

Breeding of Rice Cultivars with Novel Traits for the Hokuriku Region

Yasuki Uehara*

Summary

On overcoming the food shortage after the World War II, Japanese economy rapidly progressed and brought about diversification and westernization of diet lives of Japanese people. Abundant food resources have been imported from overseas and domestic rice consumption gradually declined. Land productivity of paddy rice steadily increased and the balance between supply and demand of domestic rice was overturned. Eventually the overproduction of domestic rice became serious social and financial burdens. The other problems such as liberalization of world trade, aging and shortage of farmers, abandonment of farm lands and desolation in rural communities came into the reality.

However, not only the natural environments like climate and soil in the Hokuriku region are suited to rice cultivation but also the region has advanced as a great domestic base of high quality rice production realized by the improved infrastructure of paddy fields, soil improvement, cultivar development, and advancement of rice growing technologies. To the contrary, introduction of the other crops into paddy fields, conversion of paddy to upland fields, rotation of paddy and upland fields went with various difficulties.

In the present thesis, the author reported the results of breeding of rice cultivars with novel traits and development of several fundamental technologies related with rice breeding for the Hokuriku region.

1. Present situation of rice growing agriculture in the Hokuriku region and setting up of research programs

Summer in the Hokuriku region is characterized by hot and humid weather and its winter by cool and snowy one often encountering heavy snow. In paddy rice farming of the region, natural disasters were relatively rare. High temperature and abundant sunshine during the rice growing season are favorable to paddy rice farming. Fertile clay soil and paddy fields suitable to rice cultivation are extensively distributed throughout the region. To the contrary, the conversion of paddy fields into upland ones is difficult and acid soil obstructing upland crop cultivation is widely spread and prevented paddy fields from multiple uses.

In order to stabilize the Hokuriku agriculture largely relying on paddy rice farming, not only the reduction of production cost by expanding a scale of farming but also various countermeasures are considered to be needed. The establishment of direct-sowing technology becomes essential to expand a scale of paddy field operated by a farmer and to reduce production cost. The other countermeasures are breeding new rice cultivars with novel traits, development of cooking and processing technologies to rouse new rice demands, and breeding and cultivation of fodder rice cultivars for elevating self-sufficiency rate of domestic animal feed, and

の品質・食味は平常時の食料としては十分とは言えないが、緊急時の食料としては、十分に利用可能で

あり、緊急時の食料安全保障対策として考慮する価値はあると考えられる。

謝 辞

本論文を作成するに当たり、ご指導とご鞭撻を賜りました東京農業大学農学部教授若狭暁博士、福山正隆博士、同国際食料情報学部教授藤巻宏博士、客員教授菊池文雄博士に厚くお礼を申し上げます。

本研究の遂行に当たって、旧北陸農業試験場作物部作物第1研究室員として在籍した際には佐本四郎室長（前佐賀大学教授）、内山田博士室長（前九州農業試験場部長）、古賀義昭室長（前四国農業試験場部長）のご指導を賜り、同研究室の石坂昇助主任研究官（元熱帯農業研究センター室長）、藤田米一主任研究官、中川原捷洋博士（現農林水産先端技術研究所所長）、山田利昭博士（現京都大学教授）、森宏一博士（現秋田県立大学教授）、丸山清明博士（現農業・食品産業技術総合研究機構理事）、奥野員敏博士（現筑波大学教授）にご助言を賜りました。また、旧北陸農業試験場および改組後の中央農業総合研究センター北陸研究センターの稲育種研究室長として研究に従事した際には、前任の小林陽元室長（前中国農業試験場部長）、堀内久満元主任研究官（前福井県農業試験場長）、三浦清之博士（現中央農業

総合研究センター北陸研究センター・サブチーム長）、そして同時に在籍した福井清美主任研究官（現鹿児島県農業開発総合センター・熊毛支場長）、小牧有三主任研究官（現鹿児島県農業開発総合センター・水稲育種指定試験地主任）、清水博之研究員（現北海道農業研究センター上席研究員）、太田久稔博士（現作物研究所主任研究員）、大槻寛研究員、笹原英樹研究員、後藤明俊博士には研究遂行にあたり多大な協力を頂きました。そして、旧北陸農業試験場および中央農業総合研究センター北陸研究センターの業務科職員および非常勤職員の方々には品種育成および実験・調査に多大の協力を頂きました。各位に対して深く感謝致します。

さらに、本研究を遂行するために農林水産技術会議事務局の多くのプロジェクト研究を活用させて頂きましたが、この企画・推進に労をとられた関係諸官ならびに特性検定試験、米の理化学的特性調査試験、加工適性試験等を実施して頂いた試験研究機関、指定試験地の各位、大学関係者および関係会社の各位に対して謝意を表します。

摘 要

I はじめに

北陸地方の気象や土壌などの自然環境は稲作に適しており、多年にわたる品種開発、水田基盤の整備、土壌改良、栽培技術の改良などにより、北陸地方は国内随一の良質米の生産基地として発展してきた。しかし、わが国の稲作農業を巡る国内外の急速な情勢変化は、水田稲作農業に大きく依存する北陸地方の農業・農村に大きな影響を及ぼしている。そのような状況下で北陸農業・農村の活性化を図るためには、水稲の新規形質品種を育成して競争力のある稲作農業を展開することが重要と考えられる。そのため、本研究では、新たな特性を備えた水稲品種を育成するとともに、あわせて、育成のための基盤技術を開発した。

II 北陸地方における水田稲作農業の情勢分析と研究課題設定の背景

北陸地方の稲作では、夏季に発生するフェーン、梅雨寒や秋冷によるいもち病の発生、登熟期の高温による米質低下、早春や初秋の冷害などが問題となるが、それ以外の自然災害は比較的少なく、夏季の気温と日照が水稲の生育には好適な環境となっている。したがって、北陸地方に適応する水稲品種の育成には、この地方特有のフェーン害、いもち病害、生育期間の高・低温害などに対する耐性のほか、直播栽培適性を付与し、これらを評価するための基盤技術の開発が必要である。

一方、北陸地方には、水稲栽培に適した肥沃な重粘質の沖積水田土壌が広がっているため、畑地化が難しいうえに、畑作物の生育を阻害する酸性土壌が

多く、水田の高度利用には困難が多い。したがって、水田稲作農業への依存度が高い北陸農業を安定的に発展させるには、北陸地方の環境に適した高品質米品種とともに、新規形質を備えた水稲品種を育成し、これらを活かした加工利用技術により付加価値の高い新製品を開発すること、さらに、北陸地方に適する飼料用水稲品種を育成し有畜水田農業を進展させることが重要になると考えられる。

Ⅲ 北陸地方に適する水稲品種育成のための基盤技術の開発

1. フェーン耐性の評価技術の開発

北陸地方では、夏季のフェーンによる登熟障害が減収や品質低下を招く。そのため、水稲の登熟期におけるフェーン害の発生条件を明らかにするとともに、人為的にフェーン害を発生させ、屋外型人工気象室を用いて水稲のフェーン耐性を評価する技術を開発した。

フェーン害としては白穂発生による不稔が最も大きいですが、登熟歩合の低下による減収と品質劣化も直接的な被害となる。そこで、登熟歩合を指標としたフェーン害耐性の評価技術の開発を行った。すなわち、シャワーによる噴水処理を5時間行い、その後、人工気象室内において、温度30℃、湿度40%、風速4 m/sのフェーン処理を2時間行うことにより耐性を評価できた。この評価法により、短強稈品種がフェーン害耐性を持つことが明らかになった。

2. いもち病圃場抵抗性検定技術の改良

水稲品種のもついもち病真性抵抗性は、いもち病菌の病原性分化により崩壊する。このため、いもち病の進展を遅らせる圃場抵抗性の活用が重要と考えられる。複数の遺伝子が関与する圃場抵抗性を付与した品種を効率的に作出するため、集団選抜の適用と室内評価の方法を検討した。

いもち病圃場抵抗性の遺伝率は比較的高い。そこで、いもち病圃場抵抗性に関して分離している雑種初期 (F_3) 世代の集団を検定圃場で栽培し、自然感染による淘汰を活かして集団選抜を行った。その結果、初期世代の集団選抜により、後期 (F_3 以降) 世代の抵抗性個体の出現頻度を高めることができた。

真性抵抗性遺伝子をもつ品種や系統について圃場抵抗性を評価するためには、その抵抗性遺伝子を侵害するいもち病菌系を用いた室内検定が必要であ

る。そこで、隔離ガラス室内で特定菌系を人工接種して圃場抵抗性を検定する技術を開発した。すなわち、20~22℃で育苗した4.5葉期の植物に、特定のいもち病菌系を噴霧接種し、20~24℃程度の温度で発病させることにより、ガラス室内で効率的に圃場抵抗性を評価できた。現在、この技術は、真性抵抗性遺伝子をもつ品種や系統の圃場抵抗性の評価法として広く用いられている。

3. 世代促進を活かした効率的集団選抜技術の開発

わが国の水稲育種では、温室を利用した世代促進栽培により、雑種初期 (F_1 ~ F_4) 世代を無選抜で集団栽培して遺伝的固定をはかる集団育種法が広く普及している。しかし、遺伝率の高い形質に関しては、世代促進期間における集団選抜が有効と考えられる。そこで、出穂期について雑種初期世代における集団選抜を行って、その効果を検討した。

その結果、初期世代における出穂期の集団選抜により、早晩性の遺伝的固定が早まり、他の形質の固定も促進された。したがって、初期世代の集団選抜法は出穂期以外にも遺伝率の高い形質の選抜に適していると考えられる。これとは反対に、出穂期の分離している系統を選抜して遺伝的固定を遅らせる遅延選抜法を行うと、出穂期と他の形質との間の不利な連鎖が破れやすくなる場合が見られた。

4. 倒伏と食味に対する施肥条件の影響

倒伏と食味には施肥条件が影響する。北陸地方で最も広く普及している「コシヒカリ」は、倒伏に弱いいため直播栽培に適さない良食味米である。直播栽培用に育成した良食味の短稈品種「どんとこい」と「コシヒカリ」を用いて、両品種の施肥水準の変化に伴う倒伏と食味との関係を明らかにした。

「コシヒカリ」は多肥栽培や直播栽培では、倒伏が大きな障害となるばかりでなく、増肥に伴う食味劣化も著しかった。これに対して、「どんとこい」は多肥栽培による倒伏が少なく、直播栽培にも向くとともに増肥に伴う食味の劣化が少ないことが明らかとなった。「どんとこい」は緑の革命で用いられた半矮性遺伝子*sd1*を活用したものであり、本遺伝子の利用は良食味で倒伏に強い品種を育成できることを実証した。

5. 耐冷性育種素材の探索と開発

北陸地方における極早生や早生品種の育成では、耐冷性は重要な育種目標となる。そこで、耐冷性品

種育成のための育種素材の探索を行い、新たにネパール品種のなかに、耐冷性のすぐれた遺伝資源を見出した。さらに、耐冷性品種育成材料の中から高度耐冷性中間母本として「中母59」を選抜し、耐冷性育種素材としての有用性を検討した。その結果、これらが、従来の耐冷性品種が70~80%程度の不稔となる穂ばらみ期の温度が19.0℃程度という厳しい低温条件でも20~30%程度の不稔に留まるものであり、高度耐冷性品種・系統の育成に有用な育種素材であることを明らかにした。

IV 北陸地方に適する水稻の新規形質品種の育成

1. 巨大胚品種「めばえもち」の育成

玄米の胚には、健全性の高い良質の油脂をはじめ、ビタミン類や各種機能性成分が豊富に含まれ、その増大は米の新規用途開発に有用である。そのため、人為突然変異により誘発された巨大な胚をもつ系統を交配親として、北陸地方に適した巨大胚大粒もち品種「めばえもち」を育成した。「めばえもち」は巨大胚のもち品種で、胚芽重は「こがねもち」の約3倍、 γ -アミノ酪酸（GABA）の含有率は約2倍である。

「めばえもち」は、餅のほか、健康食品として発芽玄米餅、胚芽入り餅・団子生地、甘酒、おこし様菓子などの原材料として有望である。さらに、米胚には油脂やビタミン類などが多く含まれ、これらの有効成分の抽出による利用にも適している。

2. 新規食品開発用の高・低アミロース品種の育成

米でんぷんを構成するアミロースは、でんぷんの物理・化学的特性や食味に深く関わっている。米の新規食品開発のためには用途によってアミロース含有率の異なる品種が必要である。そこで、米でんぷんのアミロース含有率を遺伝的に変化させ、アミロース含有率の異なる新品種を育成した。

「夢十色」は「IR2061-214-3」と「密陽21号」のインディカ同士の交配により育成されたうるち品種である。玄米はやや細長く、アミロース含有率は27.7~34.7%（通常品種の1.5倍程度）と高く、飯米は付着性と粘りがほとんどない。用途としてはクスクスやチャーハンなどの民族料理に適する。

「ソフト158」は「北陸127号」と低アミロース系統「研系2078」を交配して育成されたうるち品種である。「ソフト158」のアミロース含有率は、9.25

~14.5%（通常品種の約半分）の範囲であるが、玄米に低アミロース特有の白濁は見られない。米粉は膨化性が高く、米菓としての加工適性が高い。食味は良好で、硬化しにくいので加工米飯、おにぎり用などに適する。

「朝つゆ」は「北陸127号」と低アミロース系統「道北43号」を交配して育成されたうるち品種である。「朝つゆ」の玄米は白濁し、白米中のアミロース含有率は「ソフト158」より3%程度低く、「日本晴」の半分以下である。炊飯米は粘りが強く、柔らかく、付着性が長く、これらの特性は冷却後も持続し老化し難い。米の用途としては、粘りの少ない品種との混米、無菌包装米飯、団子、米菓およびアルファ化米などに適する。

3. 低グルテリン品種「春陽」の育成と利活用

白米には6~8%程度のタンパク質が含まれているが、タンパク質について新規形質を有する米を開発するため、米の貯蔵タンパク質の生産を遺伝的に制御する方法で新品種「春陽」を育成した。「春陽」は低グルテリン系統「NM67×NM(1-3)」とごく大粒系統「北陸153号」を交配して育成されたうるち品種である。米穀実中の総タンパク質含有率は変わらないが、易消化性タンパク質グルテリンの含有率が低く（通常の1/3程度）、難消化性タンパク質プロラミンが多く（通常の3倍以上）なっている。このため、酒造用掛米あるいは早炊き米などへの加工利用が期待され、とくに特徴のある清酒の原料として有用と考えられる。また、難消化性タンパク質の人体における吸収量の定量的解明が必要であるが、慢性腎不全患者の病態食としての利用も期待されている。

4. 飼料用水稻品種「クサユタカ」の育成

水稻はホールクロップサイレージ（WCS）の原材料としてすぐれている。そこで、余剰水田に飼料用水稻を栽培しWCSとして活用することにより、飼料自給率の向上をはかるために飼料用品種を育成した。

飼料用水稻品種「クサユタカ」は、バイオマス生産量の大きい「中国105号」と極大粒の「北陸130号」を交配して育成されたうるち品種である。「クサユタカ」の黄熟期における可消化養分総量（TDN）は59.8%であり、これは良質牧草チモシーなどの開花期の栄養価に匹敵する。全乾物収量およびTDN

収量も多く、家畜の飼料として適している。生産コストなどの問題はあがるが、耕畜連携による稲発酵粗飼料を活用する有畜水田農業の発展が期待できる。

5. 直播栽培向き安定多収・良質良食味品種

「どんとこい」の育成と普及

北陸地方で集中的に栽培されている「コシヒカリ」は、倒伏しやすく、いもち病に弱い。また、規模拡大と低コスト生産を可能にする直播栽培には適さない。そこで、直播栽培に向く良質・良食味・安定多収「どんとこい」を育成した。「どんとこい」は「北陸122号」(後のキヌヒカリ)と「北陸120号」の交配により育成されたうち品種である。半矮性遺伝子*sd1*をもち短稈で、耐倒伏性は強く直播栽培に向く。食味は粘りが強く、柔らかで、食味および飯米外観も良好である。

「どんとこい」は直播栽培に向き、通常品種と同様の栽培条件によって、「コシヒカリ」並の食味を持つところから、北陸地方では倒伏などの理由で「コシヒカリ」の作付けが困難な地帯への作付けや「コシヒカリ」の収穫作業の分散を図るために導入が図られているが、北陸以西でも同様に兵庫、京都、静岡、広島などの東海・中国地方も含め6,000 ha以上に普及する広域適応性品種となった。

V 総合考察

北陸地方の水田の高い生産力を活かし競争力のある革新的な稲作農業を達成するには、低コストでの安定多収栽培および新需要開発を可能とする新規形

質をもつ水稲品種の育成が重要と考えられる。そのため、本研究では新特性を持つ品種育成に取り組み、あわせて育成に当たって必要な基盤技術を開発した。

北陸地方の品種が備えるべき特性であるフェーン害耐性、いもち病圃場抵抗性、出穂期、耐冷性などの評価法と選抜法について検討し、効率的な技術を開発した。また、半矮性遺伝子の利用により良食味で倒伏に強い品種を育成できることを明らかにした。さらに、巨大胚性、高・低アミロース性、低グルテリン性という新規特性を備えた水稲新品種を育成し、それらの特性を活かした加工・利用の可能性を検討した。さらに、発酵粗飼料用水稲品種および安定多収品種「どんとこい」を育成した。今後、新規形質米の流通・利用のためには、食品産業との連携協力、製品化のための原料供給や販路拡大など解決すべき問題がある。また、病態食品の開発には、食品産業のほか、厚生医療分野との連携・協力が必要である。さらに、発酵粗飼料用水稲品種の普及には、稲作農家と畜産農家との耕畜連携が不可欠であり、有畜水田農業の本格的発展には、生産コストの低減、病虫害抵抗性の付与、発酵粗飼料の流通体系の確立などの問題が残されている。

本研究で育成した新規形質品種、発酵粗飼料用品種ならびに直播適性のある安定多収品種は北陸農業・農村の活性化に大きく寄与するものと期待される。

引用文献

1. 赤間芳洋・森元 武・田辺 潔(1988)水稲新品種「ココノエモチ」の育成. 愛知県農業総合試験場研究報告, 20, 24-36
2. 安東郁男・荒木 均・清水博之・黒木 慎・三浦清之・永野邦明・今野一男(2007)極良食味の低アミロース米水稲品種「おぼろづき」. 北海道農研研報, 186, 31-46
3. Aquino, R. C. and P. R. Jennings(1966) Inheritance and significance of dwarfism in an Indica rice variety. *Crop Sci.*, 6, 551-554
4. 荒木 均・今野一男・三浦清之・永野邦明・斎藤 滋・小林正男・西村 実・刈屋國男(2002) 低アミロース米の水稲新品種「はなぶさ」. 北海道農研研報, 174, 69-81
5. 荒木 均・今野一男・永野邦明・三浦清之・高岩文雄(1996) 培養変異から育成された水稲の低アミロース系統. 育種・作物学会北海道談話会報, 37, 32-33
6. 荒木 創(2007) 新潟県上越市における飼料イネ広域利用. グラス&シード, (株)日本草地畜産種子協会, 19, 31-35
7. 浅賀宏一(1977) イネ品種のいもち病に対する圃場抵抗性の検定法に関する研究. 農事試研報, 35, 51-138

so forth.

Serious natural disasters to paddy rice farming in the Hokuriku region are rice quality degradation caused by the foehn phenomenon, lodging caused by a long spell of autumn rain and typhoons and cold damage in the early rice growing season. The most serious disease in the region is rice blast. Blast epidemics are serious in the Hokuriku region where the highest quality rice cultivar Koshihikari is the most susceptible to the disease and widely grown in more than 70 % of the total paddy field.

The introduction of upland crops into paddy field or the conversion of paddy to upland fields have not been successfully progressed due to long snow cover and moisture damage in paddy fields.

By the way, food industries of rice cracker, rice cake and sake have developed in the Hokuriku region. In order to cope with new demands for processing, restaurant and instant food industries, it becomes important to breed rice cultivars with novel traits and to develop products with high added value. It gets more significant to grow rice in the Hokuriku region in order to feed farm animals making full use of the surplus paddy fields.

2. Developing basic technologies required to breed paddy rice cultivars adaptable to the Hokuriku region

Early to medium maturing cultivars are welcomed in the Hokuriku region, where a rice growing period is restricted by the delay of melting snow cover and the early coming of autumn cool. Rice cultivars adaptable to the region have to have tolerance to lodging and resistance to blast disease. The following basic technologies for improving rice breeding are needed to be developed.

1) Developing an indoor technology to evaluate tolerance to foehn

The foehn phenomena occur often in summer in Hokuriku and cause deterioration of grain quality as well as yield reduction. Some indoor technique is necessary for testing foehn tolerance of rice cultivars or lines. When rice plants are stormed by a strong foehn, panicles are bleached and damaged to reduce ripening rate of rice grains.

This study attempted to identify conditions in which the foehn phenomenon was artificially induced by using phytotrons in order to select foehn-tolerant rice cultivars and breeding lines. The experimental results revealed that the most effective conditions to artificially induce the foehn phenomenon were the air temperature of 30 °C, the air moisture of 40 %, and the wind velocity of 4m/s accompanied with pre-treatment of showering water for 5 hours before the foehn treatment. This method is extensively employed in the ordinary routine of rice breeding.

2) Improving the testing technique of field tolerance to blast

The heritability of field tolerance to blast was relatively higher and selection for the tolerance seemed to be effective in the earlier generation of a rice hybrid population. In the present study, rice hybrid populations in an early generation were infected with naturally occurring blast in the blast testing nursery and the effectiveness of mass selection for field tolerance to blast was investigated.

The results disclosed that mass selection in an early generation for field tolerance was very effective to increase frequencies of tolerant segregants in later generations and that the mass selection in an early generation was shown to be effective to increase the frequencies of desirable segregants with high palatability and tolerance to blast in later generations.

The present study has succeeded in identifying green house conditions suited to test field tolerance to blast of rice materials having true resistance to a certain blast race (or races). The most suitable temperature for greenhouse tests of field tolerance was shown to be 20~22 °C for growing rice seedling and 20~24 °C for incubation after inoculation. Rice seedlings at 4.5 leaf stage were shown to be most susceptible to blast.

3) Efficient mass-selection making use of rapid generation advance

Rapid generation advance in a green house is popular among rice breeders in Japan. They ordinarily grow breeding materials in a green house twice a year or more to promote genetic fixation without applying any artificial selection.

The present study revealed that the mass selection for heading time in the early generation was very effective to increase frequencies of desirable types in later generations. Days-to-heading is highly heritable but sometimes continues to segregate for several generations. Breeding lines segregating in days-to-heading were found to simultaneously segregate a number of desirable types in later generations. The delayed selection for lines segregating in days-to-heading is considered to be effective to promote genetic recombination to produce desirable combinations of agronomic traits

4) Relation between lodging tolerance and palatability under different levels of fertilizer application

The high quality rice cultivar Koshihikari is most widely cultivated in the Hokuriku region but has such faults as weakness to lodging and susceptibility to blast, which are expected to deteriorate grain quality and palatability. Especially the tolerance to lodging is thought to be more important in the direct seeding cultivation to save labor and to reduce cost of rice production.

Recently developed high quality cultivar Dontokoi with a semi-dwarfing gene *sd1* was investigated on the relation of palatability with tolerance to lodging under heavy application of nitrogen fertilizer compared with the high quality cultivar Koshihikari.

The result revealed that the semi-dwarf Dontokoi was highly tolerant to lodging and high-yielding under heavy dressing without deteriorating grain quality and palatability.

5) Exploring and selecting breeding materials with high cold tolerance

Serious cold damages often occur not only in the Hokaido and the Tokoku regions but also in the cool-temperate zone including the Hokuriku region where extremely early and early rice cultivars tended to suffer from cold damage in the early and the late rice growing seasons. Therefore various cold tolerant cultivars have been selected and released in the Hokuriku region but higher cold tolerant cultivars are required to further stabilize rice production.

The technique developed in this study succeeded in identifying a higher cold-tolerant genetic resource originating from Nepal. On top of that, promising cold-tolerant breeding materials like "Chubo 59" were selected. By using them, new cultivars tolerating temperature lower than 19.0 °C are expected to be bred in near future.

3. Breeding of rice cultivars with novel traits adaptable to the Hokuriku region.

1) Breeding of a giant embryo cultivar Mebaemochi

A rice embryo contains healthy high-quality oil and various sorts of functional substances like vitamins and minerals. In this breeding program, a waxy giant embryo cultivar Mebaemochi was selected from a cross with an artificially induced mutant of a giant embryo. Mebaemochi is a waxy cultivar with a giant embryo.

Embryo weight of this cultivar is about three times of an ordinary waxy cultivar Koganemochi and contains two times of γ -amino-lactic acid (GABA) of Koganemochi.

Mebaemochi is expected to be useful for making ordinary rice cake, special rice cakes made from sprouting or giant embryo brown rice, stuff of dumpling, sweet drink made from fermented rice (*amazake*), and millet-and-rice cake. Furthermore, giant embryo rice will be promising ingredients for extracting healthy rice oil and various functional substances like vitamins.

2) Breeding two low and a high amylose cultivars and their uses to process new rice products

Non-waxy starch of rice consists of amylose and amylopectin. The content of amylose affects physico-chemical attributes and palatability. Two low amylose and a high amylose cultivars were developed by genetically modifying the content of amylose of rice grains.

Soft 158 was selected from the cross between Hokuriku 127 and a low amylose line Kenkei 2078. The amylose content ranges from 9.25 % to 14.5 % (about half of ordinary cultivar) and hulled grains are not as chalky as the other low amylose cultivars. Rice flour is easy to be swollen and processed for rice crackers, the palatability is high, cooked rice is hard to be aged and suited to make rice balls.

Asatsuyu was derived from the cross of Hokuriku 127 with a low amylose line Dohoku 43. It is a non-waxy cultivar. Its grains are chalky and milled rice contains amylose 3 % lower than Soft 158. The characteristics of gelatinization, the cooking quality and the physical traits resemble ordinary highly palatable japonica rice cultivars. Cooked rice is sticky, soft, adhesive and hard to be aged. These traits last long after being cooled.

Asatsuyu is considered to be suitable to be mixed with less sticky rice and to produce such processed rice as aseptically lapped cooked rice, rice dumpling, desiccated cooked rice etc.

A high amylose cultivar Yumetoiro was selected from a hybrid between an indica line IR2061-214-3 and another indica cultivar Milyang 21. Its amylose content is high ranging from 25 to 35 %. Cooked rice is less sticky and adhesive and good for such ethnic dishes as couscous or Chinese fried rice. .

3) Breeding a low glutelin rice cultivar Shunyou and its usages

Milled rice contains several per cent of protein which happens to harm patients suffering from kidney failure. A new rice cultivar Shunyou with low content of an easily digestible protein glutelin was bred by the genetical control of protein synthesis. Shunyou was selected from a cross between a low glutelin line, NM67 × NM(1-3), and a very large grain cultivar Hokuriku 153.

The total amount of storage protein is unchanged but the content of easily digestible protein glutelin reduces while hardly digestible protein prolamin increases. Consequently this rice cultivar is considered to be useful for dairy food for patients suffering from kidney failure, sake brewing, and processing quick cooking rice.

4) Breeding forage paddy rice cultivar Kusayutaka and production of whole crop silage (WCS)

Whole crop silage made from paddy rice (rice WCS) has been shown to be high quality roughage for raising cattle. Then it is highly significant for feeding cattle to cultivate rice in surplus paddy fields. This may contribute to elevate the self-sufficiency rate of animal foods.

Kusayutaka was selected from a cross between Chugoku 105 with very large grains and large biomass and Hokuriku 130 with extremely large grains. Kusayutaka is leafy and a large biomass producer suited to make whole crop silage. The total digestible nutrient (TDN) of the whole crop of Kusayutaka is shown to be equivalent to the high quality forage grass timothy.

5) Breeding and diffusion of a high-yielding and high-quality rice cultivar Dontokoi adaptable to the direct-seeding cultivation

The concentrated and exclusive cultivation of Koshihikari have become a serious problem in the Hokuriku region. This high-quality rice cultivar has such faults as less tolerance to lodging and susceptibility to blast.

It has been urgently needed to improve these faults of Koshihikari and to breed a high-yielding new cultivar adaptable to the direct-sowing cultivation with high quality, high palatability, tolerance to lodging and resistance to blast.

Dontokoi was selected from a hybrid between a semi-dwarf and high-quality line Hokuriku 122 and a disease resistant and high-yielding line Hokuriku 120. It has short culms with a semi-dwarfing gene *sd1*. This cultivar is high-yielding and tolerant to lodging. Cooked rice is sticky, soft, and good in appearance. It is

adapted to the direct sowing cultivation.

4. General discussion

Diversification and westernization of dietary lives have been rapidly progressed and people's concern has been concentrated on safety and healthiness of everyday foods. Rapid increase of import of various agricultural products from overseas has invited drastic reduction of rice consumption. Eventually overproduction of domestic rice became a serious social and financial burden.

These changes of surroundings of domestic agriculture had seriously affected the local agriculture and farmer's communities in the Hokuriku region which largely relied on paddy rice farming. In order to strengthen the rice cultivating agriculture in this region, it is essential not only to drastically reduce the cost of rice production but also to greatly increase rice consumption by creating new demands.

The reduction of rice production cost will be realized by expanding farming scales and by employing high-yielding cultivars as well as direct seeding cultivation. Rice consumption is expected to be increased by creating new processed rice products with high-added value.

This thesis reported the results of fundamental technologies required to efficiently advance rice breeding for tolerance to foehn, blast resistance and cold tolerance and also rapid generation advance with mass selection. These technologies were effectively employed in the routine of rice breeding.

It is also reported that a giant embryo waxy cultivar Mebaemochi, three cultivars, Soft 158, Asatsuyu and Yumetoiro with different contents of amylose, a low glutelin cultivar Shunyou, were bred to utilize them to make various kinds of processed products in order to rouse new demands of domestically produced rice. The close cooperation with food processing industries is considered to be essential to develop new technologies making use of newly bred cultivars with various novel attributes.

A new rice cultivar Kusayutaka useful for whole crop silage was developed to grow on surplus paddy fields. A high-yielding and lodging tolerant cultivar Dontokoi with high quality and palatability was also bred and widely diffused. It was adaptable to the direct sowing cultivation for cost reduction. High-yielding paddy rice cultivars for fodder use are supposed to have another significance of being used as human food in emergency.

An effective way to increase the domestic rice consumption is considered to grow rice in the surplus paddy fields and to produce feed grains and/or whole crop silage to feed farm animals like cattle. The cultivating acreage of forage paddy rice has been gradually increased but the close teamwork between rice growers and animal raisers is required to increase more forage rice production and consumption.

By the way, two disadvantages arose from the exclusive cultivation of Koshihikari in the Hokuriku region. The first disadvantage is vulnerability to natural disasters like blast epidemics. In order to overcome this disadvantage, new cultivars having palatability as high as or higher and more tolerant to lodging than Koshihikari are needed to be bred to replace it.

The second disadvantage is that the peak of labor appears in the transplanting and the harvesting times of rice growing seasons. Referring to these two disadvantages, Dontokoi is expected to be one of candidates to replace Koshihikari.

Cultivating rice in paddy fields is considered to be very significant to maintain not only productivity of paddy fields but also multi-functions of paddy fields to preserve water resources, fertile soil, and bio-diversity in paddy field ecosystem or to alleviate severe summer heat etc.

The author strongly hopes that rice cultivars selected in the present investigation will be used to increase domestic rice consumption and to activate paddy rice farming as well as farmer's communities in the Hokuriku region.