

水稻良食味品種育成における葯培養を 利用した半数体育種の有効性

土 屋 隆 生

キーワード：葯培養，半数体育種，連鎖，突然変異，良食味品種育成，農林22号，ミネアサヒ

葯培養を利用した半数体育種法は F_1 又は F_2 を使用するため，組み換えのチャンスが1ないし2回しかない手法上の欠点を有している。したがって，再分化に関与する遺伝子と目的の遺伝子の間に，又，目的の遺伝子間に強い負の連鎖が存在する場合，育種の効率が低下する。更に，葯培養はその培養過程で突然変異が生じている事例の報告^{1),2)}がある。突然変異の発生もその頻度が高いと育種の効率化を妨げる。

筆者らは，広島農試において葯培養を利用した半数体育種法により，広島県内の各地帯向けの水稻良食味品種育成に取り組んでいる。今回は，育成中の系統を供試して各形質間の連鎖，突然変異の出現様相を調査し，良食味品種育成における葯培養の有効性を検討した。

材料および方法

ミネアサヒ／農林22号の F_2 を葯培養した復元系統を40系統に，ミネアサヒと農林22号を加えて供試した。

これらの系統は1区1.05m²に圃場配置して，30cm×15cmに1本植えた。反復はしなかった。肥培管理は10a当り窒素成分で5kgの少肥栽培した。

食味への葯培養の影響は食味特性の内のテクスチャー（舌ざわり）とアミログラム（澱粉の熱糊化性）で検討した。これらの検討には供試系統のうち草型，品質について選抜した21系統を供試した。供試系統は脱穀・調整後，小型搗精機で搗精歩合約90%に搗精した。

1. テクスチャーの測定方法

- 炊飯方法：炊飯器は間接式電気炊飯器（東芝社製RC—10MH）を用いた。各系統の精白米20gはそれぞれ内釜の代わりにアルミ製カップ（口径55mm，底径36mm，高さ50mm）に取り，土屋ら¹⁰⁾の方法に準拠して炊飯した。
- テクスチャーの測定方法：全研製テクスチュロメー

ターにより測定した。測定はそしゃく部受け皿は24mmアルミジャーレ，ブランジャーは18mmDIAを用いて，そしゃく速度は6ストローク／分，電圧1.5Vで実施した。クリアランスとテクスチャープロファイルの解析は江幡ら²⁾に準拠した。即ち，粘り，付着性を測定する際は0.2mm，硬さ，凝集性，弾力性を測定する際は0.5mmに設定した。炊飯米粒は炊飯カップの中心部から3粒取り，そしゃく部受け皿のアルミジャーレに平行に並べて測定した。測定は5回反復した。

2. アミログラムの測定法

供試系統は小型粉砕機で粉砕した。粉砕した米粉は60メッシュのふるいに掛け，通過したものを供試した。

分析法は前重⁹⁾に準拠し，そのプロファイルの解析は稲津⁴⁾に拠った。

結 果

1. 生育特性の変異

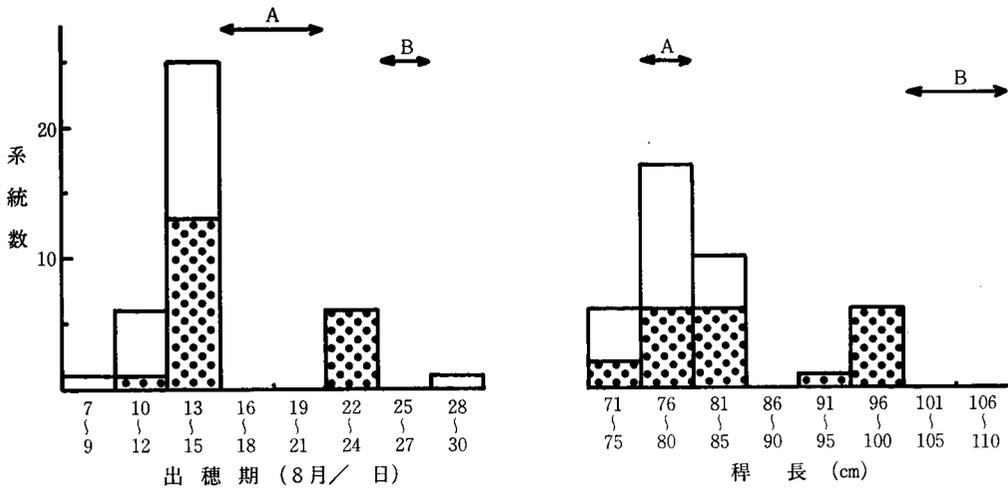
熟期と稈長の変異の分布は第1図に示した。

交配親ではミネアサヒがやや出穂期が早く，農林22号より約1週間早かった。復元系統は両親の中間の特性を有する系統も認められたが，その数は少なかった。それに対して，両親のうちで早生のミネアサヒより更に約3日程度早生の階級に属する系統が最も多かった。しかも各ピークの間は不連続であった。

稈長もミネアサヒ並の短稈の系統が最も多く，次いで農林22号の稈長の系統が多くて，両親の中間の階級に属する系統は少なかった。しかも，その両方のピークの間も不連続であった。

2. 復元系統における飯のテクスチャーの変異

テクスチャーに関する各形質の復元系統の分布は第2



第1図 葯培養復元系統の出穂期と稈長における変異

注1) A: ミネアサヒ, B: 農林22号

2) : 選抜系統

図に示した。

飯の粘りと付着性はミネアサヒがやや強く、農林22号がやや弱かった。しかし、両品種は類似しており、変異の一部は共通した階級に属していた。復元系統は、粘りと付着性のいずれもミネアサヒ並のやや強い階級から、農林22号の階級および更にそれ以上に弱い階級に属する系統もある、連続した広い分布を有していた。しかし、その変異様相は、粘りの場合はミネアサヒと農林22号の共通の階級にピークを有していたが、それ以外の系統は農林22号の属する階級もしくはそれ以下の階級に属する系統ばかりであった。付着性についてはピークは農林22号の属する階級にあり、更に、農林22号より弱い系統も比較的高い頻度で出現している分布を有していた。

飯の硬さ、凝集性（飯をかみしめる力に抗する組織の結合力）および弾力性（飯粒のかみしめた後の復元力）はいずれも農林22号が強く、ミネアサヒが弱かった。復元系統も、いずれの形質においても、ミネアサヒの階級から農林22号の階級およびそれ以上に強い階級にまで、連続して広く分布していた。しかし、各形質の変異の様相は異なり、硬さについては農林22号の階級に低いピークを有しているのに対して、凝集性と弾力性はミネアサヒ類似の階級にピークを有していた。特に弾力性はミネアサヒの階級に高いピークを有し、ミネアサヒ類似の値を有する系統が多かった。

3. 復元系統におけるアミログラムの変異

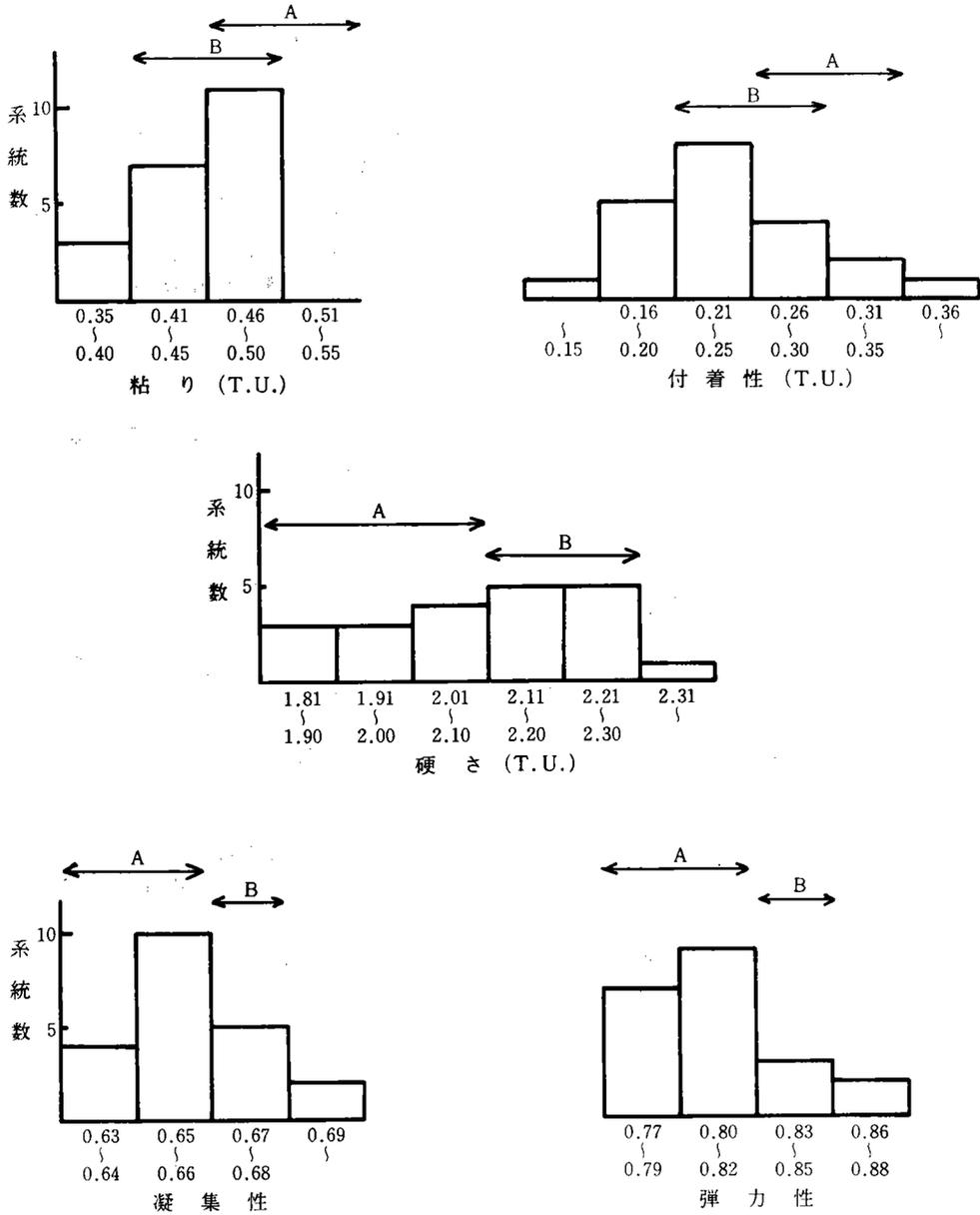
アミログラムに関する各形質の復元系統の分布は第3

図に示した。

澱粉の糊化開始温度は両親が比較的類似していた。その復元系統は両親並の階級に属する系統が最も多く、それ以上と以下の階級に属する系統が少し存在する連続した分布を有していた。

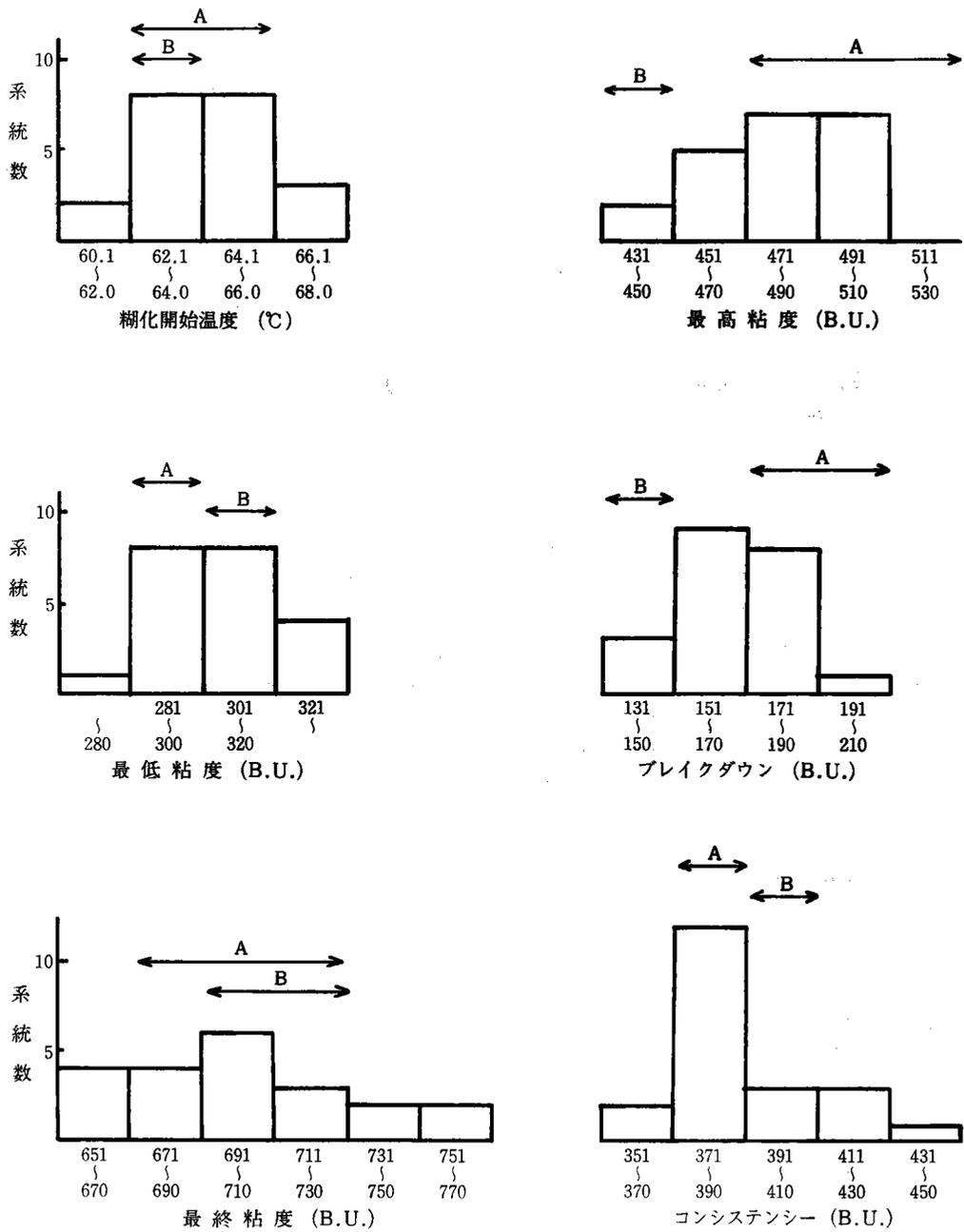
最高粘度（澱粉粒の炊飯による最も拡張した程度）はミネアサヒが高く、農林22号が低かった。それに対して最低粘度（澱粉が熱糊化された程度）はミネアサヒが低く、農林22号が高かった。しかし、その差は小さかったため、最高粘度と最低粘度の差のブレイクダウンはミネアサヒが高く、農林22号が低くなった。復元系統はそれらのいずれの形質においてもミネアサヒの属する階級から農林22号の属する階級にまで連続して分布していた。しかし、その変異の様相は各形質により異なり、最高粘度はそのピークがミネアサヒの階級に属しているのに対して、最低粘度は両親の階級に、さらにブレイクダウンは両親の中間にピークを有していた。

また、最終粘度（熱糊化した糊が冷却されて固くなる程度）はミネアサヒと農林22号の間には差異がなかった。したがって、最終粘度と最低粘度の差のコンシステンシーは最低粘度に類似して、ミネアサヒが低く、農林22号が高かったが、その差は小さかった。復元系統は最終粘度、コンシステンシーとも両親の属する階級以上と以下の階級にまで分布を有する広い変異を有していた。しかし、最終粘度は両親の共通の階級にピークを有するのに対して、コンシステンシーはミネアサヒの階級に有して傾向を異にしていた。



第2図 薬培養復元系統の炊飯米のテクスチャーについての変異

注) A：ミネアサヒ， B：農林22号



第3図 葯培養復元系統の精白米粉のアミログラムについての変異

注) A: ミネアサヒ, B: 農林22号

考 察

1. 連鎖と変異の出現様相

佐々木ら⁸⁾の調査結果では食味に關与するこれらの形質の heritability はいずれも $h^2 = 0.6$ 以下で、多くの遺伝子の集積により相加的に特性を表現する遺伝子に支配されているものと推測される。したがって、その後代の変異の分布は両親の中間の特性のものを中心に両親の間に広く存在する。また、阿部ら⁹⁾は再分化は遺伝的に支配されていることを確認している。食味に關与するこれらの遺伝子の多くがこの再分化能力の無い遺伝子に連鎖していると、その形質の特定の階級の分布がなくなる等、集団の変異が著しく歪む。また、これらの食味に關与する多数の遺伝子相互の独立性が少なくとも、親タイプの系統が増加し、中間タイプの系統が減少する。さらに、これらの遺伝子に突然変異が発生すると両親の変異幅をはみ出す系統が出現する。したがって、今回は復元系統の各形質の変異の歪みの様相から連鎖、突然変異の程度を探った。

2. 生育特性の変異

出穂期と稈長の変異は両親の中間でなく、出穂期は早生に、稈長は中間よりさらに短稈の系統が多かった。即ち、再分化系統は早生化に關与する遺伝子と強い連鎖の可能性を示唆していた。しかも、両親の中で早生のミネアサヒより早生化した系統が多かった。即ち、両親より更に早生の系統が多かった点から、今回供試した系統は特殊な遺伝構成もしくは突然変異を有する特異な系統が多かったものと考えられた。

また、稈長についてはミネアサヒタイプの短稈の系統が多かった。したがって、稈長についても再分化に關する遺伝子と短稈を支配する遺伝子が連鎖しているものと推測された。

岡山農試が朝日と日本晴の F_1 を供試して実施した試験においても、復元した系統は同様に早生化、短稈化していた¹¹⁾。したがって、水稻の薬培養は早生、短稈系統を発現させやすい有利性があると考えられた。しかし、再分化に關する遺伝子と熟性、稈長に關する遺伝子についての強い連鎖は、これらの形質を支配する遺伝子群のうちの、多数で効果を示すポリゾンでなく、主働遺伝子の半矮性遺伝子等の特定の遺伝子と連鎖している可能性が大きい。滝川ら⁹⁾は半矮性遺伝子のうち特定の遺伝子と再分化に關する遺伝子が連鎖している可能性を示唆した結果を得ている。水稻品種の短稈化育種には、 d_{49}

など短稈化しても穂を短縮せず、収量性も低下させない有効な遺伝子のみを選抜する必要がある。これらの遺伝子を選択的に再分化させることができる薬培養の手法が確立できれば、薬培養の有効性は著しく高まるものと考えられる。

3. 復元系統における飯のテクスチャーの変異

今回供試した系統はいずれの形質においても両親の変異幅内の変異を有していた。なお、分布はいずれの形質もわずかに両親のどちらかに歪んでおり、多少の連鎖の存在が推測された。しかし、中間の階級に属する系統が無くなったり、特定の階級の系統が存在しないほどではなく、連鎖は弱いと考えられた。

さらに、第1表に示した各形質間の相関では、粘りは付着性と同時に硬さの要素の一つの凝集性、弾力性と強い相関を有していた。しかし、粘りは農林22号に類似した系統が多く、凝集性、弾力性についてはミネアサヒに類似した系統が多いなど、形質間で傾向が異なった。硬さと凝集性、弾力性においても同様の傾向が認められた。即ち、これらの形質間に強い相関がありながら、復元系統間の異なった傾向は、これらの形質間には連鎖した遺伝子とともに、それぞれ独立した遺伝子も關与していることを示唆している。なお、付着性は粘りと相関を有するだけで、他の形質とは全く有意な相関は認められなかった。しかも、両親の変異幅より付着性が弱い系統の出現数が多く、突然変異の可能性が推測された。この様にテクスチャーに關与する各形質は、それぞれ相当数の独立した遺伝子に支配されていると考えられた。

4. 復元系統におけるアミログラムの変異

この各特性も両親の変異幅以上に変異を有していた。しかし、その中心は両親の変異幅の中にあり、これらの形質も多くの遺伝子に支配されていることが推測された。しかも、変異の歪みの程度から遺伝子間の連鎖も強くないと考えられた。

なお、第2表のアミログラムの各形質についての相関を見ると、糊化開始温度は他の形質と全く相関がなく、独立した遺伝子に支配されていることが示唆された。それに対して、最高粘度は最低粘度とブレイクダウンと、また、最低粘度は最終粘度と、最終粘度はコンシステンシーと強い相関を有していた。しかし、その変異の傾向は各形質間で異なっていた。即ち、最高粘度はミネアサヒタイプの系統が多かったのに対して、ブレイクダウンは両親の中間型の系統が最も多く、最低粘度は両親のタイプがそれぞれ同程度に多い等、形質間で傾向が異なっ

第1表 葎培養復元系統における飯のテクスチャーの各形質間の相関

	粘り	付着性	硬さ	凝集性	弾力性
粘り	×	** 0.515	N. S. -0.241	* 0.412	** -0.528
付着性		×	N. S. 0.196	N. S. 0.104	N. S. -0.191
硬さ			×	** 0.528	* 0.438
凝集性				×	** 0.583
弾力性					×

注) **: 1%の有意差, *: 5%の有意差

第2表 葎培養復元系統における米粉のアミログラムの各形質間の相関

	糊化開始温度	最高粘度	最低粘度	最終粘度	ブレイクダウン	コンシステンシー
糊化開始温度	×	N. S. 0.344	N. S. 0.297	N. S. 0.190	N. S. 0.242	N. S. 0.238
最高粘度		×	** 0.709	N. S. 0.344	** 0.840	N. S. 0.112
最低粘度			×	** 0.741	N. S. 0.214	** 0.477
最終粘度				×	N. S. -0.090	** 0.792
ブレイクダウン					×	N. S. -0.225
コンシステンシー						×

注) **: 1%の有意差, *: 5%の有意差

ていた。したがって、これらの形質も、それぞれの間には連鎖している遺伝子だけでなく、同時に独立した遺伝子にも支配されていると考えられた。

さらに、最終粘度とコンシステンシーも変異幅が広くこれらの形質間の相関は $r=0.792$ と極めて強かった。しかし、最終粘度は両親の中間タイプの系統が多かったのに対して、コンシステンシーはミネアサヒタイプの系統が多かった。したがって、これらの形質も独立した遺伝子が関与している可能性が大きいものと考えられた。なお、最終粘度とコンシステンシーは両親の変異幅を越えて変異が広がったが、最終粘度が著しく高いものは食味は不良であり⁴⁾、突然変異の可能性も考えられた。

5. 葯培養の有効性

このように、今回供試した系統は熟性、稈長など生態的、形態的特性から著しく特異な集団と考えられた。しかし、食味に関する各形質には遺伝子相互間や再分化に関与する遺伝子との強い連鎖、あるいは明確な突然変異や特殊な遺伝をするものは認められなかった。

広島農試においては、前田ら⁵⁾が良食味のひろひかりひろほなみを育成している。今回の検討結果からこの成功は偶然の結果でなかったと考えられた。したがって、良食味品種育成をめざした広島農試における育成に葯培養を利用した半数体育種は有効に利用できるものと考えられた。

摘 要

1. 葯培養を利用した半数体育種法は組み換えのチャンスが1~2回しか無い手法上の欠点を有している。したがって、復元系統における食味に関する各形質の変異の出現様相から、再分化に関する遺伝子と食味に関する遺伝子間の、あるいは食味に関する遺伝子相互の強い連鎖の有無を調査して、この水稲の品種育成におけるこの育種法の有効性を検討した。

2. 供試系統の熟期は両親より3日早生の系統が最も多く、次いで両親の中間の階級に属する系統が多かった。しかし、これらの分布の間は不連続であった。稈長もミネアサヒ並の階級に属する系統が最も多く、次いで農林22号並の階級に属する系統が多かった。しかも、両親の中間の階級に属する系統はなかった。

3. しかし、食味に関するテクスチャーとアミログラムの各形質は両親の変異幅内に広く、連続的に分布する変異を有していた。さらに、各形質間には相関があるが、その変異の様相は異なっていた。これらの結果から、

食味に関する各形質を支配する遺伝子は、遺伝子相互あるいは再分化に関与する遺伝子とは強い連鎖は有しておらず、独立性の強い多くの遺伝子に支配されていることが推測された。

4. これらの結果から、葯培養は水稲の良食味品種育成に有効に利用できる可能性があるものと考えられた。

謝 辞

本試験の実施にあたっては、当场生物資源開発部の水稲品種育成を担当する方々の協力をいただいた。ここに深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 阿部利徳・蓬原雄三：1985. イネカサの形成と植物体再分化の能力の遺伝分析. 育種35別2：46—47.
- 2) 江幡守衛・平沢恵子：1982. 米飯のテクスチャーに関する研究. 第1報 テクスチャーと食味との関係について. 日作紀51(2)：235—241.
- 3) 藤田米一・内山田博士：1983. 水稲品種日本晴の葯培養による復元系統の変異について. 育種33別1：188—189.
- 4) 稲津 脩・佐々木忠雄・新井利直：3. 食味特性の分析方法とその評価. 長内俊一(監). お米の味——その科学と技術——. (財)北農会：30—47.
- 5) 前田博文・土屋隆生・平岡憲昭・前重道雅・上本哲・中藪正之：1989. 『ひろひかり』, 『ひろほなみ』の育成について. 広島農試報告 53 (投稿中).
- 6) 前重道雅：1983. 米の食味関与要因の変動に関する研究. 第4報 登熟過程における精白米粉の糊化特性および精白米の炊飯特性の推移. 広島農試報告 46：1—12.
- 7) 大野清春：1975. イネの葯培養による半数体の作出とその育種の利用. 農技研報D26：139—222.
- 8) 佐々木忠雄・長内俊一・稲津 脩・江部康成：1977. 北海道水稲品種の理化学的食味形質についての育種の一考察. 北海道農試集報 37：1—10.
- 9) 滝川健次・上島脩志・三十尾修司・澤野 稔：イネ種子胚に由来するカサの生長と再分化率における矮性準同質遺伝子系統間差異. 育種37別1：36—37.
- 10) 土屋隆生・上本 哲：1988. 広島県主要水稲品種の食味に関する研究. 第1報 中生新千本とアキツホの精白米のテクスチャーの地帯間差異. 広島農試報告 51：19—25.

11) ———・富久保男：1989. 水稻の葯培養による 発表会発表要旨：1—13.
品種育成. 平成元年度近畿中国地域農林水産業研究成果

Efficiency of Anther Culture in Paddy Rice Breeding aiming at the Improvement of Eating Quality

Takao TSUCHIYA

Summary

There is few chance of recombination in haploid method of breeding using anther culture, because this technique utilize F_1 or F_2 plants. The existence of linkage among the genes controlling eating quality or between these genes and those controlling regeneration will reduce the efficiency of breeding for better eating quality.

The objective of this study is to examine the degree of linkage mentioned above. The genetic variation of rice plants regenerated from F_2 plants of Mineasahi/Norin No. 22 by anther culture were examined.

The analysis of taste (texture) and starch quality (amylogram) using the special apparatuses showed that these characteristics of the regenerated rice plants had almost the same diversity with those of the midparent.

These results suggests that eating quality are controlled by many genes and the degree of linkage among the genes controlling eating quality, or between these genes and those controlling regeneration is low. Therefore, haploid method of breeding utilizing anther culture has the possibility to be an efficient method for paddy rice breeding.

Key words : anther culture, haploid method of breeding, linkage, mutation, eating quality, Norin No. 22, Mineasahi