c) 「わずかに良い・わずかに悪い」度合：1回目の試食でハッキリせず、2回目（2口目）の試食で違いが分かる場合。

d) 「基準と同じ」度合：2回目の試食でも違いがあるかどうか判断に迷う場合。

以上のながれにより、評価を行います。

(一般講演)

米粒におけるタンパク質分布の可視化技術の開発と利用

増村 威宏^{1,2)}・重光 隆成¹⁾・齊藤 雄飛¹⁾・金丸直樹³⁾・小倉治朗³⁾・江原崇光⁴⁾・沓掛文夫⁴⁾

(¹⁾京都府立大学大学院、²⁾京都府農林水産技術センター・生物資源研究センター、

³⁾日本穀物検定協会・中央研究所、⁴⁾ケット科学研究所)

Development and the use of the visualization technique of the protein distribution in rice grain

Takehiro MASUMURA^{1,2)}, Takanari SHIGEMITU¹⁾, Yuhi SAITO¹⁾, Naoki KANAMARU³⁾, Jiro OGURA³⁾,

Takamitsu EHARA⁴⁾, Fumio KUTSUKAKE⁴⁾

米の食味は、専門のパネラーが炊飯米を食して測定する官能検査と、計測器を用いて玄米、精米、炊飯米を測定する理化学試験によって評価される。前者は、外観、味、香り、硬さ、粘りの5項目の総合で判定されるのに対して、後者は、米粒のアミロース含量やタンパク質などの食味関連成分の分析や、米飯における物性測定などを行って食味値を判定する方法であるが、メーカーによって計算式が異なっている。近年の消費者の良食味志向を受けて、ヒトが判定する食味官能検査と理化学的評価を関連付けて評価することがますます重要になっている。上記の観点から、我々は、これまでに国内の農業研究機関などで育成された様々な品種について、電気泳動分析、免疫蛍光顕微鏡観察、電子顕微鏡観察を用いて、米粒中のタンパク質の分析を行い、米タンパク質の特性に関する研究を進めてきた。本研究では、我々が開発した米粒中のタンパク質分布の解析方法について紹介する。

【背景および目的】

米タンパク質の主成分は、発芽時の窒素供給源となる貯蔵タンパク質である。米粒中の貯蔵タンパク質は、主に希酸または希アルカリ可溶性のグルテリン、アルコール可溶性のプロラミンから成る。これらのタンパク質の存在割合は、品種によって異なるが、グルテリンが60～65%、プロラミンが20～25%であると推定されている。米タンパク質の量については、タンパク質中の窒素量を測定するケルダール法、燃焼法を用いることで測定可能である。一方、米タンパク質の組成については、ドデシル硫酸ナトリウム-ポリアクリルアミドゲル電気泳動(SDS-PAGE)法を用いることで測定可能である。しかしながら、米粒中のタンパク質分布については、これらの方法では調べることが出来ない。米粒中のタンパク質分布に関する情報は、米飯の食味に関する科学的評価、米加工品原料の精米歩合の決定に重要である。そこで、筆者らは米粒におけるタンパク質分布の視覚化手法の開発を進めた。

【材料および方法】

視覚化を行うためには、顕微鏡観察用の薄切片を必要とするが、米は硬く脆いために、薄切片の作製が極めて困難であった。そこで、動物の骨などの硬組織観察用に開発された「粘着フィルム法」¹⁾をベースに、技術的改良を加え、免疫組織染色が可能な米凍結切片を作製することに成功した(図1)。米などの乾燥した試料の場合、急速凍結前に、減圧吸引により、組織内に包埋剤を浸透させることが重要である。この操作により、試料表面と粘着フィルムの接着性が向上し、良好な凍結切片(厚さ3 μm)を作製することが可能となった(図1B)。この方法により作製した米の薄切片では、組織の脱離がほとんどみられず、デン

プン粒などの細胞内構造を観察することが可能である(図 1B). 詳細については, 筆者らの文献を参照されたい²⁾.

【結果および考察】

粘着フィルム切片上では, 常法に従い, 色素染色や免疫染色を行うことが可能である. 米粒中のタンパク質の分布を視覚化するため, 蛍光色素で標識した抗グルテリン抗体, 抗プロラミン抗体を, 薄切した米粒組織上で反応後, 蛍光顕微鏡下で観察を行った(図 1C, D). その結果, プロラミンは, 種子の外周部に多く分布していることが明らかとなった. また, 種子の長軸側(腹・背部)よりも, 短軸側(側部)の外周部に, 特に多く分布することがわかった(図 1D). グルテリンは, 種子の外周部に多いが, 中心部近くにも広く分布する傾向がみられた.

一般的に, タンパク質含量の高い米は, 食味が低下すると言われてきたが, タンパク質の組成が米の食味に影響を与えるメカニズムについては, これまでよく判っていなかった. 本研究の結果から, タンパク質含量の高い米で食味が低下する要因は, 疎水性タンパク質であるプロラミンが米粒の外周部を取り囲むことで, 米の吸水性を低下させ, 物性的に硬さを増すためであると考察された.

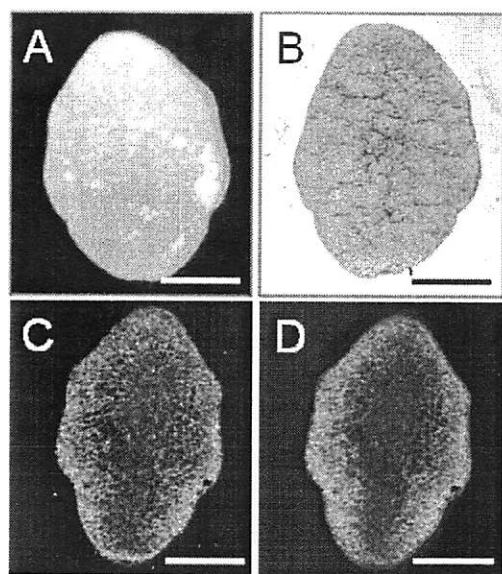


図 1 米粒における貯蔵タンパク質の分布

(A) 米粒(横断面)の実体顕微鏡観察像. (B) 米粒の粘着フィルム切片の光学顕微鏡観察像. (C) 蛍光標識した抗グルテリン抗体を用いた免疫蛍光顕微鏡観察像. (D) 蛍光標識した抗プロラミン抗体を用いた免疫蛍光顕微鏡観察像. スケールバーは 1 mm を示す.

【引用文献】

- 1) T. Kawamoto *et al.*, *Histochem. Cell Biol.*, **113**, 331-339 (2000)
- 2) Y. Saito *et al.*, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **72**, 2779-2781 (2008)

(一般講演)

世界の広範な米による細胞壁分解酵素関連マーカーの開発

中村 澄子¹⁾・大坪 研一¹⁾

(¹⁾新潟大学農学部)

Search for Cell-Wall-Degrading Enzymes of World-Wide Rice Grains by PCR

Sumiko NAKAMURA¹⁾ and Ken'ichi OHTSUBO¹⁾

米の主成分はデンプンであるため、デンプンの特徴が米の品質特性に強くかかわっている。辻井らは、米飯食味に細胞壁分解酵素活性が影響をもたらすことを確認した(辻井ら, 2012)。ヘミセルロースはヘテロ多糖であり構成糖の種類・分岐構造が植物種や植物の生成段階・部位により異なるとされている。本研究では、特に細胞壁分解酵素(Xylanase、Cellulase、Polygalacturonase)の品種による塩基配列の相違を探索し、キシラナーゼおよびセルラーゼに由来する品種判別マーカーを開発したので報告する。

【材料および方法】

(1) 試料米として、Hakuchō-mochi、Habutaemochi、Cam 101、Chigonohoho、Kokonoemochi、Asanohikari、Akihikari、Koshihikari、Hinohikari、Kinuhikari、Kirara397、Nipponbare、Akigumo、Natsugumo、Kaoruko、EM10、Hokurikukona243、Koshinokaori、Hounenwase、Koshijiwase、Koshiibuki、Toyonishiki、Mihonishiki、Senshuraku、Hanaiku 409、Tsugawa 1、Kitsu88、Ryukou 25、Shiotoyo 47、Vaccar、Carnaroli、Arborio Medium grain rice、Pelde、Doongara、Hoshiyutaka、Sari-queen、Kareimai、Koshinomenjiman、Ekkakou、IR2061、Yumetoiro、Milyang 23、Jasmin rice、Basmati、Tamxuan、Texamati、Nanjing 11、Kalijira、Masuri、Long grain rice、Takanariを用いた。

(2) 各試料精米からの鋳型 DNA の調製は、CTAB 法(大坪ら、1997)を用いて行った。開発した STS 化対合プライマーの塩基配列および PCR 条件を表1に示した。STS 化プライマーは、 α -グルコシダーゼの同定された塩基配列(Nakai et al, 2006)からプライマーを設計し、日本型米とインド型米の鋳型 DNA を用い PCR を行った結果、日本型米およびインド型米同士に共通なバンドが出現した。インド型米の各バンドから DNA を切り出し、クローニングを行い塩基配列の決定を行った(図1)。表1の条件を用い、広範な特性の米 42 品種の PCR 結果を図2に示した。

(3) 超硬質米、インド型米、日印交雑種、コシヒカリ、コシヒカリの姉妹品種、コシヒカリの子供品種、コシヒカリの孫品種、糯米品種、非コシヒカリ系統(食味値が低い品種)の 20 品種を用い、Polygalacturonase 遺伝子に特徴的な塩基配列を探索した。

【結果および考察】

1. 図1の点線で示した A のアミノ酸配列は、DDBJ Accession number AC092749 で 98%の相同性で一致し、1,4- β -xylanase を示した。

2. 表1に示したキシラナーゼ識別プライマーによる PCR の結果、インド型品種、日印交雑種、ジャバニカミに 1,4- β -xylanase の識別バンドが出現した(図 2-A)。表1に示した Endo-1,4- β -glucanase のアミノ酸配列は、DDBJ Accession number AL732344 と 100%の相同性で一致し、Endo-1,4- β -glucanase 13 (cellulase)を示し、インド型品種、日印交雑種、ジャバニカミに cellulase の識別バンドが出現した(図2-C)。

Table 1. Sequences of STS Primers and PCR Condition

PCR Primer		sequence	annealing temperature	primers density (25pmol/ μ l)
xylanase	F a	GGT ACA ACG TCG CGT CGG	58°C	0.1 μ l
	R c	CGT GTA CCA GAC GGT CCA GAT ACA GC		0.1 μ l
RNA-binding protein	F d	ATT GAG ATT GCG TAC CTG GAT A	60°C	0.1 μ l
	R e	CTC CAT TAA TGT CTC GTT TTG TGG C		0.1 μ l
endo-1,4-beta glucanase	F h	CTA TCG AGC ATT TGG TTG ATT	48°C	0.2 μ l
	R i	TAA TCT TCA ACT ATT ATT ATA TT		0.2 μ l
Retrotransposon protein	F j	AAG TAC TAC TCT AAC GAC	62°C	0.1 μ l
	R k	ATG ATC ATC AGA CCC AGG CAT CTT G		0.1 μ l

F, forward R, reverse



Fig 1.

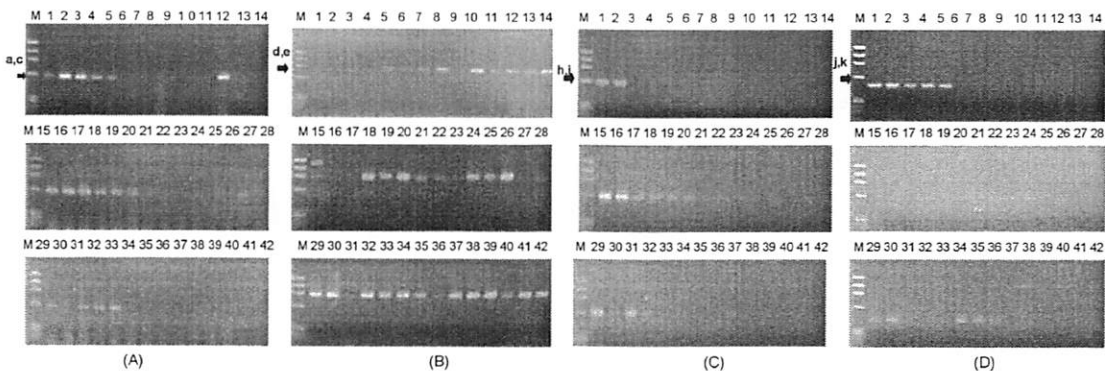


Fig 2

(一般講演 1)

高温登熟により発生した白未熟米粒の定量的プロテオーム解析

白矢 武士¹⁾、丸山 達也²⁾、佐々木 麻衣子³⁾、金古 堅太郎³⁾、三ツ井 敏明^{2,3)}

(¹ 新潟農総研・作物研 ² 新潟大院・自然科学, ³ 新潟大農・応生化)

Quantitative proteomic analysis of white immature rice grain caused by high temperature stress

Takeshi Shiraya¹⁾, Tatsuya Maruyama²⁾, Maiko Sasaki³⁾, Kentaro Kaneko³⁾, Toshiaki Mitsui^{2,3)}

地球規模での温暖化に伴い稲登熟期における高温障害が発生し、主要品種の一等米比率が年々大きく変動する傾向にあることが問題になっている。新潟県では平成 23 年産コシヒカリの一等米比率は、過去最低であった 22 年産の 21%を大幅に上回る 76%となったものの、登熟初期に発生した高温と 9 月初旬のフェーンによる高温の影響で白未熟粒が多発しており、米品質における地域間差も見られた。今後、高温障害による高品質米の生産量低下に歯止めをかけるだけでなく、安定した生産維持への対策が急務である。

白未熟粒の発生については、①高夜温での呼吸量の増加による光合成産物の供給不足、②光合成産物の転流効率の低下、③炭素・窒素栄養供給バランス異常、④登熟種子中の糖代謝異常や機能タンパク質発現の異常など多岐の要因が重なり生じると想定される。また、登熟初期から中期における高温は米の内部が主に白く濁る乳白・心白米の発生が多く、登熟後期の高温は米の周囲が白く濁る基白・背白米の発生が多くなる傾向があることから、白未熟粒の種類によって発生メカニズムが異なることも想定される。これらのことから、白未熟粒発生は一元的な要因ではなく、様々な要因による複雑なメカニズムにより生じていると考えられるがその詳細は明らかでない。

我々は、定量的プロテオーム解析により高温登熟障害米の発生機構の解明を試みた。

【結果および考察】

(1) 高温環境下で発生した乳白部位のタンパク質について iTRAQ ラベルによる定量的プロテオーム解析を行った。約 1400 のタンパク質が同定され、そのうち 478 のタンパク質は登熟米の正常部位と比べ乳白部位において 2 倍以上の発現変動が見られた。乳白部位では、デンプン代謝関係や脂質代謝関係、転写・翻訳関係、活性酸素種消去系酵素・ヒートショックプロテインといったストレス応答関係のタンパク質量が増加する傾向が、逆に、プロラミンといった貯蔵タンパク質量が低下する傾向を示した。特に、デンプン代謝については、分解に関係する α -アミラーゼのアイソザイムの一つ、Amy II-3 の発現が増加したのに対し、Branching enzyme や Starch synthase といった合成に関係する酵素には大きな発現変動は見られなかった (Fig. 1)。

(2) 高温登熟における α -アミラーゼの関与について詳細を調べるため、Real-Time PCR により高温登熟種子中における Amy II-3 の発現解析を行った。その結果、開花後 4 日目、および 10 日目の両方において高温により Amy II-3 発現が誘導されることがわかった (Fig. 2)。

また、高温下での *Amy II-3* 発現に対する品種特異性を調べたところ、高温登熟性のよい品種であるゆきん子舞では *Amy II-3* に顕著な発現変動が見られなかったのに対し、高温登熟性の悪いトドロキワセでは *Amy II-3* の発現が誘導される傾向がみられた。以上のことから、高温登熟による白未熟粒発生にデンプン分解系が関与している可能性が示された。

(3) 走査型電子顕微鏡により高温登熟により発生した乳白部位のデンプン顆粒構造を調べた結果、乳白部位ではデンプン顆粒がいびつで表面が侵食されたようなクレーター状の穴が多数見られることがわかった (Fig. 3)。また、ゲル濾過クロマトグラフィーによる蛍光標識測定、及び屈折測定から乳白部分でのデンプン鎖長構造を調べた結果、正常部位と比べて明瞭な違いを確認することができなかった。このことは、合成されたデンプン顆粒が登熟中の高温によって発現上昇したデンプン分解系によるターゲッティングを受けたことで白未熟粒形成が引き起こされたと考えられる。

以上の結果から、高温ストレスによる白未熟粒発生には、デンプン合成系よりもむしろデンプン分解系の異常が大きく関与していることが示唆された。

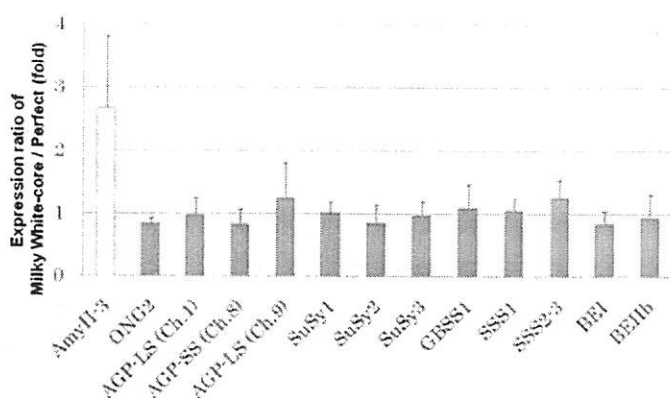


Fig. 1 デンプン代謝に関するタンパク質の発現変動

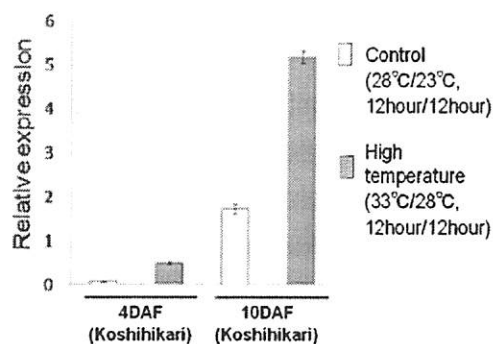


Fig. 2 高温登熟における *Amy II-3* の発現変動

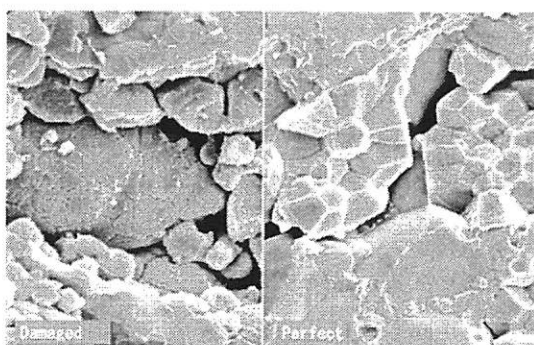


Fig. 3 高温によって生じた白未熟粒 (左) と整粒 (右) のデンプン顆粒構造

(我が社の宣伝)

我が社のお米の品質・食味研究への取り組み

江原 崇光

(株式会社ケツト科学研究所 技術部 渉外担当チーフ)

人の知覚は非常に曖昧です。大まかなところは掴めても、確かなところは分かりません。農業の世界においても勘に頼る農業から、より安定した収穫量・品質で、そしてより良い食味を追求し、更には安心・安全が担保された科学的知見に基づく農業へ急速に進化しています。こうした状況の中、「測る」ということの重要性がますます拡大し、様々な客観的判断を下す材料として測定結果が用いられ、また求められるようになっていきます。部分を測ることによって全体を捉えたり、現状を測ることによって今後を推し量ったり。或いは人の感覚では遠く及ばないミクロの世界を測ったり、カタチの無いもの成分量を求めたり……。つまり、「測る」ということが予測の基盤を構成するわけです。

私達ケツト科学研究所は測定器を通じて、現代そして未来農業の支えとなり、そしてより豊かな社会の実現に貢献していきたいと考えております。

【会社案内、役割】

1. 会社案内

ケツト科学研究所は昭和 21(1946)年、今回の研究会開催地でもある北海道(札幌市)で設立しました。社名やロゴマークにもなっている「Kett」というのは、設立した際の 4 人のイニシャルからとったものです。昭和 31(1956)年、米麦水分計が食糧庁に正式採用され、農家の皆さんや農産物検査との関わりが始まりました。以来、各種水分計、成分分析計、穀粒判別器等様々な農業用測定器を開発しています。また、農業関係以外では、一般工業用測定器(建築用水分計・膜厚計等)を開発しています。



図 1 本社(右)テクニカルセンター(左)

2. 役割

米麦水分計が日本の農産物検査における基準測定器であることをはじめ、多くの製品が日本の基準測定器に採用されています。また、海外においても同様です。品質の維持管理、安心・安全性の向上、公正な取引のためなど、測定器は正確さが要求される場で欠くことのできない重要な機器です。私たちは常にそのことを念頭に置きながら使命感を持って、「測る」というテーマについて一つ一つ確実に、製品という名の答えを出し続けています。

【製品紹介】

代表的なケツトの製品を紹介します。

1. 米麦水分計「ライスタシリーズ」(図 2)

昭和 36 年の発売以来多くの皆様にご愛顧いただいているライスタシリーズ。日本の農産物検査の基準測定器に採用され、農家の皆様をはじめ、精米業

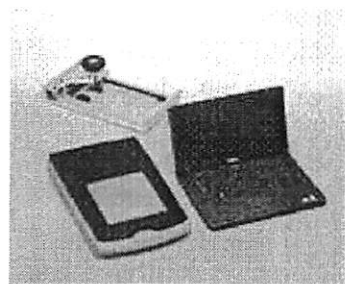


図 2

者や研究者等、様々な方にお使いいただいています。目的(測定対象)に応じて色々な機種をご用意しています。

2. 白未熟粒発生予測装置「RN-850」(図 3)

近年、高温等塾障害における白未熟粒の大量発生が見受けられることから、九州沖縄農業研究センターと共同で開発しました。収穫 10 日前の玄米から白未熟粒の発生を予測します。平成 23 年度農林水産技術 10 大トピックスに選定されました。



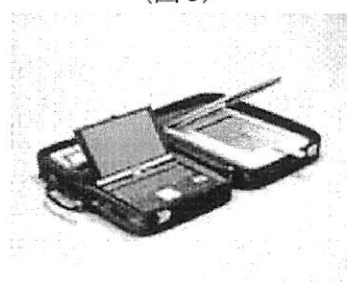
(図 3)

3. 穀粒判別器「RN シリーズ」(図 4. 5)

国の農産物検査民営化の流れの中開発された、等級格付けの外観目視検査の手助けとなる補助器具です。最新の画像解析技術で玄米や精米の胴割や着色粒を瞬時に判別します。生産地だけでなく、消費地の精米工場や炊飯工場などでもご利用いただいています。一般財団法人瑞穂食糧検査協会の認定機器です。



(図 4 RN-600)



(図 5 RN-300)

4. 鮮度判定器「RN-820 鮮度マイスター」

一般財団法人日本穀物検定協会との共同開発製品です。精米を専用のトレイに入れ、専用の pH 指示薬で呈色させ、画像解析を行うことによって鮮度を画像と数値で管理することが可能です。従来のように呈色色差を人の目による官能検査に委ねること無く数値化することが可能なため、鮮度判定の標準化が可能です。



(図 6)

5. 成分分析計「AN-820」(図 7)

目には見えない玄米や精米の成分量(蛋白含有量や水分量)を測定し、その成分値から品質評価値を算出します。震災以来さらに消費が増えている無洗米の測定も可能です。

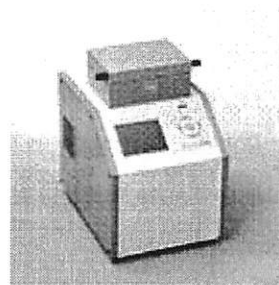


図 7

【おわりに】

技術は人のためにあります。どんなに優れた技術があっても、また優れた器械があっても、それが人の役に立たなければ何の意味もありません。私たちは今に満足することなく、より使いやすく、新しい製品を生み続けています。また、製品紹介でも掲載しましたが、近年は様々な団体・研究機関と共同開発製品が増えています。今後も色々なところと協力し合いながらそれぞれの得意分野を活かし、スピード感のある開発が必要と考えています。今後も農家の皆様や研究者の方々の手助けとなるような製品開発に努める所存です。

(我が社の宣伝)

我が社のお米の品質・食味研究への取り組み

竹内 宏明・越智 龍彦

(株式会社サタケ 技術本部 選別・計測・計量グループ)

【はじめに】

当社は1896年(明治29年)、日本で最初の動力精米機メーカーとして創業、以来1世紀以上にわたり、研究開発を重ね、世界トップの食品加工機総合メーカーの地位を確立しました。

米の分野では精米機器を中心に、川上は稲の育成診断器に始まり、川下は21世紀の新しいお米を造り出す「NTWP無洗米製造装置」、インスタントライスの「マジックライス」、胚芽米も作れるキッチン用精米機やIH炊飯器まで、お米に関わる商品を幅広く開発しております。

経営の基本思想はサタケ精神にあり、その根幹は「不可能はない」「謙虚である」「気のつく人になる」の3点で、創業以来継承されております。この思想のもとに、全ての事業分野で培ってきたサタケ独自の膨大なノウハウを活かし、精米・製粉機器分野はもとより食品・環境機器・産業機械といった新規分野でも、画期的な新商品を次々と発表しております。現在これらの商品は140カ国以上で活躍しております。今後とも人類の3大穀物である「米、麦、とうもろこし」を通して「食」で世界に貢献できる会社を目指します。

また、社員教育はもちろん、地元や広島大学への後援、英国大学への穀物研究所設営など、社会の人材教育にも強い関心を持ち、将来のサタケや日本、世界を担う若者の育成にも力を入れております。

【商品分野】

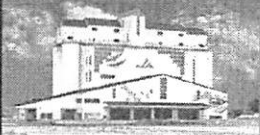
サタケは、人類の三大主食を通じて世界に貢献します!

(米・麦・コーン)

明日を創る力
サタケ

米の分野

- 世界140ヶ国に精米機器を輸出しています。
- 安全で、環境にやさしく、美味しい無洗米も開発しました。



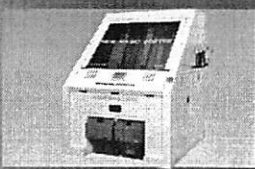
小麦の分野

- 品質の高い小麦粉が生産できる新製粉システムを開発しました。
- トウモロコシ分野にも進出しています。



光選別の分野

- 糠、豆、ナッツ、米など穀物の品質を向上させる光選別の分野において、先進技術を保有しています。



環境の分野

- 循環型社会に向けた積極的な環境保全に取り組んでいます。
- 生物資源や自然のエネルギーを活用したシステムを提供しています。



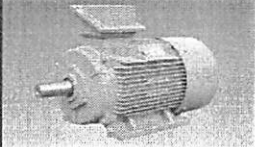
家庭・食品分野

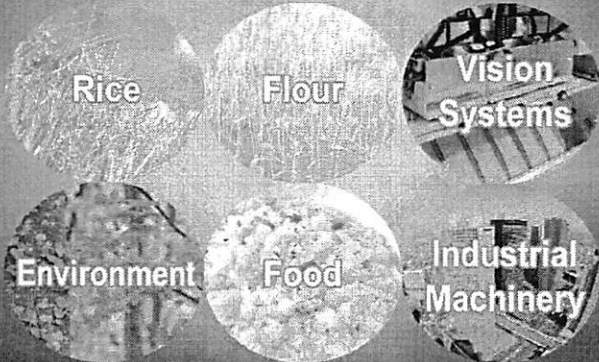
- 水だけで簡単に美味しく食べられるマジックライス。非常食としても最適です。
- 栄養豊富な胚芽米がつくれるキッチン用精米機「マジックミル」。



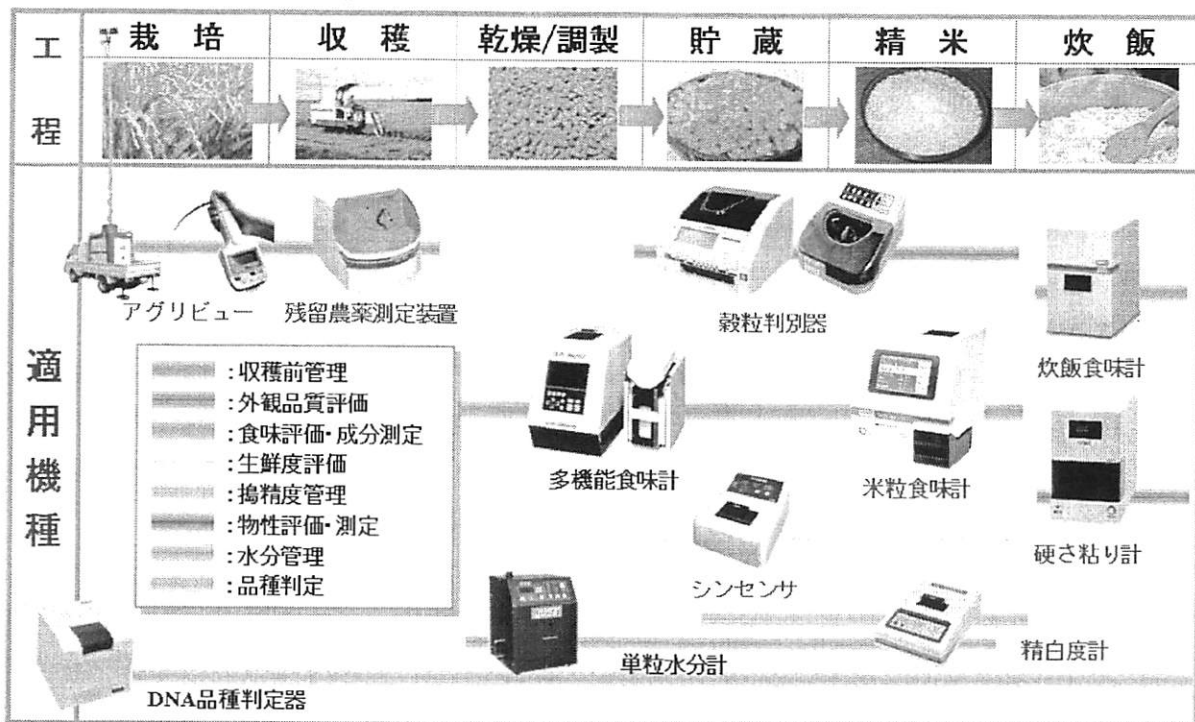
産業機械の分野

- 回り始めるときの力が強く、消費電力の少ない特殊モータを開発しました。
- 電車のコンプレッサや高層ビルの非常電源用に採用されています。

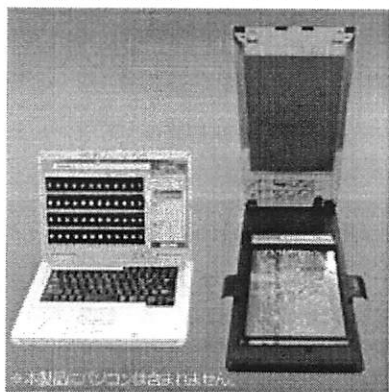




【計測機器ラインアップ】



【新商品紹介 : グレインスキャナー】



◆高精度・高速測定

新開発の画像処理エンジンにより、従来技術では困難であった
密集した穀粒の画像解析が可能。1000 粒あたりおよそ 60 秒の
スピーディーな測定。

◆豊富な結果表示

測定した“色”や“形”の情報を使用し、一粒ごとの画像を並び替えることが可能。予め設定した条件に基づいて、分類結果、各種平均値、標準偏差、ヒストグラムを表示。

◆多彩な項目を測定

穀物一粒について、“色”の情報と、“形”の情報を多数の項目で測定。

◆目的に合わせた分類基準を設定可能

目的に合わせて、穀物の分類基準（例：変色、砕粒）を設定し、次回からの測定に反映可能。

◆多様な粒状の穀物に対応

厚み 10mm 以下であれば、様々な穀物・粒状の原料に対応し、外観測定が可能。

【おわりに】

グレインスキャナーをはじめとした穀物の検査機器は、農産物という生きた対象を測定し、客観的な測定データを提示することができます。検査機器の活用により、測定者が従来よりも判断が容易な環境を提供することが可能となります。

(株)サタケは、農産物検査装置や加工機械など、要求される品質の農産物を、要求された数量だけ、効率的に作り出すための手段や製品を開発・販売していく所存です。