
良食味米飯を得るための米の収穫適期に 関する研究

(研究課題番号 11680130)

平成 11 年度～平成 12 年度科学研究費補助金 (基盤研究(C)(2)) 研究成果報告書

平成 13 年 3 月

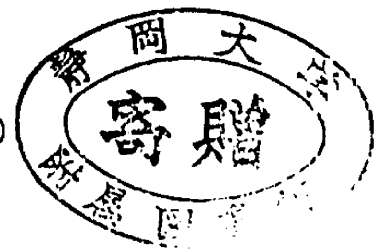
静岡大学附属図書館



030850476 0

研究代表者 新井映子

(静岡大学教育学部家政教育講座)



良食味米飯を得るための米の収穫適期に 関する研究

(研究課題番号 11680130)

平成 11 年度～平成 12 年度科学研究費補助金 (基盤研究(C)(2)) 研究成果報告書

平成 13 年 3 月

研究代表者 新井映子

(静岡大学教育学部家政教育講座)

はしがき

本研究は、米の収穫時期が米飯食味にあたえる影響を明らかにすることにより、良食味米飯を得るための米の収穫適期について明らかにしようとするものである。

平成 11 年度は、いわゆる収穫適期（出穂後約 40 日）に収穫した米と、適期よりも 10 日間早く収穫した米（早刈り米）について、それらの米飯特性を官能評価および器機分析などから総合的に解析することにより、食味の優れた米飯を得るための早刈りの有効性について検討を行った。

平成 12 年度は、早刈りから遅刈りまで収穫時期を変えた 2 品種の米について、米の収穫時期が米飯食味にあたえる影響を明らかにするとともに、その変動要因について検討を行った。

以上の内容は、研究成果に詳細に示されている。

研究組織

研究代表者： 新井 映子（静岡大学教育学部助教授）

研究経費

平成 11 年度	2,900 千円
平成 12 年度	500 千円
計	3,400 千円

研究発表

(1)学会誌等

Eiko Arai and Tomio Itani: Effects of early harvesting of grains on taste characteristics of cooked rice, *Food Sci. Technol. Res.*, 6(4), 252-256 (2000).

(2)口頭発表

新井映子・保坂幸男・猪谷富雄：米の収穫時期が米飯食味にあたえる影響，日本食品科学工学会第 46 回大会，平成 11 年 9 月 7 日（九州産業大学）

研究成果

研究の背景

米の収穫適期については、米飯テクスチャーに影響をあたえるアミロース、タンパク質および脂質含有量などの点から検討を行った報告はいくつかある。しかしながら、それらの研究は栽培分野の研究者によってなされているために、玄米レベルでの成分分析が主であり、炊飯後の米飯食味に関しては、詳細な検討が行われていない。

一方、近年、米飯のおいしさには、テクスチャーのみならず甘味や旨味などの呈味成分も大きく関与していることや、それらの呈味成分は、炊飯過程で米内在性酵素の作用によって生成されることなどが、食品学や調理科学分野の研究によって明らかとなってきた。そのため、玄米レベルで検討された収穫適期に米を収穫しても、それらが必ずしも食味の優れた米飯になるとは限らないと言える。

現在、日本人の主食である米の消費量は、減少の一途を辿っている。それとは逆に、栽培技術の進歩によって、備蓄米の在庫量は増加し続けている。これらの現象に歯止めをかけるためには、真に食味の優れた米飯を提供することにより、米の消費拡大を図ることが重要である。そのためには、収量に重点を置いた収穫適期ではなく、食味の優れた米飯を得るための収穫適期を明らかにすることが必要である。

本研究で得られた成果は、「米離れ」という日本人にとっての難問を解決するために、有効な手段のひとつになるものと考えている。

研究の目的

従来、米の収穫時期は、主として収量の観点から決定されてきた。しかしながら、遅刈り米は収量が増しても食味が劣るなど、米の収穫時期が米飯の品質に影響をあたえることも示唆されていた。

そこで本研究は、刈り取り時期を変えて収穫した各種供試米について、それらの米飯特性を官能評価および機器分析から総合的に解析することにより、食味の優れた米飯を得るための米の収穫適期を明らかにすることを目的とした。

研究の方法

1. 実験材料

(1) 供試米

① 平成 11 年度

供試米には、島根県仁多郡で栽培されたコシヒカリ(*Oryza sativa* L. cv. Koshihikari)を使用した。平成 9 年 5 月 10 日に同一水田に移植した苗を、平成 9 年 9 月 13 日(出穂後 32 日目)に収穫したものを「早刈り米」、収穫適期の 9 月 23 日(出穂後 42 日目)に収穫したものを「対照米」とした。これらの米は、収穫後、直ちに水分含有量 15 % になるまで機械乾燥した後、精米割合 90 ± 1 % に精米し、冷蔵保存した。

② 平成 12 年度

供試米には、広島県庄原市の広島県立大学生物資源学部附属研究圃場で栽培されたコシヒカリと中生新千本(*Oryza sativa* L. cv. Nakate-shinsenbon)を使用した。平成 10 年 5 月 22 日に同一圃場に移植した苗を、コシヒカリについては平成 10 年 9 月 3 日(出穂後 28 日目)から 9 月 24 日(出穂後 49 日目)までの期間に、3 日間隔で収穫を行った。中生新千本については、同年 9 月 14 日(出穂後 28 日目)から 10 月 5 日(出穂後 49 日目)までの期間に、コシヒカリ同様 3 日間隔で収穫を行った。これらの米は、収穫後水分含有量 15 % になるまで温室で乾燥した後、精米割合 90 ± 1 % に精米し、冷蔵保存した。

2. 実験方法

(1) 炊飯方法

供試米(145 g)に水(200 ml)を加えて 3 回洗米後、米重量の 1.5 倍量の加水を行い、25 °C で 30 分間浸漬した。炊飯には電気炊飯器(松下電器, SR-3F)を使用した。炊飯に要した時間は 18 分間で、その後 12 分間蒸らし操作を行った。

(2) 精白米のアミロース含有量

簡易ヨウ素呈色法(Juliano, 1979)で測定した。

(3) 精白米のタンパク質含有量

ケルダール法で測定した。窒素-タンパク質換算係数には、5.95 を使用した。

(4) 米飯の官能評価

20 名で構成された消費者パネル(19 ~ 23 才の大学生)を用いた。評価方法は、食糧研究所(1961)の「米の食味試験」に準拠した。対照米米飯を基準試料(0 点)とし、早刈り米米飯の色、つや、硬さ、粘り、甘味、旨味および総

合評価の7特性を、+3から-3までの7段階評定尺度を用いて評価した。

(5)米飯の色

色彩色差計(CR-300, ミノルタ, 大阪)を使用し, CIE系に属するL*a*b'値で測定した。

(6)米飯糊化度

蒸らし終了後の米飯を採取し, 冷エチルアルコールと冷アセトンで脱水粉末試料とした後, β -アミラーゼ・プルラーゼ法(貝沼ら, 1981)で測定した。

(7)米飯の熱水可溶性でんぷん量

Araiら(1993)の方法に準じた。蒸らし終了後の米飯(10 g)に沸騰水(100 ml)を加えて3分間攪拌し, 表面の粘り物質を抽出した。抽出液をガラスフィルター(柴田, 11G-P100)で吸引濾過して米粒を除去し, 濾液の一部をトリフルオロ酢酸(終濃度, 2 N)中で100℃, 4時間加水分解した。トリフルオロ酢酸を減圧溜去して水に溶解し, 還元糖量をソモギーネルソン法(Nelson, 1944; Somogyi, 1953)で測定した。加水分解前の還元糖量を測定し, 両者の差に0.9(Fraser & Hoodless, 1963)を乗じた値を熱水可溶性でんぷん量とした。

(8)米飯テクスチャー

蒸らし終了後の米飯を25℃で1.5時間冷却した後, Okabe(1979)の方法に準じて, テクスチュロメーター(全研, GTX-2)を用いる3粒法で測定した。測定項目は, 米飯の硬さ, 粘りおよび粘り/硬さの3特性である。測定条件は以下の通りである。試料, 米飯3粒; プランジャー, ルサイト製円柱(直径18 mm); クリアランス, 0.2 mm; プランジャー移動速度, 6回/分, 品温, 約30℃。

(9)米飯の遊離糖量

新井ら(1997)の方法に準じた。蒸らし終了後の米飯から, 熱水可溶性でんぷん量で述べた方法で粘り物質を抽出した。飯粒と分離後, 10,000 × gで20分間遠心分離して上清を得た。分離後の飯粒(5 g)に水(25 ml)を加え, 3,000rpmで5分間ホモジナイズした後, 10,000 × gで20分間遠心分離して上清を得た。粘り物質および飯粒の上清に含まれる遊離糖量を, 強塩基性陰イオン交換樹脂カラムによる高速液体クロマトグラフィー(以後HPLCと略す)によって測定した。HPLCの条件は以下の通りである。カラム, Finepak SIL NH₂-5(日本分光); 溶離液, アセトニトリル/水(70/30); 流速, 1 ml/分; カラムおよび検出器温度, 40℃; 検出, 示差屈折計。

(10)精白米の遊離糖量

精白米をテストミル(佐竹製作所, TM-05)で, 表層部分と内層部分とに分けて研削し, 100メッシュ以下の米粉とした。本実験では, 精白米表面の90%から78%まで研削したものを表層, 77%から中心部の0%まで研削したもの

を内層とした。各米粉（10 g）に水（50 ml）を加えて 25℃で 3 時間攪拌抽出後、10,000 × g で 20 分間遠心分離して上清を得た。上清の遊離糖量を、米飯の遊離糖と同様の方法で測定した。なお、アミラーゼ活性不在下での抽出には、水の代わりに阻害剤として 10 mM 塩化第二水銀を含む溶液を使用した。

(11)米飯の L-グルタミン酸量

粘り物質および飯粒の上清に含まれる L-グルタミン酸量を、L-グルタミン酸定量用 F-キット（ロッシュ・ダイアグノーシス）を用いて測定した。

(12)統計解析

平均値の差の検定には、スチューデントの t-テストを使用した。

実験結果および考察

I. 米の早刈りが米飯食味に与える影響

1. 早刈り米の米粒特性

はじめに、供試米の米粒特性を明らかにするために、玄米および精白米の千粒重 (1,000 kernel weight) と、米飯テクスチャーに影響をあたえる精白米のアミロースおよびタンパク質含有量を測定した (表 I-1)。

早刈り米の玄米千粒重は、対照米よりも有意に小さかったが、精白米の千粒重には、両者間に有意な差は認められなかった。アミロース含有量は、登熟初期に増加し、完熟期にはわずかに減少することが報告されている (松江ら, 1991)。しかし、本実験に供した早刈り米は、対照米よりも 10 日間早く収穫したにもかかわらず、両者間にアミロース含有量の有意な差は認められなかった。同様に、タンパク質含有量も、登熟初期に高く、完熟期に低下すると報告されているが (松江ら, 1991)、両者間に有意な差は認められなかった。

以上の結果より、本実験に供した早刈り米は、対照米と比較して、玄米千粒重は小さいものの、精白米の特性には差がないことが判明した。

2. 早刈り米米飯の食味特性

はじめに、早刈り米米飯の官能特性を明らかにするために、対照米米飯を基準試料として、官能検査を行った (表 I-2)。

早刈り米米飯は、すべての評価項目でスコアが+となり、対照米よりも官能特性が高いと評価された。中でも、甘味および旨味のスコアが高くなり、これらが総合評価を向上させたものと推察された。これらの結果より、早刈り米米飯は、特に味の点において、対照米米飯よりも官能特性が高いことが判明した。

官能検査の結果を検証するために、早刈り米米飯の食味特性値として、色、糊化度、熱水可溶性でんぷん量およびテクスチャーを測定した (表 I-3)。

早刈り米米飯の色は、対照米米飯よりも a^* 値が有意に低いことから、緑色に着色していることが示された。しかし、対照米米飯との色差が 2.52 ときわめて小さいために、消費者レベルでは、両者の色の違いは識別不可能であろうと推察された。糊化度は、早刈り米米飯の方が、対照米米飯よりもわずかに高い値となった。このことが、官能検査において、早刈り米米飯の方が軟らかいと評価された一因であろうと推察された。米飯のつやおよび粘りに影響をあたえる熱水可溶性でんぷん量 (Arai & Watanabe, 1994) は、早刈り米米飯の方

が、対照米米飯よりも有意に多いことが判明した。早刈り米米飯のテクスチャー特性値を、対照米米飯と比較した結果、硬さの値が有意に低く、粘りの値が有意に高いことが判明した。江幡ら(1982)も、早期に収穫時した青米は、正常米よりも米飯の粘りが大であると報告している。本実験でも、これと同様の結果が得られたために、収穫時期を早めた米は、粘りの強い米飯となることが確認された。

3. 早刈り米米飯の呈味成分

次に、早刈り米米飯が、官能検査で高いスコアを得た甘味および旨味について、それらの本体を明らかにするために、米飯の呈味成分を分析した。米飯には、口に入れた瞬間に舌で感じる粘り物質由来の呈味と、咀嚼することによって感じる飯粒由来の呈味があると推察される。そこで、米飯を粘り物質と飯粒とに分離して、それぞれについて呈味成分の分析を行った。

はじめに、甘味の本体を明らかにするため、粘り物質および飯粒に含まれる遊離糖量を、HPLCで測定した(図1-2)。

粘り物質に含まれる遊離糖量は、早刈り米米飯の方が対照米米飯よりも多く、約6倍であった。構成糖は、対照米米飯がグルコース、スクロースおよびマルトースであったのに対し、早刈り米米飯では、それらの糖のほかに、マルトトリオースやマルトテトラオースなどマルトオリゴ糖類の顕著な増加が認められた。

飯粒に含まれる遊離糖量は、粘り物質に比べると微量であったが、粘り物質と同様に、早刈り米米飯の方が、対照米米飯よりも多いことが判明した。しかし、構成糖は、両者ともにグルコースとスクロースであり、早刈り米米飯に特異な糖は検出されなかった。

以上の結果より、早刈り米米飯は、粘り物質および飯粒ともに、対照米米飯よりも遊離糖量が多いために、官能検査で甘味が強いと評価されたことが明らかとなった。

早刈り米米飯における遊離糖量の増加要因として、2つの仮説が考えられる。1つは、早刈り米は対照米よりも収穫時期が早いために、でんぷん合成に供される以前の遊離糖が、米粒中に多量に存在していたことである。他のひとつは、対照米と比較して、早刈り米では内在性でんぷん分解酵素活性が高いために、米の浸漬過程や炊飯過程ででんぷんが加水分解を受けて、反応生成物として遊離糖が増加したことである(坂本と丸山, 1990; 田島ら, 1992; 田島ら, 1994)。そこで、これらの仮説を検証するために、でんぷん分解酵素活性の存在下と不在下(塩化第二水銀添加)で、供試米の遊離糖量を測定した。なお、

供試米は、米飯の粘り物質と飯粒とに対応させるために、表層部 {90% (精白米表面) ~ 78 % まで} と内層部 (77 % ~ 0% (中心部) まで} とに分けて分析した (図 I-3)。

でんぷん分解酵素活性の不在下において、表層部より検出された遊離糖は、早刈り米、対照米ともにグルコースとスクロースであった。一方、でんぷん分解酵素活性の存在下において、早刈り米ではグルコースが増加するとともに、新たにマルトースおよびマルトトリオースやマルトテトラオースなどのマルトオリゴ糖類が検出された。対照米でも、グルコースの増加とマルトースの出現は認められたが、マルトオリゴ糖類は検出されなかった。これらの結果より、早刈り米米飯の粘り物質中に検出されたマルトースやマルトオリゴ糖類は、元来早刈り米の表層部に含まれていたものではなく、浸漬または炊飯過程で内在性 α -アミラーゼにより、生成されたものであることが確認された。また、マルトースの増加が著しいことから、 α -アミラーゼの他に、マルターゼの存在も示唆された。一方、対照米は、早刈り米とは異なり、マルトースのみが増加したことから、マルターゼの関与のみが推定された。

でんぷん分解酵素活性の不在下において、内層部より検出された遊離糖は、早刈り米および対照米ともに、グルコースとスクロースであった。一方、でんぷん分解酵素活性の存在下において、早刈り米および対照米は、ともにグルコースの著しい増加と、マルトオリゴ糖類の出現が認められた。これらの結果より、マルトオリゴ糖類の増加には、表層部と同様、内在性 α -アミラーゼの関与が確認された。また、内層部では、早刈り米および対照米ともに、マルトオリゴ糖類よりもグルコースの増加が著しいことから、 α -グルコシターゼの関与も示唆された。

なお、本実験では、米飯より検出された糖類と、米粒より検出された糖類の組成が、必ずしも一致しなかった。これは、粘り物質と米粒表層部および飯粒と米粒内層部とが完全に対応していなかったことや、米飯が炊飯過程で熱の影響を受けたことなどが影響したものと推察された。

以上の結果より、早刈り米米飯の粘り物質に多く含まれる甘味成分は、浸漬または炊飯過程で、おもに内在性 α -アミラーゼの作用により、でんぷんが加水分解を受けて生成されたグルコース、マルトースおよびマルトオリゴ糖類であることが判明した。従って、米を収穫適期よりも 10 日間程度早く収穫すると、 α -アミラーゼ活性が高まるために、米飯の甘味が増して、食味が向上すると結論した。また、 α -アミラーゼによるでんぷんの加水分解は、糊化度を上昇させて米飯を軟化させたとともに、熱水可溶性でんぷん量を増加させて米飯に粘りを付与したものと推察される。なお、早刈りによる α -アミラーゼ活

性の増強要因については、目下検討中である。

さらに、早刈り米の米飯飯粒および米粒内層部では、わずかではあるが、対照米よりスクロース含有量が高かった。スクロースは、胚乳に運ばれた後、トリオースリン酸にまで分解されて、アミロプラストに取り込まれる (Nakamura et al., 1989)。その後、トリオースリン酸は、アミロプラスト内で、グルコース-1-P を経由して合成される ADP (または UDP) グルコースに変換され、でんぷん合成の基質となる (Murata et al., 1964; Murata & Akazawa, 1966)。従って、収穫時期の早い早刈り米では、でんぷん合成にあずかる以前のスクロースが、対照米よりも多く胚乳に存在し、それらが米飯に甘味を付与したものと推察された。

官能検査では、早刈り米米飯は対照米米飯よりも、甘味のみならず旨味も強いと評価された。そこで、米飯の主要な旨味成分であるグルタミン酸の含有量 (Tamaki et al., 1989; 松崎ら, 1992) を、粘り物質と飯粒とに分けて測定した (表 I-4)。

早刈り米米飯は、粘り物質および飯粒ともに、対照米米飯よりもグルタミン酸量が有意に多いことが判明した。特に、粘り物質中のグルタミン酸量は、閾値以上であったため (Yamaguchi, 1979)、官能検査における旨味の向上に寄与したものと推察された。早刈り米におけるグルタミン酸の増加要因についても、遊離糖の場合と同様、内在性タンパク質分解酵素作用と関連付けて、目下検討中である。

4. 早刈り米米飯の保存性

米飯は、炊飯直後に喫食されるだけでなく、一定期間保存後に喫食されることも多い。そのため、米飯の品質にとり、保存性の良否も重要な要素となる。炊飯直後の早刈り米米飯は、甘味や旨味、テクスチャーの点において、対照米米飯よりも優れていることが判明した。しかし、保存後の品質の良否については、明らかではない。そこで、25℃で24時間保存した早刈り米と対照米の米飯について、保存性において重要視されるテクスチャー特性と糊化度を測定した (表 I-5)。

早刈り米米飯の糊化度は、24時間経過後も、対照米米飯より高いことが判明した。この結果より、早刈り米米飯の方が対照米米飯よりも、でんぷんの老化が緩慢であると推察された。また、早刈り米米飯は、対照米米飯よりも硬さの値が有意に低く、粘りの値が有意に高く、米飯テクスチャーの指標とされる粘り/硬さの値も有意に高いことが判明した。これらの結果より、早刈り米米飯は、保存後も対照米米飯より、良好なテクスチャーを有していることが確認

された。

早刈り米米飯の糊化度やテクスチャー特性が、保存後も対照米米飯より優れている要因として、遊離糖の影響が推察される。早刈り米米飯に多く含まれるマルトオリゴ糖類は、でんぷんの老化防止に有効である (Katsuta et al., 1992)。それらの中でも、マルトトリオースは、老化防止効果の高いことが知られている。従って、早刈り米米飯に含まれるマルトトリオースなどのマルトオリゴ糖類は、米飯に対する甘味の付与のみならず、保存性の向上にも有効に作用したものと推察された。

5. 結論

官能検査の結果、早刈り米米飯は、対照米米飯よりも、甘味および旨味が強いと評価された。早刈り米米飯における甘味の増加は、浸漬または炊飯過程で内在性 α -アミラーゼにより、でんぷんからグルコース、マルトースおよびマルトオリゴ糖類が生成されたことによった。また、早刈り米米飯には、対照米米飯よりも、旨味の本体であるグルタミン酸が多く含まれていた。これらの結果より、収穫適期より 10 日間程度早く米を収穫すると、米飯の甘味および旨味が増して、食味が向上すると結論した。また、早刈り米米飯では、マルトオリゴ糖類の増加により、米飯の糊化度およびテクスチャー特性値の低下が遅延し、保存性が向上した。

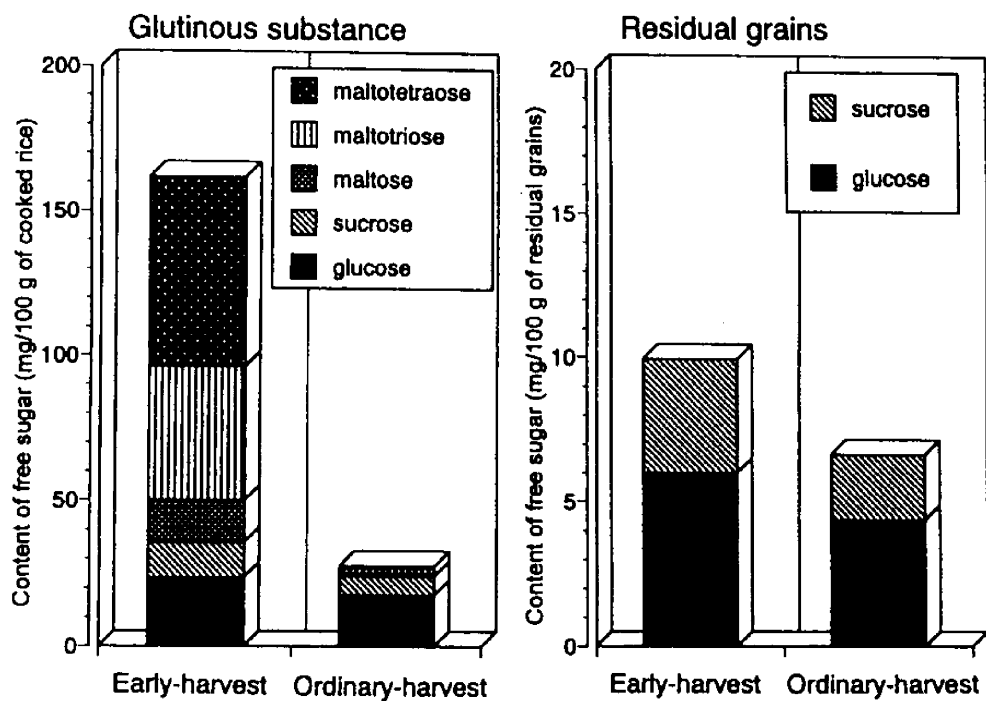


Fig. 1-1 The free sugars contained in the glutinous substance and the residual grains of cooked rice. Glutinous substance was obtained by extraction from cooked rice with boiling water. Residual grains of cooked rice were excluding the glutinous substance.

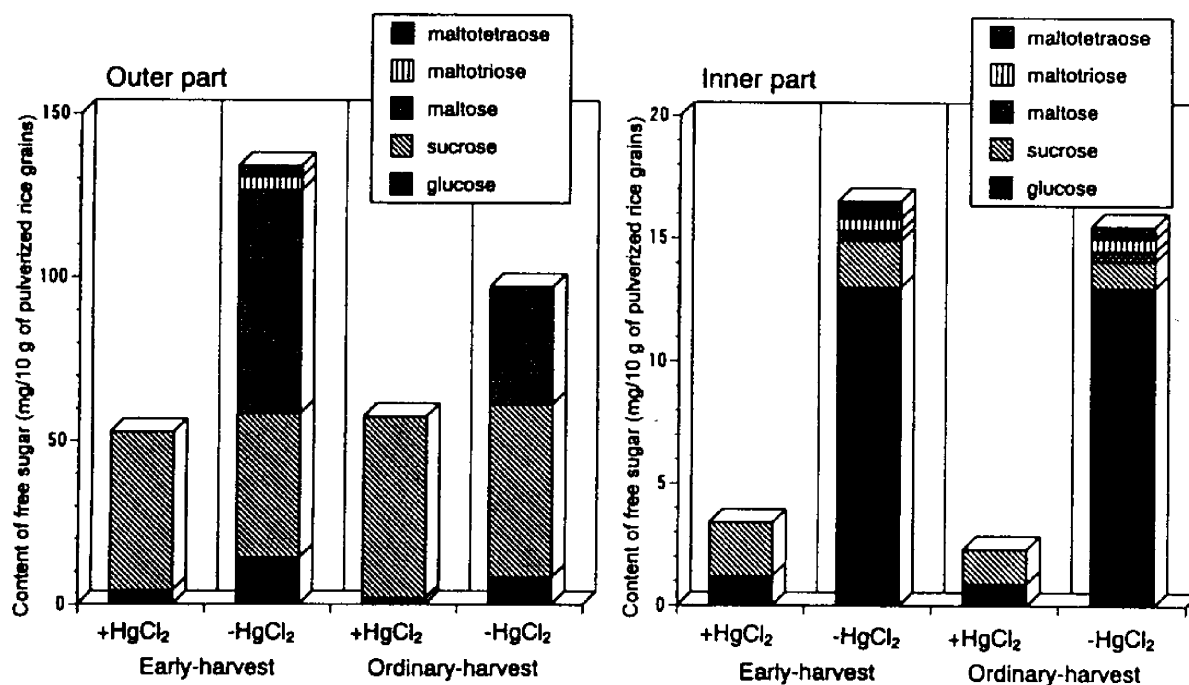


Fig. 1-2 The free sugars contained in the outer and inner parts of milled rice grains. Outer part, the surface part of brown rice grain from 10% to 22% of the whole grain. Inner part, the remaining central portion.

Table I -1. Characteristics of the early-harvest and ordinary-harvest rice grains.

Characteristics	Early-harvest	Ordinary-harvest
	av. \pm s.e.	av. \pm s.e.
1000-kernel weight		
Brown rice (g)	22.79 \pm 0.02***	23.74 \pm 0.08
Milled rice (g)	20.56 \pm 0.24	20.25 \pm 0.12
Content of milled rice		
Protein (%)	5.70 \pm 0.12	5.69 \pm 0.03
Amylose (%)	19.22 \pm 0.13	18.94 \pm 0.21

*** indicates significant difference at the 0.1% level between the early-harvest rice and the ordinary-harvest rice.

Table I -2. Sensory scores of the cooked early-harvest rice compared with the ordinary-harvest rice (zero value).

Items	Score
	av. \pm s.e.
Color ^a	0.03 \pm 0.34
Brightness ^b	0.64 \pm 0.27
Hardness ^c	0.30 \pm 0.45
Stickiness ^d	0.33 \pm 0.37
Sweetness ^e	1.30 \pm 0.18
Deliciousness ^f	0.76 \pm 0.31
Overall judgement ^g	1.33 \pm 0.34

^a 3, very white; -3, not white.

^b 3, very bright; -3, not bright

^c 3, very soft; -3, very hard

^d 3, very sticky; -3, not sticky

^e 3, very sweet; -3, not sweet

^f 3, very delicious, -3, not delicious

^g 3, very good; -3, very bad

Table 1-3. Characteristics of the cooked early-harvest and ordinary-harvest rice.

Characteristics	Early-harvest	Ordinary-harvest
	av. \pm s.e.	av. \pm s.e.
Color index		
L*	76.4 \pm 0.7	77.6 \pm 0.5
a*	-2.15 \pm 0.03***	-1.96 \pm 0.03
b*	+18.2 \pm 0.16	+16.3 \pm 0.11
ΔE^*_{ab}	2.52 \pm 0.30	0
Degree of gelatinization (%)	95.0 \pm 0.2	93.2 \pm 0.2
Amounts of hot-water extractable starch (mg/100 g)	3.22 \pm 0.06*	2.85 \pm 0.07
Texturometric		
Hardness (kgf)	2.05 \pm 0.02*	2.14 \pm 0.03
Stickiness (kgf)	0.46 \pm 0.01*	0.42 \pm 0.01
Stickiness/hardness	0.22 \pm 0.01	0.20 \pm 0.01

* and *** indicate significant difference at 5% and 0.1% levels, respectively, between the early-harvest rice and the ordinary-harvest rice.

Table I -4. L-glutamic acid content of the cooked early-harvest and ordinary-harvest rice.

	Early-harvest	Ordinary-harvest
	av. \pm s.e.	av. \pm s.e.
Glutinous substance ^a	1.84 \pm 0.08***	1.31 \pm 0.03
Residual grains of cooked rice excluding glutinous substance ^b	0.34 \pm 0.02*	0.22 \pm 0.02

* and *** indicate significant difference at 5% and 0.1% levels, respectively, between the early-harvest rice and the ordinary-harvest rice.

^a mg/100 g of cooked rice.

^b mg/100 g of residual grains of cooked rice.

Table 1-5. The degree of gelatinization and texturometric characters of the cooked early-harvest and ordinary-harvest rice at 24 hours after cooking.

Characteristics	Early-harvest	Ordinary-harvest
	av.±s.e.	av.±s.e.
Degree of gelatinization (%)	93.3±0.2	92.5±0.1
Texturometric		
Hardness (kgf)	2.11±0.02**	2.23±0.03
Stickiness (kgf)	0.50±0.02*	0.44±0.02
Stickiness/hardness	0.23±0.01*	0.19±0.01

* and ** indicate significant difference at 5% and 1% levels, respectively, between the early-harvest and the ordinary-harvest rice.

Ⅱ. 米の収穫時期が米飯特性に与える影響

1. 米飯の糊化度およびテクスチャー特性値

次に、収穫時期が異なる2種類の供試米を炊飯し、Ⅰの結果より米飯の官能特性に影響を与えると推察された糊化度およびテクスチャー特性値を測定した。

(1) 糊化度

コシヒカリの糊化度は、収穫時期を通じてわずかに変動はあるものの、概ね95%と高い値を示した。一方、中生新千本の糊化度は、収穫時期を通して93%と一定していた。これらの結果より、米飯の糊化度には、収穫時期による大きな変動は認められないことが判明した。また、コシヒカリと中生新千本を比較した結果、Arai & Watanabe (1994) の報告と同様、良食味米のコシヒカリの方が、糊化度の高いことが確認された。

(2) テクスチャー特性値

図Ⅱ-1示したように、米飯の硬さは、出穂後40日と比較すると、コシヒカリの28日と49日、中生新千本の28、31日と46、49日で、それぞれ有意に増加した。第Ⅰ章でも述べたように、極端な早刈りまたは遅刈り米では、米飯が硬くなることが報告されているが、本実験の結果もそれを支持するものであった。

図Ⅱ-2に示したように、米飯の粘りは、コシヒカリの出穂後28日から34日で、40日よりも値が有意に上昇した。しかし、中生新千本では、出穂後28日で40日よりも値が有意に低下した。

図Ⅱ-3に示したように、米飯テクスチャーの指標とされる粘り/硬さは、コシヒカリの出穂後31日と34日で、40日よりも値が有意に上昇したが、中生新千本では28日と49日で、40日よりも値が有意に低下した。

以上の結果より、米の収穫時期は、米飯テクスチャーに大きな影響を与えることが確認された。すなわち、コシヒカリでは、早刈り米において粘りが上昇したことから、それに伴って粘り/硬さの値も上昇し、いわゆる適期に収穫した40日の米飯よりも、テクスチャー特性が優れていることが判明した。この結果より、コシヒカリでは、10日程度の早刈りは、米飯テクスチャーの改変に有効であることが明らかとなった。一方、中生新千本では、早刈りによっても粘りの上昇は認められなかったことから、早刈りはテクスチャーの改変には効果がないことが判明した。なお、松江ら(1993)も、米の収穫時期と米飯テクスチャーの関係には、品種間で差異があると報告している。本実験の結果も、この報告を裏付けるものとなった。

2. 米飯の呈味成分

次に、米の収穫時期が米飯の呈味特性に与える影響を明らかにするため、Ⅰと同様に甘味として遊離糖量、旨味としてL-グルタミン酸量を測定した。また、Ⅰで述べた理由により、Ⅱにおいても米飯を粘り物質と飯粒とに分離して分析を行った。

(1) 遊離糖量

図Ⅱ-4に示すように、コシヒカリ米飯の粘り物質に含まれる遊離糖量は、収穫時期が早い米ほど多く、遅くなるに伴って減少した。さらに、収穫時期が早い米ほど構成糖の種類も多く、出穂後28日ではスクロース、グルコース、マルトースのほかに、マルトトリオースやマルトテトラオースなどマルトオリゴ糖類も検出された。また、マルトオリゴ糖類は、31日から37日の米飯にも検出された。

一方、中生新千本では、コシヒカリと同様、出穂後28日の遊離糖量が最も多かったが、その後40日まで減少し、その後46日と49日日でわずかに増加した。構成糖は、コシヒカリと同様であったが、マルトオリゴ糖類の含有量は、コシヒカリよりも少なかった。また、46日と49日で増加した糖は、マルトテトラオースであった。

以上の結果より、コシヒカリ、中生新千本ともに、早刈り米米飯の粘り物質には、出穂後40日の米飯よりも遊離糖が多く含まれること、構成糖には内在性糖質分解酵素によってでんぷんから生成されたと推定されるマルトオリゴ糖類が含まれることが明らかとなった。なお、コシヒカリに関するこれらの結果は、Ⅰで得られた結果と、きわめてよく一致するものであった。

コシヒカリと中生新千本を比較した結果、コシヒカリの方が、早刈りにおけるマルトオリゴ糖類の生成量が多かった。これは、浸漬および炊飯過程における内在性糖質分解酵素活性が、コシヒカリでより高いことを意味している。酵素活性にこのような品種間差異が生じた理由については、さらに検討を要するものと思われる。

図Ⅱ-5に示すように、コシヒカリ米飯の飯粒に含まれる遊離糖量は、粘り物質と同様、収穫時期が早い米ほど多く、遅くなるに伴って減少した。構成糖も、粘り物質と同様、収穫時期が早い米ほど種類が多く、出穂後28日ではスクロース、グルコース、マルトースのほかに、マルトトリオースやマルトテトラオースなどマルトオリゴ糖類も認められた。しかし、31日以降に検出された糖は、スクロースとグルコースのみであった。中生新千本の米飯飯粒に含まれる遊離糖量も、コシヒカリと同様、収穫時期が早い米ほど多く、遅くなるに伴って減少したが、出穂後28日の遊離糖量は、コシヒカリよりも多かった。

また、マルトオリゴ糖類は、出穂後 31 日まで検出された。さらに、中生新千本では、出穂後 28 日の飯粒において、スクロースが著量検出された。

以上の結果より、コシヒカリ、中生新千本ともに、早刈り米米飯の飯粒には、粘り物質と同様、出穂後 40 日の米飯よりも遊離糖が多く含まれること、構成糖にマルトオリゴ糖類が検出されることが明らかとなった。なお、I では、収穫時期を 10 日間早めたコシヒカリの飯粒に含まれる遊離糖は、スクロースとグルコースであると述べた。本実験では、出穂後 31 日がこれに相当し、I で得られた結果とよく一致した。

一方、中生新千本では、コシヒカリと異なり、出穂後 28 日の米飯飯粒にスクロースが著量認められた。建部ら (1994) は、出穂後日数の早い玄米ほどスクロース含有量が多いと報告している。従って、出穂後日数は同じであるが、中生新千本は出穂後の気温の影響などを受けて、コシヒカリよりも成長が遅れたものと推定された。そのため、登熟過程ででんぷん合成の基質となるスクロースが、胚乳細胞に相当する飯粒中に多く残存したものと思われた。

米飯の粘り物質および飯粒の遊離糖量測定結果を総合すると、コシヒカリでは、米の早刈りは米飯の甘味を増して食味を向上させ、遅刈りは甘味を減少させて食味を低下させることが明らかとなった。一方、中生新千本では、コシヒカリよりも収穫時期による遊離糖量の変動は小さいが、早刈りによる甘味の増加は認められた。

(2) L-グルタミン酸

I で明らかにしたように、遊離糖と同様、早刈り米米飯の粘り物質には、旨味成分の L-グルタミン酸が多かった。そこで、第 II 章では、米飯の粘り物質に焦点を絞って、L-グルタミン酸量を測定した。

図 II-6 に示したように、コシヒカリ、中生新千本ともに、粘り物質に含まれる L-グルタミン酸量は、出穂後 28 日が最高値を示し、31 日で急激に減少し、以後大きな変動は認められなかった。

以上の結果より、L-グルタミン酸は、収穫時期がかなり早い場合にのみ、出穂後 40 日よりも多く含まれることが判明した。なお、中生新千本の方がコシヒカリよりも出穂後 28 日の L-グルタミン酸量が多かった理由としては、スクロースと同様、タンパク質合成にあずかる前の遊離アミノ酸が多く存在したためと推察された。

3. 結論

コシヒカリ、中生新千本ともに、早刈り米米飯では、出穂後 40 日の米飯よりも遊離糖量が増加した。増加した遊離糖は、I と同様に、マルトトリオース

やマルトテトラオースなどマルトオリゴ糖類であった。また、出穂後 28 日の米飯には、コシヒカリ、中生新千本ともに、L-グルタミン酸が多量に含まれていた。一方、コシヒカリでは、遅刈り米の米飯は遊離糖量が減少し、食味の低下が認められた。

以上の結果より、品種や産地を問わず、米の収穫時期は米飯食味に影響をあたえ、収穫適期より 10 日間程度早く米を収穫すると、米飯の甘味および旨味が増して食味が向上すると結論した。

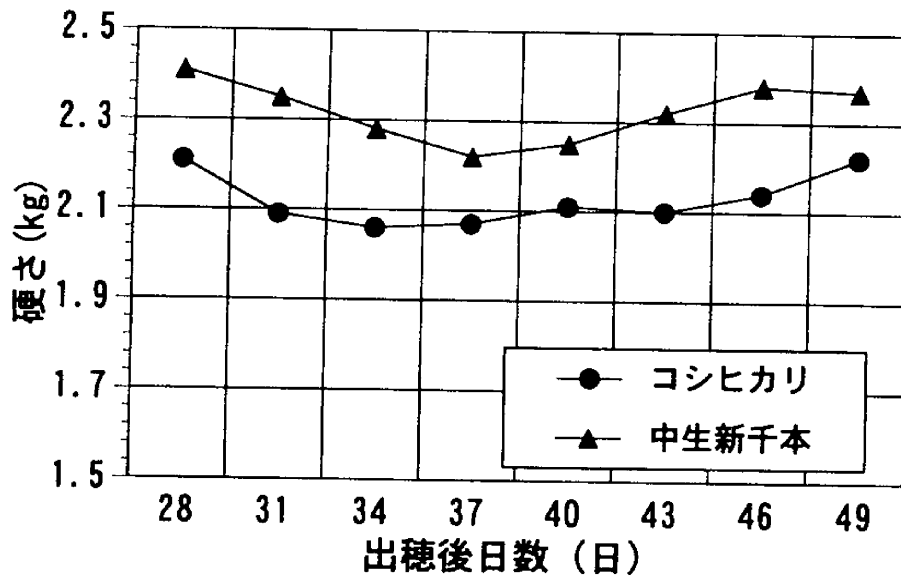
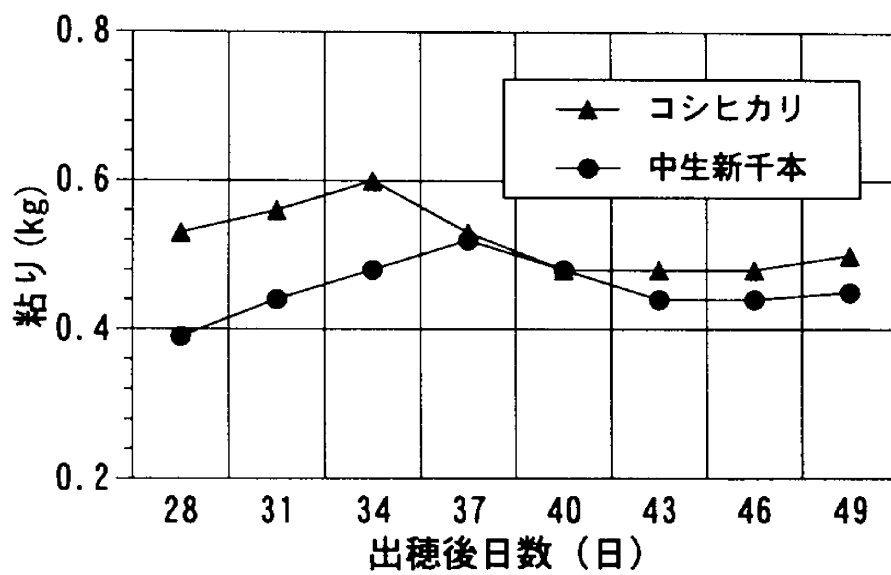


図 II -1 収穫時期が米飯の硬さに与える影響



図Ⅱ-2 収穫時期が米飯の粘りに与える影響

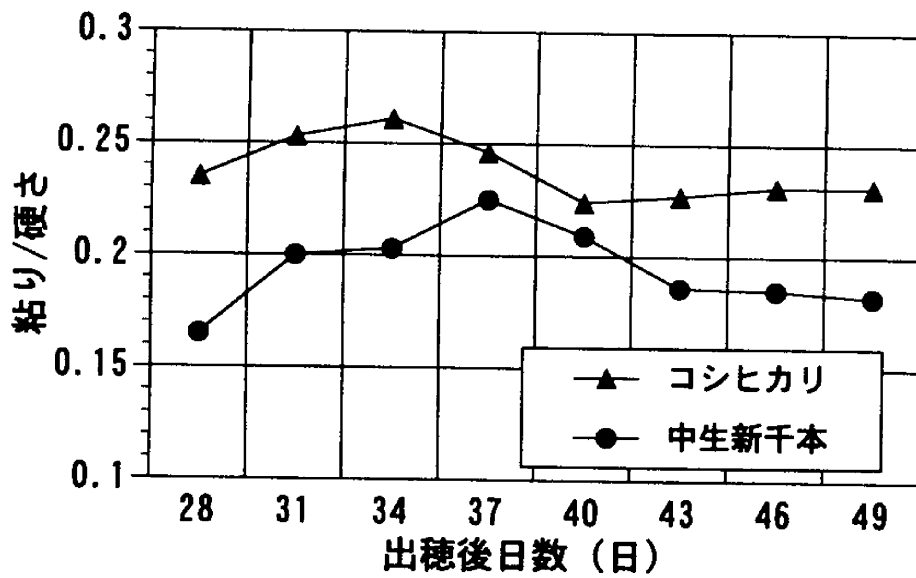


図 II -3 収穫時期が米飯の粘り／硬さに与える影響

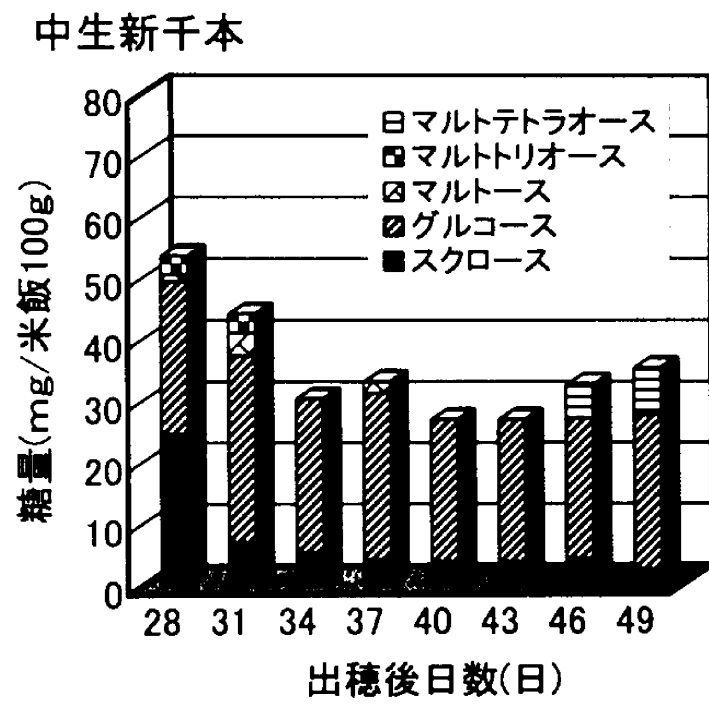
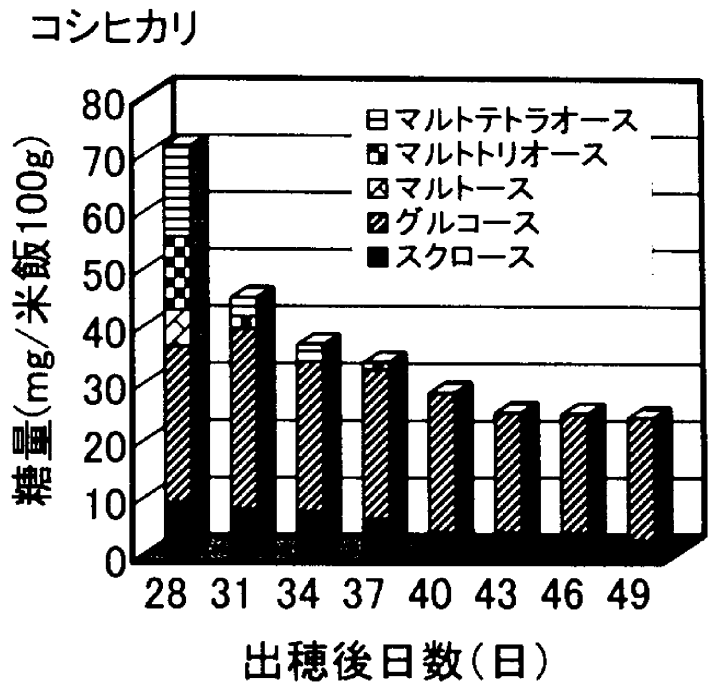


図 II -4 収穫時期が米飯粘り物質中の遊離糖量に与える影響

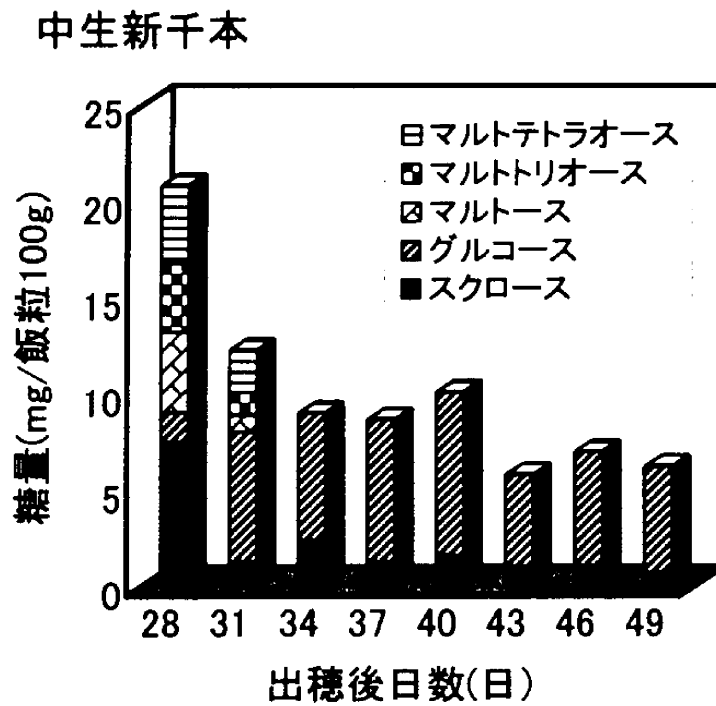
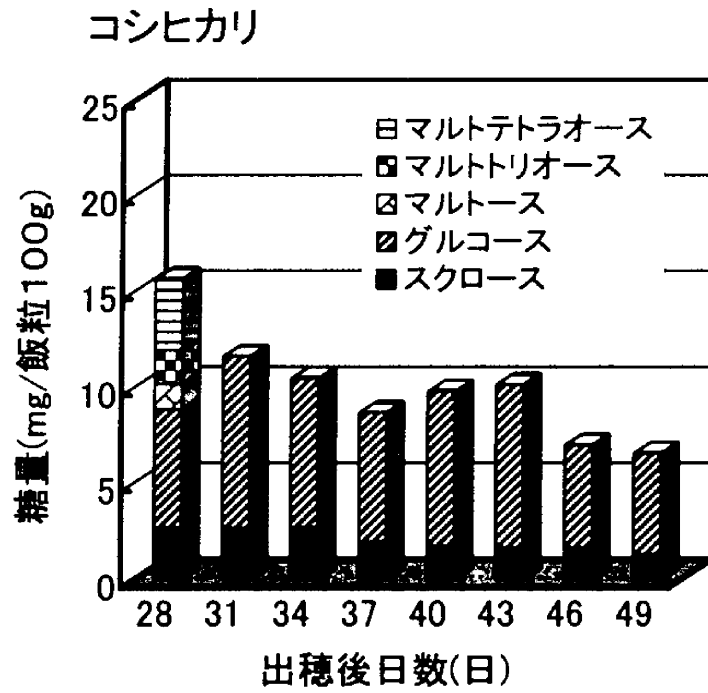


図 II -5 収穫時期が米飯飯粒中の遊離糖量に与える影響

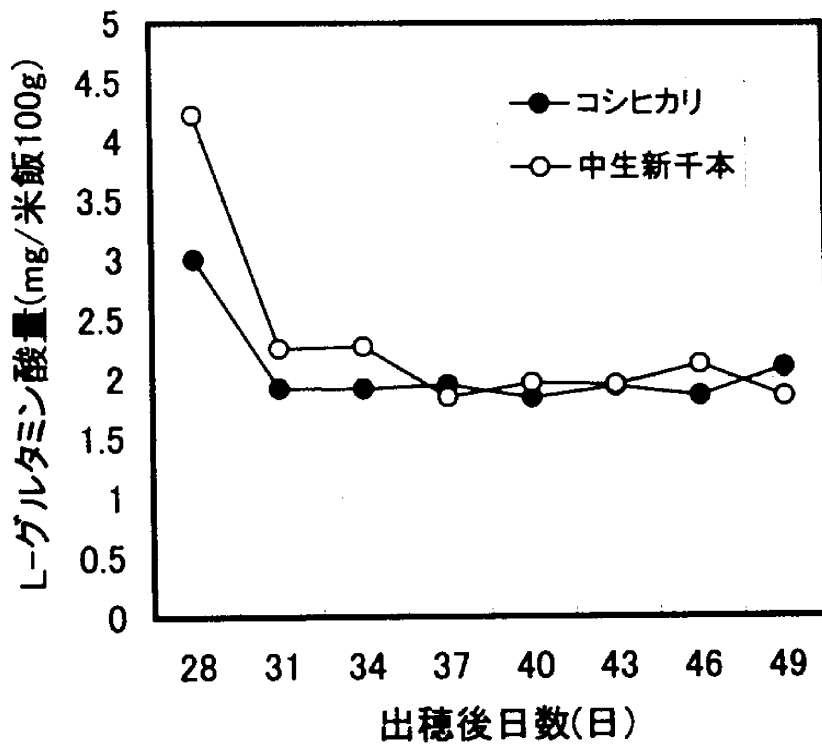


図 II -6 収穫時期が米飯粘り物質中のL-グルタミン酸量に与える影響

謝 辞

本研究課題を遂行するにあたり、広島県立大学生物資源学部助教授の猪谷富雄博士に、供試米のご恵与ならびに懇切なるご助言を賜りました。

また、島根県松江市の有限会社藤本米穀店代表取締役の藤本真一郎氏からも、供試米のご恵与を賜りました。

稿を終えるにあたり、各位に深甚なる謝意を表します。

さらに、官能検査にご協力頂きました静岡大学教育学部家政教育講座の学生の皆様に、厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Arai, E. and Watanabe, M.(1994). Gelatinizability of starch as a factor affecting the quality of cooked rice, *Oyo Toshitsu Kagaku*, **41**, 193-196.
- 新井映子, 清水智恵子, 渡辺道子(1997). 加温浸漬による米飯の品質改変, **48**, 789-795.
- Asaoka, M., Okuno, K., Sugimoto, Y., and Fuwa, H. (1985). Developmental changes in the structure of endosperm starch of rice (*Oryza sativa* L.), *Agric. Biol. Chem.*, **49**, 1973-1978.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, K., Rebers, P.A., and Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugar and related substance, *Anal. Chem.*, **28**, 350-356.
- 江幡守衛, 平沢恵子, 柴田哲 (1982). 米飯のテクスチャーに関する研究, 日作紀, **51**, 242-247.
- Fraser, J.R., and Hoodless, R.A. (1963). Calcium chloride starch-dispersing media, *Analyst*, **88**, 558-560.
- Juliano, B.O. (1971). A simplified assay for milled-rice amylose, *Cereal Science Today*, **16**, 334-340,360.
- 貝沼圭二, 松永暁子, 板川正秀, 小林昭一(1981). β -アミラーゼ-プルラナーゼ (BAP)系を用いた澱粉の糊化度, 老化度の新測定法, *澱粉科学*, **28**, 235-240.
- Katsuta, K., Nishimura, A., and Miura, M. (1992). Effects of saccharides on stabilities of rice starch gel. (2. Oligosaccharides), *Food Hydrocolloids*, **6**, 399-408.
- 松江勇次, 水田一枝, 古野久美, 吉田智彦(1991). 北部九州産米の食味に関する研究 第2報 収穫時期が米の食味および理化学的特性に及ぼす影響, 日作紀, **60**,497-503.
- 松江勇次 (1993). 水稲の食味に及ぼす環境条件の影響及び量食味の奨励品種選定に関する研究, 福岡県農業総合試験場特別報告, 第6号, 24-30.
- 松崎昭夫, 高野哲夫, 坂本晴一, 久保山勉(1992). 食味と穀粒成分およびアミノ酸との関係, 日作紀, **61**,561-567.
- Murata, T., Sugiyama, T., and Akazawa, T. (1964). Enzymic mechanism of starch synthesis in ripening rice grains. II. Adenosine diphosphate glucose pathway, *Arc. Biochem. Biophys.*, **107**, 92-101.
- Murata, T., and Akazawa, T. (1966). Enzymic mechanism of starch synthesis in ripening in rice grains. IV. Starch synthesis in glutinous rice grains.

- Arch. Biochem. Biophys.* 114, 76-87.
- Nakamura, Y., Yuki, K., Park, S.Y., and Ohya, T. (1989). Carbohydrate metabolism in the developing endosperm of rice grains, *Plant Cell Physiol*, 30, 833-839.
- 食糧研究所(1961). 米の食味試験, 食糧—その科学と技術—, 4,29.
- Nelson, H.J. (1944). A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose, *J. Biol. Chem.*, 153, 375-380.
- Okabe, M. (1979). Texture measurement of cooked rice and its relationship to eating quality, *J. Texture Stud.*, 10, 131-152.
- 坂本薫, 丸山悦子(1990). 精白米の α -アミラーゼの精製とその性質, 澱粉科学, 37,29-34.
- Somogyi, M. (1952). Note on sugar determination, *J. Biol. Chem.*, 195, 19-23.
- 杉山智美, 小西雅子, 寺崎大二郎, 畑江敬子, 島田淳子(1995). 米粒中の微量成分とその偏在, 日食工誌, 42,401-409.
- 田島眞, 堀野俊郎, 前田万里, 孫鐘録(1992). 米粒外層から抽出されるオリゴ糖類, 日食工誌, 39,857-861.
- 田島眞, 加藤万里子, 飯塚敏恵(1994). 炊飯米に含まれるオリゴ糖, 日食工誌, 41,339-340.
- 建部雅子, 宮田邦夫, 金村徳夫, 米山忠克(1994). 登熟にともなう玄米の糖・アミノ酸含有率の推移および窒素栄養条件の影響, 日本土壤肥科学雑誌, 65,503-513.
- Tamaki, M., Ebata, M., Tashiro, T., and Ishikawa, M. (1989). Physico-ecological studies on quality formation of rice kernel III. Effects of ripening stage and some ripening conditions on free amino acids in milled rice kernel and in the exterior of cooked rice, *Jpn. J. Crop Sci.*, 58, 695-703.
- Yamaguchi, S. (1979). The umami taste. In "Food Taste Chemistry," ed. by J.C. Boudreau, Am.Chem.Soc, Wasington, DC. pp.35-51.

Studies on Optimum Harvesting Time of Rice Grains for Good Eating Quality of Cooked Rice

Eiko ARAI (Faculty of Education, Shizuoka University)

In order to clarify the optimum harvesting time of rice grains for the good eating quality of cooked rice, especially on the taste items of "sweetness" and "deliciousness," I compared early-harvest rice which was harvested at 10 days before the ordinary time of harvesting and ordinary-harvest rice which was harvested at the ordinary time. From the results of sensory tests, the cooked early-harvest rice was evaluated as being sweeter and more delicious than the cooked ordinary-harvest rice. The greater sweetness in the cooked early-harvest rice was primarily due to the formation of glucose, maltose and maltoligosaccharides from starch probably by starch degradation enzymes during soaking and/or cooking. The cooked early-harvest rice contained more L-glutamic acid than the cooked ordinary-harvest rice. From these results, it was concluded that when rice is harvested 10 days before the ordinary time of harvesting, the cooked rice will be sweeter and more delicious.

Keywords: early harvesting, cooked rice, sweetness, maltoligosaccharides, starch degradation enzyme