

目・次

米の品質形成に関する
生理・生態学的研究

名古屋大学図書	
和	1058468

玉 置 雅 彦

— 1 9 9 0 —

報告番号 甲 第 2314 号

目次

第1章 緒論	3
第2章 登熟にともなう米質の変化	
1. 緒言	7
2. 材料および方法	7
3. 結果	12
4. 考察	16
5. 摘要	19
6. 図表	21
第3章 登熟条件が米質に及ぼす影響	
1. 緒言	31
2. 材料および方法	31
3. 結果	33
4. 考察	35
5. 摘要	40
6. 図表	42
第4章 米質に及ぼす品種間差異の影響	
1. 緒言	55
2. 材料および方法	55
3. 結果	56
4. 考察	57
5. 摘要	57
6. 図表	59

第5章 貯蔵にともなう米質の変化	
1. 緒言	61
2. 材料および方法	62
3. 結果	64
4. 考察	69
5. 摘要	74
6. 図表	76
第6章 総合考察	95
第7章 総合摘要	100
謝辞	105
引用文献	106

第 1 章 緒 論

米は、日本人の主食として重要な地位を占め、稲作は我が国農業の基幹的地位を担ってきた。近年、国産米の量的な充足にともない米の品質、とくに食味的品質への関心が急速に高まってきている。戦後収量が第1の目標であった米作りも、1960年代後半から始まった旨い米嗜好の波に乗り、旨い米は作付面積を増やし続けている。中でも、1956年に育成されたコシヒカリは食味の良さゆえに作付け面積は年々増加し、1979年にはそれまで日本一の作付けシェアを誇っていた日本晴にとってかわりトップの座に躍り出、今や北は福島県から南は鹿児島県まで42万ヘクタールで栽培されている。1988年には日本の水稲作付け面積は約188万ヘクタールであるから、コシヒカリだけで実に日本の全作付け面積の2割強栽培されていることになる。北陸地域だけに限ると、なんと4割以上でコシヒカリが栽培されている。また1963年に育成されたササニシキも旨い米の代表的品種であり、東北地方に限られて栽培されているにもかかわらず、1985年には日本晴を抜き、コシヒカリに次ぐ2番目のシェアを誇っている¹⁰⁷⁾。

コシヒカリの旨さは飯の粘りに、一方ササニシキは淡泊な舌ざわりと味がその旨さの源となっている¹⁰⁸⁾。しかしながらコシヒカリ、ササニシキといった良食味米は、いもち病に弱く、倒伏しやすいという欠点も同時に持ち合わせている。良食味米が持つ特性を今後の品種改良に役立て、耐病性、耐倒伏性をも持ち合わせた旨い米を作る努力が必要である。また食味性は登熟環境条件によっても異なり、貯蔵条件によっても変化するので、食味性を向上させるための栽培法や貯蔵法の検討も必要である。しかし、現在のところ旨い米が持

つ特性について充分には解明されていない。

米の食味的品質は嗜好性に関連した官能的な要素により強く支配されるため、その本質の解明は非常に困難である。米飯は淡泊な味しか持ち合わせていないことから、従来硬さ、粘りといった物性が米飯の官能的な嗜好性を構成する要素としてとくに重視されてきた(56, 71, 95, 102)。谷ら⁹⁵⁾は、米の食味のおよそ70%は米飯の物性から推定でき、残りの30%は香りやうま味の成分であると報告している。近年、米飯の物性の解析から食味性の評価を行おうとする試みが進められている。江橋ら^{21, 22, 23, 24)}、遠藤ら²⁶⁾、稲津³⁵⁾、岡部^{72, 73)}は、テクスチュロメーターによる食味評価法を確立し、この方法で品種間差異や登熟過程の食味性の変化などを検討している。しかし、登熟条件および貯蔵過程が食味形成に及ぼす影響についての研究は、まだ不十分である。

米飯の物性は、従来アミロース含量の多少から説明されてきた^{40, 41, 42, 44, 77)}。一般に、インド稲が日本稲に比べて硬く粘りが乏しい米飯となる理由として、インド稲は日本稲よりアミロース含量が高いためと言われている⁴⁰⁾。また稲津³⁵⁾は、1969～1972年の4か年にわたり本州7県10品種、北海道7市町村7品種のアミロース含有率を調査した結果、本州産米17.5～21.5%、北海道産米20.0～24.5%と北海道産米のアミロース含有率が明らかに本州産米に比べ高いとし、北海道産米の食味改善の方向として低アミロース米生産の重要性を指摘した。その結果、現在本州産米と比べてアミロース含量はあまり差がない”ゆきひかり”という品種が誕生し、その食味は従来の北海道産米に比べると格段の向上があると言われている⁶⁸⁾。しかし、米飯の物性をアミロース含量の

多少だけで説明するのは困難で、デンプンの膨潤を阻害する成分として、タンパク質や脂質も関係しているという報告もある^{8, 29, 30, 48, 50, 51})。しかしこの点については、現在のところ充分には解明されていない。

一方、呈味要素は本来食品の重要な食味要素の一つであり、米飯の場合もこれを一概に軽視できないと思われる。我々が米飯を食べたときに感じるほんの僅かなうま味が、米飯の呈味成分である。米飯には独得の味がないため、いくら続けて食べても飽きがこない。さらにどのような料理とも合う。このことが米が日本人の主食となっている所以である。

米飯の呈味成分としては、従来遊離アミノ酸が考えられており、白米中の遊離アミノ酸に関して多くの研究がなされてきた^{57, 58, 75, 84, 87, 98})。岡崎・沖⁷⁵)は、日本型水稻5品種および外米1品種、さらに富田ら⁹⁸)は、日本型水稻5品種の比較試験から、食味の優れた品種では白米中の遊離アミノ酸総量が大で、とくにグルタミン酸含量が高いとし、白米中の遊離アミノ酸が呈味成分として米飯の食味形成に関わりを持つことを指摘した。しかし岡崎・沖⁷⁵)、富田ら⁹⁸)の研究以後、遊離アミノ酸と米飯の食味性との関係については検討されず今日に至っている。

炊飯時に白米の表層から炊飯液中に溶出する固形物、いわゆる”おねば”は、米粒組織の吸水膨潤化の過程で飯の表面に付着する。我々がうま味として感じるのは、白米中に存在する呈味成分というより、口中のそしゃくに際して容易に溶出してうま味感を与えるおねばの中の成分、すなわち米飯の表層にあり極めて易溶性の成分であると著者は考えた。

米の粒質形成は主として登熟期における粒内への同化産物の集積過程で決まる。しかし収穫期以後の貯蔵過程でも米質に少なからず影響を与える。本研究は登熟過程、登熟条件および貯蔵過程における食味的品質の形成に及ぼす影響、ならびに食味的品質の品種間差を明らかにするとともに、食味形成機構を米飯の物性、いわゆる“テクスチャー”と呈味成分の2面から解明するために行ったものである。

第 2 章 登熟にともなう米質の 変化

1 . 緒 言

米の食味的品質に関しては、ほとんど収穫後の米を用いて比較検討されており、米質が形成される登熟過程から検討した報告は極めて少ない^{2,3)}。米質は登熟過程において変化しつつ形成されるものであり、粒質の形成機構を考慮しない限り、米質の十分な説明は成し得ないと考えられる。そこで著者は、アミロースのみならず、様々な要因が相互に関与し、米質が形成されていくのではないかと考えた。本章では米の食味性についてうるち米、もち米を用いて米飯のテクスチャーを指標として、登熟にともなう米質の変化をタンパク質、アミロースおよび結合脂質との関係から検討した。

また遊離アミノ酸の登熟にともなう変化を、呈味要素の視点から検討した報告は現在までのところみあたらない。そこで本章では、著者が真の呈味成分と考えている米飯付着の遊離アミノ酸に着目し、その動態を白米と比較し、登熟過程での推移を合わせて検討した。

2 . 材 料 お よ び 方 法

水稲うるち品種2品種（ササニシキ、日本晴）は、1984年および1987年に、もち品種2品種（こがねもち、祝糯）は、1987年にそれぞれ本学実験圃場において慣行法により栽培した。1984年産うるち米材料は、出穂後15、25、35、45日目の計4回採取し、テクスチャー、タンパク質およびアミノ酸測定試料とした。1987年産うるち米およびもち米材料は、出穂後15、20、25、30、40、50日目の計6回採取し、うるち米材料

はアミロースおよび結合脂質調査試料とし、もち米材料はテクスチャー、タンパク質、アミロースおよび結合脂質の測定試料とした。供試白米は風乾後、試験用精米機 (Kett Palest) で約91%に搗精し、胴割れ粒、登熟障害粒を除いた精選粒のみとした。なお、出穂後15日および20日目の未熟粒は、強勢果のみを使用し、精米機で糠層を除去後、ピンセットで胚を除去した。

炊飯方法は江幡ら²³⁾の方法にしたがい、白米10gをアルミ製プディングカップ (口径55mm、底径36mm、高さ50mm) に取り、蒸留水で洗米し、洗米後の重さが14.2gになるように水分を調節した。これを40°Cの湯せん器中で30分間吸水させた後、電子圧力コントロール圧力なべ (ナショナルSR-101P) で炊飯した。圧力なべは、低圧条件 (内部温度最高113°C) で5分間加熱後スイッチを切り、8分間なべ内に放置し、その後飯を取り出し飯の膨潤率 (飯重/精白米重) を測定した。さらに30分間室温下に放置後、テクスチャー測定を行った。なおこの炊飯条件で得られた飯の膨潤率は約2.35で、普通の適正な炊飯米と同程度であった。

米飯のテクスチャー測定は、江幡ら²³⁾の方法にしたがい、General Foodsのテクスチュロメーター (GTX-2-1N型) を用いて行った。測定試料飯は3粒とし、これらはプディングカップの中央部より正常な形態をしたものを取り出した。測定条件は、プランジャーはニッケル20mm、受け皿はアルミニウム24mm径で、電圧1.5V、そしやく速度は6ストローク/min、記録紙速度750mm/minであった。また、クリアランスは硬さ、凝集性、弾力性に関しては0.5mmで、粘り、粘着性に関しては0.2mm

で行った。飯の粘りの要素値は室温下に24時間放置してもほとんど変化しないが、硬さ的要素値は増す¹³⁾ので、試料飯の硬さ的要素を測定後、粘りの要素を測定した。測定は5回行い、結果は5回の平均値を示した。なおテクスチャー値のうち硬さは1V当量、付着性は5V当量、粘りは0.5V当量で表した。硬さ、付着性および粘りの各値には、試料白米50粒重(g)の値で割る粒重補正を加えた²³⁾。

米飯のテクスチャーの解析には、第1図に示したパラメーターについて行った⁸³⁾。このうち粘り(-H)は岡部⁷²⁾の、弾力性(a_2/a_1)および粘着性($\sqrt{A_3 \times (-H)}$)は江幡ら²⁴⁾の、他はすべてSzczesniak⁸³⁾のパラメーターによった。

タンパク質、アミロースおよび結合脂質の定量は、精白米試料を60メッシュに粉碎後、以下の方法により行った。

a) タンパク質: 試料をエーテルで脱脂後、難溶性および水溶性窒素に分画し、セミマイクロ・ケルダール法⁸⁰⁾により窒素を定量した。各分画から定量した窒素にタンパク質換算係数5.95を乗じて、難溶性および水溶性タンパク質とした。

b) アミロース: 山本ら¹⁰¹⁾の方法にしたがい米デンプンを調整した。すなわち白米粉を5倍量の0.2%水酸化ナトリウム溶液に懸濁し、3時間攪はん洗浄し、デンプンを沈澱させた後上澄液を除き、再びアルカリ液で攪はん洗浄する操作を5度繰り返した。なお粒度を揃えるために、2度目の洗浄の前に100メッシュのふるいを通し、最後のアルカリ洗浄終了後に250メッシュのふるいを通した。アルカリ洗浄を終えたデンプン試料は、フェノールフタレイン反応を示さなくなるまで蒸留水で洗い、アルコールで脱水し、乾燥させ

た。その後アミロースをヨウ素呈色比色法^{43,67)}により定量した。まずデンプン試料をエーテルで脱脂後100mgを精ひようし、エタノール1mlおよび蒸留水10mlを加えてよく試料を潤おした。さらに10%水酸化ナトリウム溶液を2ml加え、30°Cで24時間放置後、沸騰湯浴上で10分間糊化し、冷却後100mlに定容とした。この液5mlに1N酢酸1mlとヨウ素溶液(I₂ 0.2%、KI 20%を含む)2mlを加え、蒸留水を加えることにより100mlに定容とした。20分後、620nmで吸光度を測定した。アミロース含量は、アミロースおよびアミロペクチンの一定比率混合液について呈色度を求め、検量線を描き、試料デンプンのアミロース含有率を求めた。なおアミロースはとうもろこシアミロース(和光純薬)を、アミロペクチンは、もちとうもろこシアミロペクチン(片山化学)を用いた。

c) 結合脂質(fat-by-hydrolysis): A O A C法⁵⁾にしたがい酸分解法により定量した。デンプン試料2gを容量50mlの小ビーカーに入れ、エタノール2mlを加えよく混和した。次いで塩酸(濃塩酸25:蒸留水11、V/V)を加えて十分に混和し、時計皿で覆って70~80°Cの湯浴中で40分加温した。放冷後内容物を分液ロートに移し、エタノール8mlを加え、さらにエチルエーテル25mlを加え、軽く振り混和した後、エーテルのガスを抜いた。再び30秒間縦に激しく振り動かし、ガス抜きをした後、石油エーテル25mlを加え、同様に30秒間激しく振った。ガス抜き後、エーテル混液層と黒褐色の水層部とに分離させ、分離後エーテル混液層だけをビーカーに集めた。水層に再びエチルエーテルと石油エーテル各15mlずつの混液を加え、上記と同様に操作した後、静

置し、エーテル混液層を同様にビーカーに集めた。さらにこの操作を繰り返した。捕集したエーテル混液層に蒸留水を少し加え振り動かし、ろ過後、無水硫酸ナトリウムを加え、1晩放置後、再度ろ過した。ビーカーを100~105°Cの電気定温乾燥器中で60分間乾燥させ、デシケーターに移し1時間放冷して重量を測り、恒量になるまで繰り返した。

d) 白米中の遊離アミノ酸は、60メッシュに粉碎した白米粉500mgをエーテルで脱脂後、80%エタノール溶液で抽出し、濃縮乾固後、pH2.2のクエン酸ナトリウム緩衝液に溶解した。その後高速アミノ酸分析装置(アト-:MLC-203型)を用いて定量した。

e) 米飯付着遊離アミノ酸は、江幡ら²³⁾の方法で得た米飯を15g取り、それに蒸留水20mlを加え、35°C、6分間振とうした。その後5°C、10分間、3000rpmで遠心し、上澄8mlにエタノール32mlを加え、-20°C下で一夜放置した。これを5°C、15分間、3000rpmで遠心し、上澄30mlを取り、30°Cの湯せん器中で濃縮乾固後、遊離アミノ酸試料とした。なおアミノ酸の分析は、白米の場合と同様であった。

タンパク質、アミロースおよびアミノ酸含量は2反復の平均で示し、結合脂質含量は3反復の平均で示した。

3. 結果

(1) 登熟にともなうテクスチャーの変化

うるち米およびもち米の米飯のテクスチャー測定値のうち2次パラメーターを、第2図および第3図に示した。図中そしやく性は、1次パラメーターの硬さ、弾力性および凝集性の積で示される2次パラメーターの値であり、硬さ的要素を総合的に示すものである。また粘着性も同様に、付着性と粘りの積で示され、粘り的要素を総合的に示すものである。さらに食味指数は、そしやく性と粘着性の積で示される値で、江幡ら^{21, 22, 23, 24)}によつて、硬さと粘りの調和のとれたうるち米米飯の食味性を示すのに適した指標として用いられてきたものである。なおもち米はうるち米のような調理方法がとられないので、もち米についての食味指数は省略した。

うるち米では、そしやく性値は登熟初期に非常に高いが、登熟が進むにつれ急速に減少し、その後一定値となった。逆に粘着性値は登熟初期には小さいが、登熟にともない増加し、出穂後35日目に両品種とも最大値となり、その後わずかに減少した。食味指数値の変化は粘着性値の変化と類似しており、登熟初期には小さいが、出穂後35日目に最大値となり、その後やや減少した。これらの傾向は江幡ら²³⁾の結果とよく一致した。

次にもち米のテクスチャーをみると、そしやく性値は登熟初期に非常に高く、その後減少し出穂後30~40日目以降は一定値となった。また、粘着性値は登熟初期には小さいが、その後増加し出穂後30日目以後一定値となった。これらのもち米テクスチャーの変化傾向は、先に述べたうるち米の変化傾向と全く同様であり、登熟過程におけるテクスチャーの形成機構には、うるち米ともち米の間

に本質的な差異はないように思われた。ただし登熟期間を通じ、もち米のそしゃく性値はうるち米に比べかなり低い値を、粘着性値は逆に高い値を示した。さらに、もち米はうるち米と比較して、テクスチャーの品種間差異は小さい傾向であった。

(2) 登熟にともなう化学成分の変化

第4図に、登熟にともなうタンパク質含有率の変化を示した。なお、図中タンパク質含有率とは、難溶性タンパク質含有率と水溶性タンパク質含有率を合計したものである。タンパク質含量は出穂後15日目には高い含有率を示したが、登熟が進むにつれて減少し、出穂後30～35日目以降はほぼ一定値となった。このタンパク質含有率の減少は、主に米粒タンパク質の大部分を占める難溶性タンパク質の減少によるものであり、水溶性タンパク質の変化は小さかった(第5図)。これらの結果は、長戸ら⁶⁵⁾の結果と一致するものであった。

第6図に、登熟にともなうアミロース含有率の変化を示した。うるち米では、登熟初期には高い値を示したが、登熟の進行にともない減少し、出穂後30日目以後は一定値となった。一方もち米では、登熟期間中アミロースは検出されなかった。登熟にともない、うるち米デンプンのアミロース含量は増加するという報告は多い^{3, 6, 46, 82, 88)}。しかしながら、これらの報告の多くは開花後およそ5日目以降に行われたものである。Asaokaら³⁾は、もち米デンプンでは登熟期間中アミロースは検出されず、うるち米デンプンではアミロース含量は開花後5日目から17日目までは増加するが、その後減少すると報告している。その理由として、デンプン粒内へのアミロー

スの蓄積はアミロペクチンより早く終るためとしている。本実験は出穂後15日目以降のみの試料でアミロースを測定しており、本実験の結果はAsaokaら³⁾の結果とほぼ一致するものであった。

第7図には、登熟にともなう結合脂質含有率の変化を示した。うるち米、もち米とも出穂後15日目には高い値を示したが、登熟が進むにつれ減少し、出穂後30日目以降は一定値となった。この結果は、登熟にともなう小麦の結合脂質 (bound lipids) の変化と一致するものであった⁴⁷⁾。しかしChoudhury and Juliano¹²⁾は、玄米では登熟にともない結合脂質 (fat-by-hydrolysis) 含有率は増加すると報告しており、白米を用いた本実験の結果とは異なった。またうるち米はもち米と比較して、結合脂質含有率はかなり高い値を示し、減少程度も大きいことが認められた。

(3) テクスチャーと難溶性タンパク質、アミロースおよび結合脂質含有率との関係

うるち米では、テクスチャーのそしゃく性と難溶性タンパク質、アミロースおよび結合脂質含有率との間には高い正の相関が認められた。一方、粘着性および食味指数との間には、高い負の相関が認められた。もち米でも、そしゃく性と難溶性タンパク質および結合脂質との間には、かなり高い正の相関が、粘着性との間にはかなり高い負の相関が認められた (第1表)。

(4) 登熟にともなう呈味成分の変化

白米の遊離アミノ酸を加水系カラムで分析した結果、17種類のアミノ酸が認められた。米飯付着の遊離アミノ酸も白米と同様であった(第2表、第3表)。この結果はCagampangら⁸⁾、松下⁵⁷⁾、岡崎・沖⁷⁵⁾、平・平⁸⁴⁾が、白米で認めたものと同様であり、さらに米飯付着の遊離アミノ酸は、岡崎・沖⁷⁵⁾が炊飯残留液中に認めたものと同様の結果であった。

第2表には登熟にともなう白米100粒当りの総遊離アミノ酸含量の変化を示した。なお白米総遊離アミノ酸含量は、白米100粒当りの17種類のアミノ酸含量の合計重を示した。総遊離アミノ酸含量は、白米で調べた松下⁵⁸⁾、さらに小麦を用いたDexter and Dronzek¹⁸⁾、Martin del Molinoら⁵⁵⁾の結果と同様に、未熟粒では非常に多く、登熟が進むにつれ急速に減少したが、後期の減少は緩慢で、成熟期以後は一定値となった。とくに減少量の激しかったアミノ酸は、グルタミン酸、アスパラギン酸、アラニン、セリンおよびバリンであった。松下⁵⁸⁾は、フェニルアラニンやプロリンも減少量が激しかったと報告しているが、本実験ではとくに顕著には認められなかった。また平・平⁸⁴⁾は、アルギニンが登熟にともない増加したと報告しているが、本実験では認められなかった。

登熟にともなう米飯100粒当りの米飯付着総遊離アミノ酸含量の変化を第3表に示した。米飯付着の総遊離アミノ酸含量も白米の場合と同様に、未熟粒では非常に多いが、登熟にともない減少した。しかしながら、過熟期まで減少し続けたという点が白米の場合とは異なった。減少量の多かったアミノ酸は、グルタミン酸、アスパラギン酸およびアラニンであった。

次にアミノ酸組成割合についてみると、グルタミン酸の割合が最も高く、次いでアスパラギン酸であった。白米では、登熟にともないアミノ酸組成割合は、とくに変化はなかった。しかし米飯付着では組成割合は大きく変化した。登熟にともない組成割合が増加したアミノ酸は、プロリン、グリシン、メチオニンおよびロイシンであり、逆に減少したのはアスパラギン酸であった。最も高い組成割合を持つグルタミン酸は登熟にともない増加し、成熟期に近い出穂後35日目に最高となり、その後やや減少した。とくにササニシキでは、この傾向が顕著であった。グルタミン酸に次いで高い組成割合を示すアスパラギン酸は、登熟にともない減少し、グルタミン酸とは対照的な動きを示した。白米に比べ、米飯付着で組成割合が高くなる傾向がみられたアミノ酸は、スレオニン、プロリンおよびリジンであり、逆に減少傾向を示したのはバリンであった。

4. 考 察

うるち米、もち米とも米飯のテクスチャーは、未熟なものほどそしゃく性で示される硬さ的要素が大きく、粘着性で示される粘り的要素は逆に低かった。しかし登熟が進むにつれ硬さを減じ粘りを増し、うるち米では出穂後35日目の成熟期頃に一定値となり、またもち米でも出穂後30~40日目以降一定値となった。タンパク質、アミロースおよび結合脂質含有率は、テクスチャーのそしゃく性値の変化と同様な変化傾向を示し、登熟初期には高く、登熟が進むにつれて減少し、出穂後30~35日目以後は一定値となった。

登熟にともなうタンパク質含量の変動は、主に難溶性タンパク質によるものであり、その含有率の減少は急速なデンプンの蓄積によ

るものと思われる。タンパク質は、デンプン粒を包囲してデンプンの膨潤、糊化を阻害すると考えられている^{7, 51)}。米粒中の難溶性タンパク質含有率が高い登熟初期は、タンパク質によりデンプンの膨潤、糊化が強く阻害され、米飯は硬く粘りが乏しいものとなるが、登熟が進みタンパク質含有率が相対的に減少すると、デンプンの膨潤、糊化が活発となり米飯の硬さは減り、粘りがでてくるものと考えられる。以上から、米粒タンパク質のうちとくに難溶性タンパク質が、米飯のテクスチャーに影響を及ぼすことが示唆された。

従来米飯の物性を支配する要因として、アミロース含量の多少から報告したものは多い^{40, 41, 42, 44, 77)}。本実験においても、うるち米ではアミロース含有率の高い日本晴の方が、ササニシキよりも硬く粘りが乏しい米飯であった。また、アミロース含有率の高い未熟期には、米飯は硬く粘りが乏しいが、登熟が進むにつれアミロース含有率が減少すると、米飯は硬さを減じ、粘りを増したことから、米飯の物性を支配する大きな要因として、従来の報告通りアミロースが考えられる。さらに、もち米のテクスチャーの品種間差異が比較的小さいのは、もち米デンプンは総てアミロペクチンで構成されていることが関連するものと思われる。しかしながら、もち米では登熟全期間を通じて、アミロースは検出されなかったにもかかわらず、未熟期にはもち米米飯は硬く粘りが乏しいが、登熟の進行とともに硬さを減じ、粘りを増した。このことから、倉沢ら^{48, 50)}も指摘しているように、アミロース含量だけでは必ずしも米飯の物性を説明できないように思われる。

結合脂質 (fat-by-hydrolysis) は、脂肪酸がデンプンのアミロースの螺旋構造と結合したもので、水の浸入を阻害してデンプンの膨

潤、糊化を妨げると考えられている^{29,30)}。未熟期には硬く粘りの乏しい米飯となったが、これには結合脂質含有率が高いことが関係し、また成熟が進むにつれ硬さを減じ、粘りを増す原因の1つとして、結合脂質含有率の減少により、デンプンの膨潤、糊化の阻害が減少することが考えられる。また、もち米ではアミロースが検出されないにもかかわらず、結合脂質は少量ではあるが存在した。アミロースのみならずアミロペクチンも幾分脂質と結合すると報告されている^{17,25,27,28,31)}ことから、結合脂質は直鎖分子であるアミロースのみならず、ミセル構造を形成しているアミロペクチンの長直鎖部分とも結合しているのではないかと考えられる。

以上から、うるち米では難溶性タンパク質、アミロース、結合脂質が相互に作用し合い、デンプンの膨潤、糊化を阻害するものと考えられる。また、アミロースを欠くもち米では、主に難溶性タンパク質、結合脂質がデンプンの膨潤、糊化阻害要因となるものと思われる。

次に呈味成分としての遊離アミノ酸についてみると、登熟にともない遊離アミノ酸含量は減少したが、とくに出穂後15日目から25日目までに急減した。これは未熟粒に多かった遊離アミノ酸が、登熟にともないグルテリン態タンパク質などの貯蔵タンパク質の急速な合成に活発に利用されるためと考えられる⁶⁵⁾。白米の遊離アミノ酸含量は成熟期まで減少し、その後は一定値となった。しかし米飯付着遊離アミノ酸含量は、過熟期まで減少し続けた。さらに白米では、登熟にともないアミノ酸組成割合はあまり変化しなかったのに対し、米飯付着では組成割合は大きく変化した。

登熟にともない、米粒中の内部からデンプンの充実が始まり、次

第に外部へと進むと考えられている。登熟初期の米粒は、いわゆる“死米”のような状態で、外側は不透明でporousな胚乳組織となっている⁹⁷⁾。このような未熟米では、まだ未完成の外側部からアミノ酸は溶出され易いものと考えられ、登熟にともない外部が完成されてくるにしたがい、アミノ酸は次第に溶出されにくくなると考えられる。以上の理由から、白米中の遊離アミノ酸と米飯付着遊離アミノ酸含量の変化が異なることが説明できるであろう。江幡ら²³⁾は、過熟米の米飯のテクスチャーは劣化することを認めている。米飯付着遊離アミノ酸含量は過熟期まで減少することから考えると、過熟の米はテクスチャーが劣化するのみならず、うま味も薄れることにより食味性は低下することが示唆された。

5 . 摘 要

登熟にともなう、うるち米およびもち米の米飯のテクスチャーの変化をタンパク質、アミロースおよび結合脂質との関係から検討した。さらに呈味要素としての視点から、登熟にともなう米飯付着遊離アミノ酸含量と組成割合を、白米の場合と比較した結果、以下の点が明らかとなった。

1. 登熟にともないテクスチャーのそしやく性値は減少し、粘着性値および食味指数値は増加し、出穂後30～40日目以降一定値となった。登熟過程におけるテクスチャーの形成機構には、うるち米ともち米の間に明らかな差異は認められなかった。
2. 登熟にともないタンパク質、アミロースおよび結合脂質含有率は、テクスチャーのそしやく性値の変化と同様に変化した。
3. 登熟初期には、米粒中のタンパク質含有率はかなり高いことか

ら、タンパク質、とくに難溶性タンパク質によりデンプンの膨潤、糊化が阻害され、未熟粒の米飯は硬く粘りが乏しいものになると考えられた。

4. アミロースもうるち米では、登熟にともなうテクスチャーの変化要因として考えられた。しかしながらもち米では、登熟期間中アミロースは検出されないにもかかわらず、テクスチャーは変化することから、アミロースはテクスチャーの変化を支配する唯一の要因ではないことが認められた。
5. 未熟期には結合脂質含有率が高いことから、結合脂質もデンプンの膨潤、糊化を妨げて米飯を硬く粘りが乏しいものにすると考えられた。以上から、うるち米ではタンパク質、とくに難溶性タンパク質、アミロースおよび結合脂質がデンプンの膨潤、糊化を阻害する上で、重要な役割を果たしているものと思われた。またアミロースを欠くもち米では、主に難溶性タンパク質、結合脂質がデンプンの膨潤、糊化阻害要因となるものと思われた。
6. 白米および米飯付着遊離アミノ酸含量は未熟米では多かったが、登熟にともない減少した。とくに米飯付着遊離アミノ酸含量は過熟期まで減少し続けた。以上から過熟米では、うま味が薄れることが示唆された。また米飯付着遊離アミノ酸の組成割合は、登熟にともないかなり変化した。白米ではほとんど変化しなかった。

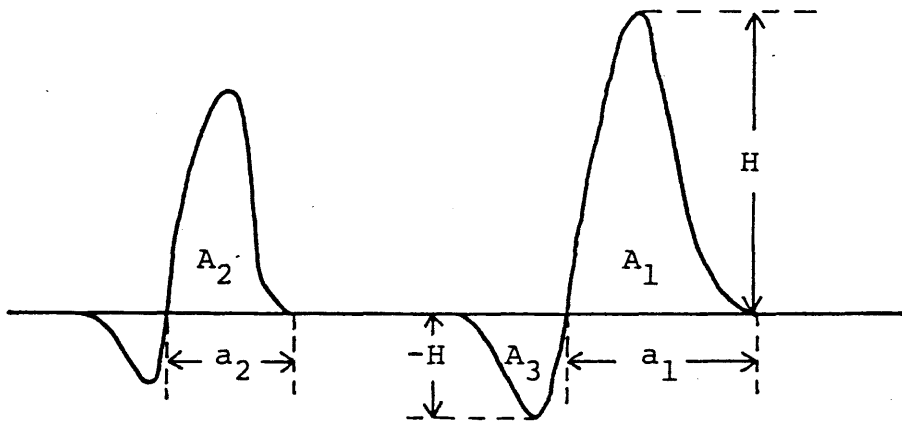


Fig.1. A typical time-course curve of texturogram and the mechanical parameters obtained from the texture profile.

H:Hardness, Area ratio of A_2/A_1 :Cohesiveness, a_2/a_1 : Springiness, Area A_3 :Adhesiveness, $-H$:Viscousness, $H \times A_2/A_1 \times a_2/a_1$:Chewiness, $\sqrt{A_3} \times (-H)$:Stickiness.

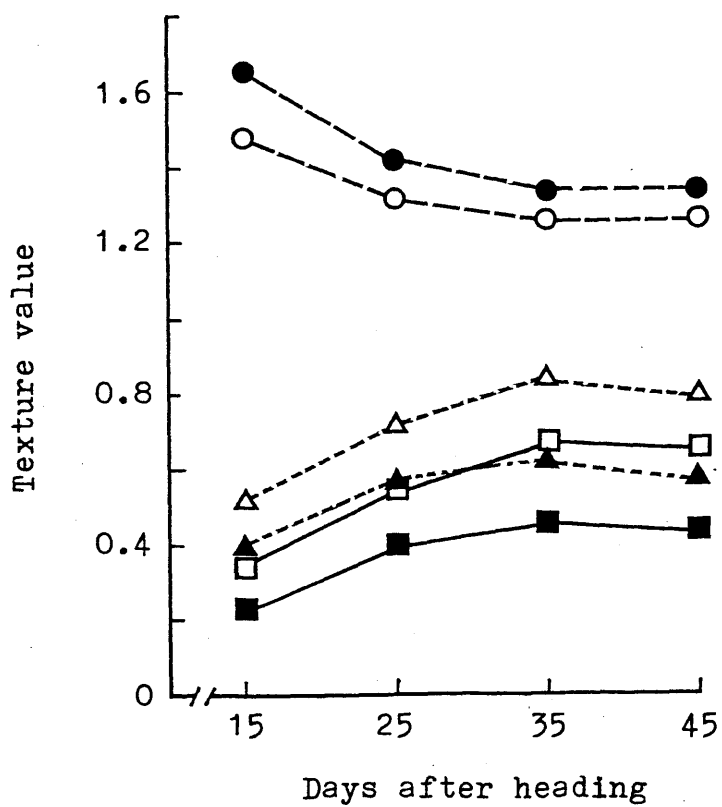


Fig. 2. Changes in chewiness, stickiness and the textural palatability index during grain development of nonwaxy rice

○, △, □, Sasanishiki;

●, ▲, ■, Nipponbare.

---:chewiness, —:stickiness,

.....:textural palatability index.

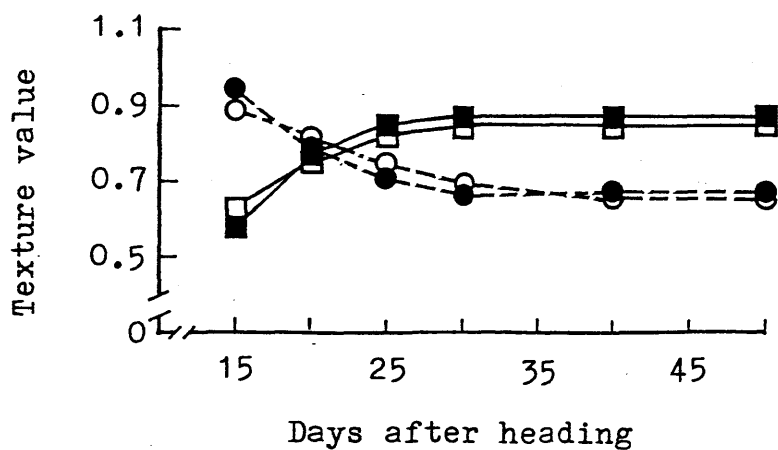


Fig. 3. Changes in chewiness and stickiness during grain development of waxy rice.

○, □, Koganemochi;

●, ■, Iwaimochi.

--- :chewiness, — :stickiness.

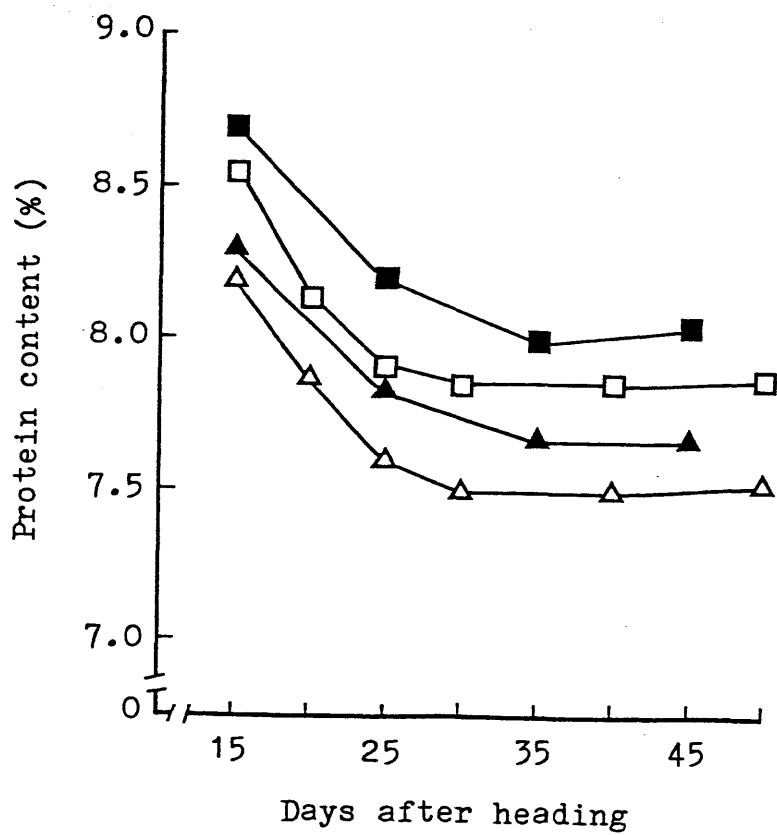


Fig. 4 . Changes in the total protein content of milled rice during grain development.

■, Sasanishiki; ▲, Nipponbare;

□, Koganemochi; △, Iwaimochi.

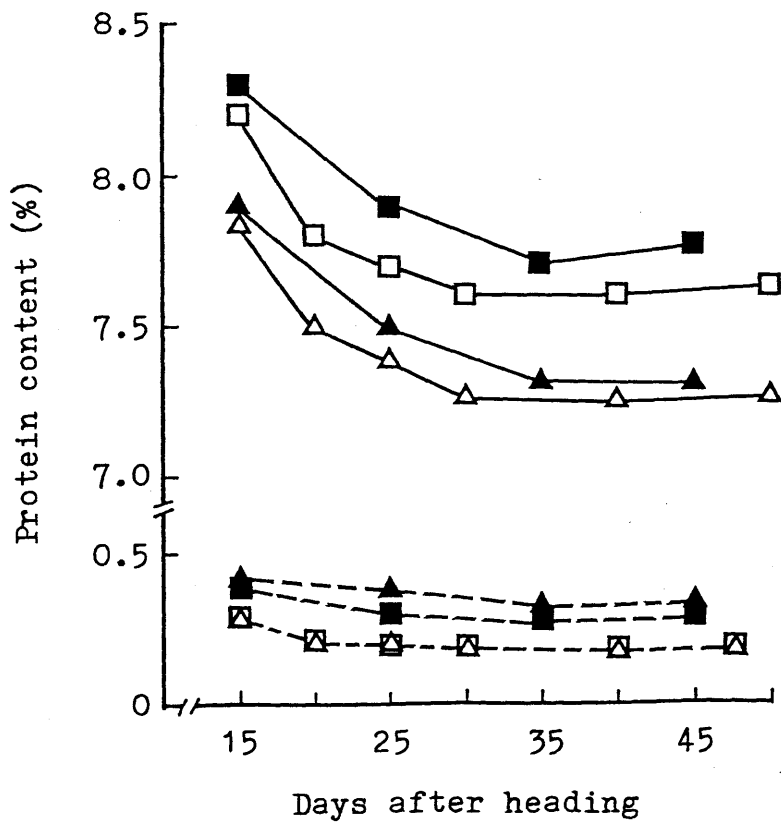


Fig. 5. Changes in the water-insoluble and water-soluble protein contents of milled rice during grain development.

—:water-insoluble protein,

----:water-soluble protein.

Symbols are the same as those in Fig. 4 .

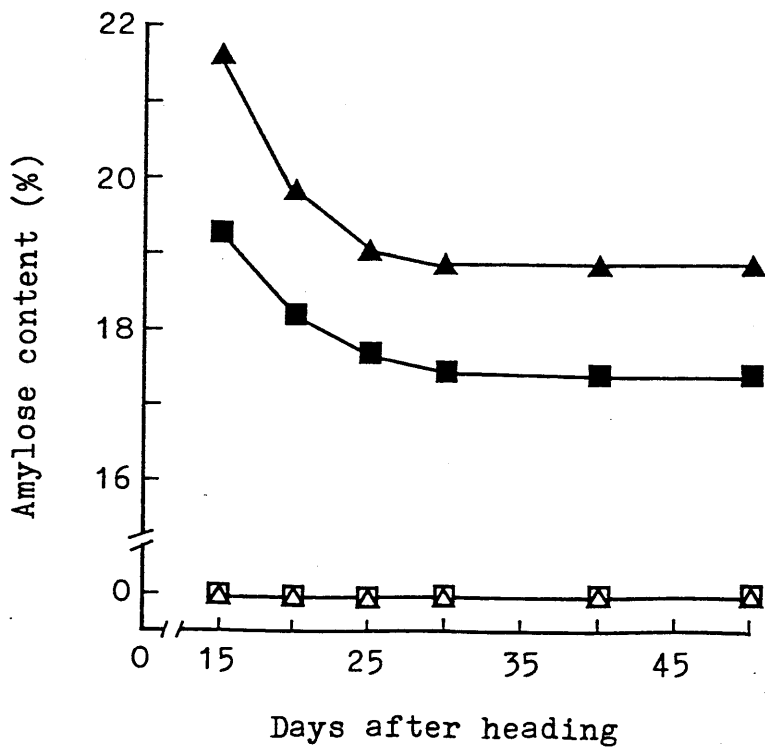


Fig. 6. Changes in the amylose content in rice starch during grain development.

Symboles are the same as those in Fig. 4.

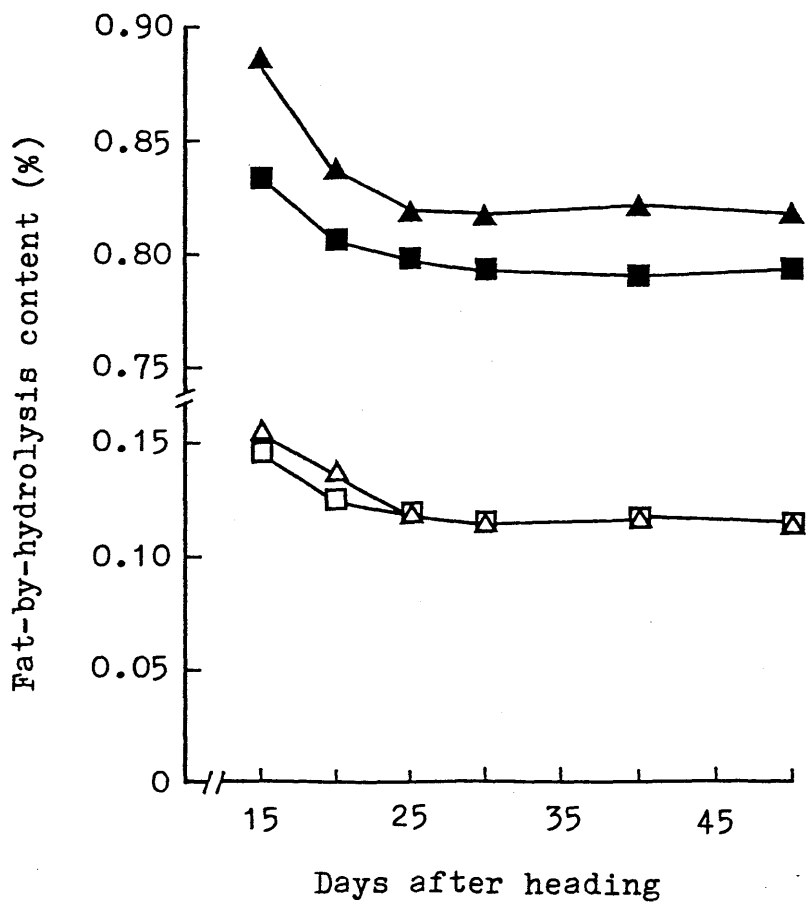


Fig. 7. Changes in the fat-by-hydrolysis content in rice starch during grain development.

Symboles are the same as those in Fig. 4 .

Table 1. Correlations between textural parameters and water-insoluble protein, amylose, fat-by-hydrolysis contents.

Textural Parameters	Sasanishiki			Nipponbare			Koganemochi			Iwaimochi		
	WIPC	AC	FBHC	WIPC	AC	FBHC	WIPC	AC	FBHC	WIPC	AC	FBHC
chewiness	0.976	0.998**	0.993**	0.987*	0.972	0.952	0.938**	—	0.944**	0.993***	—	0.985***
stickiness	-0.932	-0.901	-0.913	-0.977	-0.947	-0.925	-0.994***	—	-0.976**	-0.978***	—	-0.928**
T P I	-0.862	-0.823	-0.831	-0.889	-0.925	-0.839	—	—	—	—	—	—

Note: 1) WIPC; Water-insoluble protein content, AC; Amylose content, FBHC; Fat-by-hydrolysis content, TPI; Textural palatability index.

2) n=4(Sasanishiki, Nipponbare), n=6(Koganemochi, Iwaimochi).

3) *, **, *** indicate significant differences at 5%, 1%, 0.1% level, respectively.

Table 2. Changes in free amino acids in 100 milled rice kernels during grain development.

Amino Acids	Nipponbare								Sasanishiki							
	15*		25		35		45		15		25		35		45	
	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%
ASP	96.94	20.6	62.91	26.4	27.78	15.2	48.95	23.9	107.76	16.0	75.61	20.6	69.67	23.0	54.81	19.3
THR	9.35	2.0	4.38	1.9	3.42	1.9	3.15	1.5	13.89	2.0	7.42	2.0	5.10	1.7	5.12	1.8
SER	28.42	6.0	16.62	7.0	11.66	6.4	14.75	7.2	50.72	7.5	26.50	7.2	21.32	7.0	21.14	7.4
GLU	192.59	40.9	90.84	38.1	82.85	45.4	83.30	40.7	226.58	33.6	148.08	40.4	126.98	41.9	119.09	42.0
PRO	8.10	1.7	4.26	1.8	3.53	1.9	4.08	2.0	20.49	3.0	8.44	2.3	6.86	2.3	7.03	2.5
GLY	13.02	2.8	5.05	2.1	4.83	2.6	4.78	2.3	29.44	4.4	9.27	2.5	5.45	1.8	6.57	2.3
ALA	58.41	12.4	20.02	8.4	26.26	14.4	17.51	8.5	79.38	11.8	34.29	9.4	20.35	6.7	23.43	8.3
CYS	0.22	0.1	0.33	0.1	0.27	0.1	0.25	0.1	0.56	0.1	0.29	0.1	0.78	0.2	1.85	0.6
VAL	16.93	3.6	8.45	3.6	4.60	2.5	7.47	3.7	44.28	6.6	13.40	3.7	12.13	4.0	10.24	3.6
MET	1.89	0.4	0.96	0.4	0.95	0.5	0.53	0.3	2.00	0.3	2.01	0.6	1.77	0.6	1.56	0.5
ILE	5.11	1.1	3.13	1.3	1.92	1.1	2.22	1.1	13.17	1.9	5.19	1.4	4.60	1.5	3.57	1.3
LEU	5.02	1.1	2.82	1.2	2.40	1.3	2.17	1.1	10.76	1.6	4.94	1.3	3.43	1.1	4.16	1.5
TYR	7.61	1.6	3.52	1.5	2.76	1.5	2.71	1.3	16.23	2.4	6.64	1.8	5.58	1.8	5.17	1.8
PHE	7.78	1.6	4.28	1.8	1.88	1.0	2.63	1.3	14.25	2.1	5.77	1.6	4.61	1.5	4.46	1.6
LYS	4.76	1.0	2.69	1.1	1.43	0.8	2.28	1.1	9.09	1.3	4.84	1.3	4.26	1.4	4.01	1.4
HIS	5.93	1.3	2.89	1.2	2.46	1.4	2.53	1.2	12.73	1.9	5.46	1.5	4.15	1.4	4.82	1.7
ARG	8.53	1.8	5.05	2.1	3.63	2.0	5.60	2.7	23.67	3.5	8.25	2.3	6.33	2.1	6.83	2.4
TOTAL	470.61	100.0	238.20	100.0	182.63	100.0	204.91	100.0	675.00	100.0	336.40	100.0	303.40	100.0	283.86	100.0

Note. *: Days after heading

Table 3. Changes in free amino acids in the exterior of 100 cooked rice kernels during grain development.

Amino Acids	Nipponbare								Sasanishiki							
	15 *		25		35		45		15		25		35		45	
	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%
ASP	13.79	29.0	5.98	27.2	3.75	23.7	1.60	17.0	15.33	27.2	6.71	19.9	3.30	16.5	2.74	16.7
THR	1.91	4.0	0.71	3.2	0.38	2.4	0.36	3.8	2.84	5.0	0.84	2.5	0.32	1.6	0.31	1.9
SER	2.33	4.9	0.98	4.5	0.57	3.6	0.49	5.2	2.48	4.4	1.76	5.2	0.85	4.3	0.81	4.9
GLU	15.25	32.1	8.12	36.9	6.55	41.3	3.20	33.9	17.95	31.9	14.37	42.7	9.82	49.2	7.04	42.8
PRO	1.51	3.2	1.25	5.7	0.94	5.9	0.86	9.1	1.73	3.1	1.49	4.4	1.33	6.7	1.34	8.1
GLY	1.17	2.5	0.52	2.4	0.50	3.2	0.43	4.6	1.32	2.3	0.80	2.4	0.46	2.3	0.49	3.0
ALA	5.04	10.6	1.27	5.8	1.14	7.2	0.93	9.9	6.85	12.2	2.88	8.6	1.28	6.4	1.34	8.1
CYS	—	—	—	—	0.02	0.1	0.01	0.1	—	—	—	—	0.03	0.1	—	—
VAL	1.29	2.7	0.40	1.8	0.20	1.3	0.13	1.4	1.33	2.4	0.65	1.9	0.25	1.2	0.29	1.8
MET	0.23	0.5	0.16	0.7	0.12	0.8	0.10	1.0	0.32	0.6	0.24	0.7	0.13	0.6	0.14	0.8
ILE	0.56	1.2	0.30	1.4	0.17	1.1	0.10	1.0	0.57	1.0	0.36	1.1	0.19	1.0	0.19	1.2
LEU	0.68	1.4	0.40	1.8	0.29	1.8	0.22	2.3	0.82	1.4	0.62	1.8	0.32	1.6	0.33	2.0
TYR	0.60	1.3	0.31	1.4	0.21	1.3	0.14	1.5	0.67	1.2	0.46	1.4	0.24	1.2	0.22	1.3
PHE	0.55	1.2	0.30	1.4	0.17	1.1	0.15	1.6	0.73	1.3	0.41	1.2	0.23	1.2	0.21	1.3
LYS	1.59	3.3	0.62	2.8	0.36	2.3	0.26	2.8	1.85	3.3	0.99	2.9	0.55	2.8	0.47	2.9
HIS	0.38	0.8	0.27	1.2	0.15	0.9	0.12	1.3	0.53	0.9	0.37	1.1	0.22	1.1	0.18	1.1
ARG	0.61	1.3	0.40	1.8	0.32	2.0	0.33	3.5	1.00	1.8	0.75	2.2	0.44	2.2	0.35	2.1
Total	47.49	100.0	21.99	100.0	15.84	100.0	9.43	100.0	56.32	100.0	33.70	100.0	19.96	100.0	16.45	100.0

Note. *: Days after heading

—; not detected.

第 3 章 登熟条件が米質に及ぼす影響

1. 緒言

米の品質は登熟期の環境条件により大きく影響を受ける。穂揃期の窒素追肥は、白米のタンパク質含量に影響を及ぼし、追肥量の増加にともないタンパク質含有率も増加することはよく知られている^{33, 34, 59, 65, 76, 85})。しかしながら、追肥窒素量と米飯の食味性との関連から追求した研究は、官能試験では行われている^{38, 56, 102}) が、理化学的特性との関係から追求した研究は少ない^{21, 35})。

また登熟温度が米質に及ぼす影響に関する報告は多くみられる^{19, 62, 63, 96}) が、これらの報告の多くは外観的品質に関係したものであり、米飯の食味性との関係に関する報告は極めて少ない³⁵)。

そこで本章では、穂揃期窒素追肥および登熟温度が米の食味性に及ぼす影響について、米飯のテクスチャーを指標として、タンパク質、アミロースおよび結合脂質との関連から検討した。さらに米の呈味要素と考えられる遊離アミノ酸にも着目し、合わせて調査した。

2. 材料および方法

実験 1.

水稲うるち米日本晴を、1984年、1985年および1988年に1/2000 a ワグナーポットで栽培し、穂揃期に硫酸でポット当たり1984年産材料は0~1.0 g, 1985年産および1988年産材料は0~2.0 gの窒素追肥を行った。1984年産材料は遊離アミノ酸測定試料とし、1985年産材料はテクスチャーおよびタンパク質測定試料とし、また1988年産材料はタンパク質、

アミロースおよび結合脂質の測定試料とした。

白米の試料の調整およびテクスチャー測定、タンパク質、アミロース、結合脂質の分析方法は、第2章に準じた。なおタンパク質、アミロースは2反復、結合脂質は3反復の平均値で示した。

また白米中の遊離アミノ酸の分析方法も第2章に準じたが、米飯付着遊離アミノ酸の分析は、白米試料が少なくて済むように以下のように変更を加えた。すなわち白米5gに蒸留水7.3mlを加え炊飯して得られた米飯を8g取り、それに蒸留水15mlを加え、35°C、6分間振とうした。その後5°C、10分間、3000rpmで遠心し、上澄み15mlをとり、30°Cの湯せん器中で濃縮乾固後、遊離アミノ酸試料とした。なお各アミノ酸の結果は、2反復の平均値で示した。

実験2.

水稲うるち品種コシヒカリ、秋晴を1984年に、またササニシキ、日本晴を1986年および1987年に、もち品種こがねもち、祝禰は1986年および1988年にそれぞれ、1/2000aワグナーポットで栽培した。温度処理は、自然光人工気象室を用い、出穂後5日目から成熟期まで行った。処理は1984年を除いて、高温区(H区)は昼温32°C、夜温26°C、中温区(M区)は昼温26°C、夜温20°C、低温区(L区)は昼温20°C、夜温14°Cであった。1984年は、高温区は昼温30°C、夜温24°C、中温区は昼温26°C、夜温20°C、低温区は昼温20°C、夜温14°Cであった。1984年産うるち米材料は遊離アミノ酸測定試料とした。また1986年産うるち米およびもち米材料は、テクスチ

チャー測定に供し、1987年産うるち米材料および1988年産もち米材料は、タンパク質、アミロースおよび結合脂質の測定試料とした。

白米の試料の調整およびテクスチャー測定、タンパク質、アミロース、結合脂質の分析方法は、第2章に準じた。なおタンパク質、アミロースは2反復、結合脂質は3反復の平均値で示した。

また白米中の遊離アミノ酸の分析方法は第2章に、米飯付着遊離アミノ酸の分析方法は本章の実験1に準じた。なお各アミノ酸の結果は、2反復の平均値で示した。

3 . 結 果

実験1 .

穂揃期窒素追肥処理が白米タンパク質含有率に及ぼす影響を第8図に示した。なお図中タンパク質含有率とは、難溶性タンパク質含有率と水溶性タンパク質含有率を合計したものである。追肥窒素量の増加にともない米粒のタンパク質含有率は顕著に高まり、その結果1985年には6.4~9.8%、1988年には6.1~9.6%の範囲で種々の異なるタンパク質含有率の白米材料が得られた。窒素追肥により増加したタンパク質の大部分は難溶性タンパク質であり、水溶性タンパク質は僅かに増加しただけであった(第9図)。

第8図に示した1985年産の6種類の異なるタンパク質含有率を持つ材料の、米飯のテクスチャーを調べた(第10図)。そしやく性値は、タンパク質含有率の増加にともない明らかに高まった。また粘着性値は、タンパク質含有率が7%以下の低タンパク質米および9.5%以上の高タンパク質米では僅かに低下した。食味指数値

も、タンパク質含有率が7.5%以下および9.5%以上では低下し、およそ8.5%のところにピークを持つなめらかな曲線を描いた。

第11図、第12図には、第8図に示した1988年産の6種類の異なるタンパク質含有率白米の、アミロース含有率および結合脂質含有率を示した。アミロース含有率は、タンパク質含有率に影響されずほぼ一定であった。山下・藤本¹⁹²⁾も、ヨウ素呈色度は追肥窒素量の違いにより差はほとんどみられなかったと報告しており、本実験の結果と一致するものであった。また結合脂質含有率もアミロース含有率同様、タンパク質含有率には影響されなかった。

穂揃期窒素追肥処理が、白米および米飯付着総遊離アミノ酸含量に及ぼす影響を第13図に示した。追肥量の増加にともない白米のタンパク質含有率は増大した(6.5%~9.7%)。白米および米飯付着の総遊離アミノ酸含量は、タンパク質含有率が7%以下および9.5%以上の範囲で減少する傾向がみられた。また白米および米飯付着の各遊離アミノ酸含量も、総遊離アミノ酸含量と同じタンパク質含有率の範囲で減少する傾向がみられた。しかしながら、組成割合については追肥量に必ずしも影響されなかった(第4表、第5表)。

実験2.

登熟温度が米飯のテクスチャーに及ぼす影響を第6表に示した。うるち米では、低温区の米飯はそしやく性値が顕著に大きく、粘着性値はかなり小さかった。また食味指数値も低かった。しかし、高温区と中温区の差異は僅少であった。一方、もち米米飯のテクスチャーは登熟温度に影響されず、各処理区で差異はとくにみられなかった。

登熟温度とアミロース含有率との関係は、うるち米では、アミロース含有率は低温区で最も高く、中温区、高温区の順に低くなった。とくに低温区では、中温区、高温区に比べアミロース含有率は顕著に増加した（第7表）。低温下ではうるち米デンプンのアミロース含有率が高まることは、多くの研究者が認めている^{1, 2, 3, 32, 35, 66}。もち米ではアミロースは総ての処理区で検出されなかった。また結合脂質含有率もアミロース含有率同様、うるち米では低温区で最も高く、中温区、高温区の順に低くなった。しかしもち米では、各処理区で有意な差は認められなかった（第7表）。

登熟温度とタンパク質含有率との関係は、うるち米、もち米とも低温区で含有率は最も低く、次いで中温区、高温区の順に高くなり、アミロースおよび結合脂質含有率とは逆の傾向であった（第7表）。

登熟温度と白米および米飯付着総遊離アミノ酸含量との関係を第14図に示した。低温登熟米は中、高温登熟米に比べ、白米および米飯付着総遊離アミノ酸含量はやや高くなった。また、各遊離アミノ酸含量およびアミノ酸組成割合に関しては、登熟温度による大きな影響はみられなかった（第8表、第9表）。

4 . 考 察

従来^{38, 56, 102}の官能試験の結果では、低タンパク質含有率の米ほど食味は良く、タンパク質含有率が高くなるほど食味は悪くなると報告されている。しかしながら江幡・柴田²¹は、タンパク質含有率は高過ぎても低過ぎても食味は悪化するとしている。本実験の結果、江幡・柴田²¹の報告と同様に著しい低タンパク質米や高タンパク質米は、テクスチャーからみて不味となる傾向が示唆された。タ

ンパク質は、デンプン粒を包囲してデンプンの膨潤、糊化を阻害すると考えられており^{7, 51)}、タンパク質含有率が高いときは、デンプンの膨潤、糊化が抑制され、米飯は硬く粘りが乏しいものになると考えられる。逆にタンパク質含有率が過度に低いときには、軟らかすぎて粘りが無い米飯ができた。第2章で、タンパク質含有率が高い未熟米は、テクスチャーは劣化することを認めている。これらの結果からタンパク質、とくに難溶性タンパク質は、米飯のテクスチャーに対し重要な役割を演じていることが示唆された。市販されている白米の平均的なタンパク質含有率は、日本食品標準成分表⁴⁵⁾によれば約8%である。食味指数値とタンパク質含有率から判断すると、食味指数値が高いタンパク質含有率の範囲は比較的広く、7.5%~9.5%の範囲であった。このことから考えると、通常の市販米はタンパク質含有率の点からは、食味に大きな差異が存在するとは考えにくい。しかしながら、高タンパク質米や、とくに多量の晩期追肥によってタンパク質含有率が10%を越えるような場合、また強い秋落ち的生育で登熟期の稲体の窒素レベルが異常に低下した場合などでは、米の食味的低下が起こることが示唆された。

米飯の物性を支配する要因として、従来アミロース含量の多寡から検討した報告は多い^{40, 41, 42, 44, 77)}。本実験の結果、アミロース含有率はタンパク質含有率に影響されずほぼ一定であったことから、穂揃期窒素追肥処理がデンプンの組成に及ぼす影響は非常に小さく、アミロース含有率のみで米飯のテクスチャーを説明するのは困難であると思われる。山下・藤本¹⁰²⁾も、窒素の施用量の違いがデンプンの性質に及ぼす影響は、食味を変化させる主要因とならなかったと報告しており、本実験の結果を裏付けるものであった。

さらに米飯の物性を支配する要因として結合脂質も考えられる²⁹、³⁰)。本実験の結果、結合脂質含有率はアミロース含有率と同様、タンパク質含有率に影響されなかったことから、結合脂質が米飯のテクスチャーに及ぼす影響は、非常に小さいと考えられる。以上からアミロースおよび結合脂質含有率の変化が小さいときには、タンパク質、とくに難溶性タンパク質が米飯のテクスチャーに主として影響を及ぼすことが示唆された。

さらに穂揃期の窒素追肥の影響により、白米のタンパク質含有率が7%以下および9.5%以上では、白米および米飯付着遊離アミノ酸含量は少なくなった。米飯のテクスチャー、とくに粘着性も同じ範囲のタンパク質含有率のときに低下することが認められた。したがって、遊離アミノ酸の溶出性は、テクスチャーの粘り的要素と密接な関係があることが示唆された。また著しい低タンパク質米や高タンパク質米は、テクスチャーの面から食味が劣る傾向を示したが、うま味の面からも劣ることが示唆された。

次に登熟温度が米飯のテクスチャーに及ぼす影響をみると、うるち米では、低温区の米飯は明らかに硬く粘りが乏しいものとなった。しかし高温区と中温区の差異は僅少であった。食味指数値も低温区で低く、平均気温17°C程度のかなり著しい低温下で実ると、硬く粘りが乏しい不味な食味の粒質となることが示唆された。従来、高温下で登熟する早期栽培米は”まずい”と言われている¹⁰⁹)が、テクスチャーからみる限り、高温登熟米と中温登熟米の差はほとんど無いことが認められた。早期栽培米が”まずい”と言われてきた原因として、用いられた品種、玄米の外観の悪さ^{60, 61, 109})、つき減りが大きく歩留まりが落ちる^{60, 61})といったことが関係しているの

ではないかと考えられる。一方、もち米米飯のテクスチャーは登熟温度に影響されないことから、もち米の食味性はうるち米に比べてかなり安定していると考えられる。

アミロース含有率は、うるち米では低温登熟米で顕著に高まった。低温下ではデンプン中の α -1,6-グリコシド結合合成酵素の活性が抑制されて、アミロース含有率は高くなるのかもしれない。また結合脂質は、前述したようにアミロースと密接な関係があることから、うるち米では、アミロース含有率が低い高温登熟米では結合脂質も低含有率だが、アミロース含有率が高まる低温登熟米では、結合脂質含有率も高まるものと思われる。一方、もち米はアミロースを含まないため、うるち米に比べ結合脂質含有率の温度による影響は小さいものと思われる。第2章で、結合脂質はアミロースのみならずアミロペクチンとも結合し得ることを示唆したが、本実験においても、もち米ではアミロースが検出されないにもかかわらず、結合脂質は少量ではあるが存在したことから、本実験からも結合脂質はアミロペクチンとも結合している可能性が示唆された。

うるち米は、低温下で登熟すると米飯のテクスチャーが低下する原因として、アミロース含有率の増加とともに、結合脂質含有率が増加することが考えられる。また高温および中温登熟米の米飯のテクスチャーにあまり差が認められなかったのは、高温および中温登熟米のアミロース含有率および結合脂質含有率の差は、低温登熟米との差に比べ小さいことが関連していると思われる。一方、もち米米飯のテクスチャーには登熟温度による影響が小さい原因として、もち米デンプンは総てアミロペクチンで構成されていることが関係していると考えられる。さらに、結合脂質含有率も処理区間で有意

な差がないことも要因として考えられる。

タンパク質も米飯のテクスチャーに大きな影響を与える^{7,51)}。しかしながらうるち米では、高温登熟米はタンパク質含有率が高いが米飯のテクスチャーは優れ、逆に低温登熟米はタンパク質含有率が低いにもかかわらず米飯のテクスチャーは最も劣った。またもち米でも、タンパク質含有率は高温登熟米で高く、低温登熟米で低いが、米飯のテクスチャーに登熟温度の影響はほとんどみられなかった。

以上から、登熟温度がうるち米米飯のテクスチャーに及ぼす影響は、主としてアミロースおよび結合脂質含有率の変化によるものであり、タンパク質含有率にはほとんど影響されないと考えられた。また、アミロースを欠くもち米米飯のテクスチャーは、登熟温度に影響されにくいことがわかった。

呈味成分の点からみると、低温登熟米は中、高温登熟米に比べ白米および米飯付着遊離アミノ酸含量はやや高くなった。第2章でうるち米の未熟粒は、アミロース含有率および結合脂質含有率が高く、米飯のテクスチャーも、硬く粘りが乏しいものとなることを認めた。また遊離アミノ酸含量も多いことを認めた。一方低温登熟米も、未熟米と同様な傾向があることを本章で認めた。以上の点から考えると、低温登熟米は、やや未熟米的性質を残していると考えられることができる。逆に高温下で登熟すると、登熟が早く進行し、米粒はやや過熟米的性質を示すため、遊離アミノ酸含量は低くなるのであろう。

5 . 摘 要

穂揃期窒素追肥ならびに登熟温度が米飯のテクスチャーに及ぼす影響を、タンパク質、アミロースおよび結合脂質含有率の点から検討した。さらに呈味要素の点から、白米および米飯付着遊離アミノ酸についても合わせて検討した結果、以下の点が明らかとなった。

1. 穂揃期窒素追肥処理により、白米タンパク質含有率は増加した。とくに難溶性タンパク質において顕著であった。米飯のテクスチャーのそしやく性値は、タンパク質含有率の増加にともない明らかに増加した。粘着性値および食味指数値は、タンパク質含有率が7%以下および9.5%以上の範囲において低くなった。アミロースおよび結合脂質含有率は、タンパク質含有率と関係がみられなかった。以上から、アミロースおよび結合脂質含有率の変化が小さいときには、米飯のテクスチャーは、タンパク質、とくに難溶性タンパク質に強く影響されることが示唆された。
2. タンパク質含有率が7%以下および9.5%以上では、白米および米飯付着遊離アミノ酸含量は低くなることから、著しい低タンパク質米や高タンパク質米では、テクスチャーの低下のみならず、うま味も劣ることが示唆された。
3. 登熟温度処理により、うるち米は低温ではそしやく性値が顕著に大きくなり、粘着性値および食味指数値は顕著に小さくなった。しかしもち米では、これらの傾向はみられなかった。アミロースおよび結合脂質含有率は、うるち米では低温下では高くなったが、もち米では変化がみられなかった。またタンパク質含有率は、うるち米、もち米とも低温下では逆に減少した。以上から登熟温度がうるち米米飯のテクスチャーに及ぼす影響は、アミロースおよ

び結合脂質含有率の変化によるものであり、タンパク質含有率には影響されないことが認められた。またもち米米飯のテクスチャーは、登熟温度に影響されないことがわかった。

4. 低温登熟米は、白米および米飯付着遊離アミノ酸含量はやや多くなった。テクスチャーおよび遊離アミノ酸含量などの点から考えると、低温登熟米はやや未熟米的性質を残しているものと考えることができた。

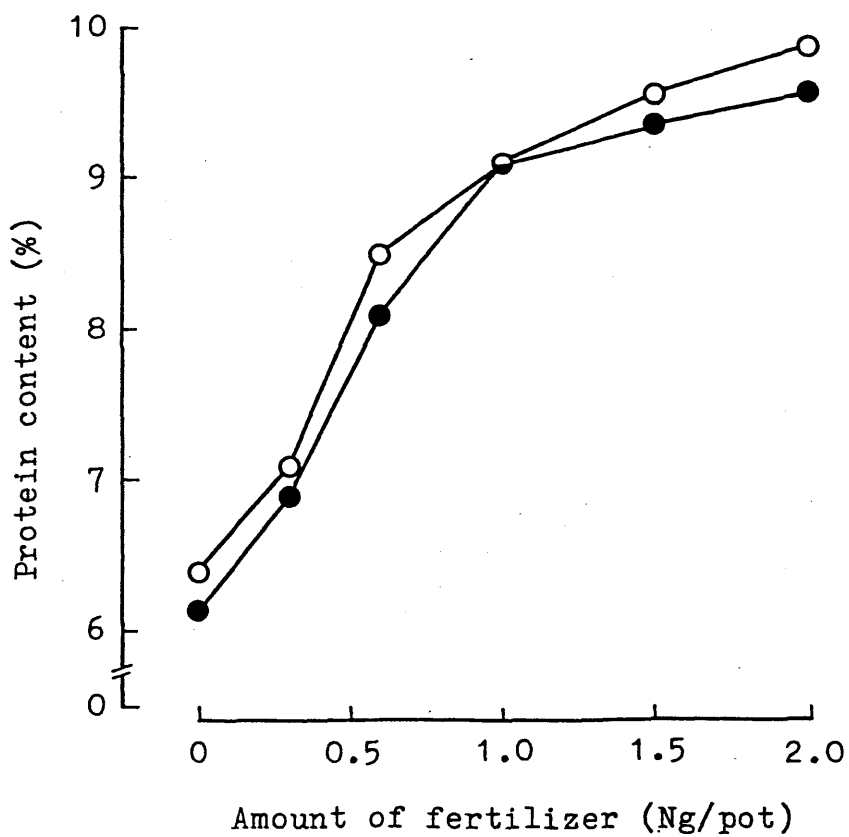


Fig. 8 . Effect of nitrogen top-dressed at full heading time on the total protein content of milled rice.

○ ;1985, ● ;1988.

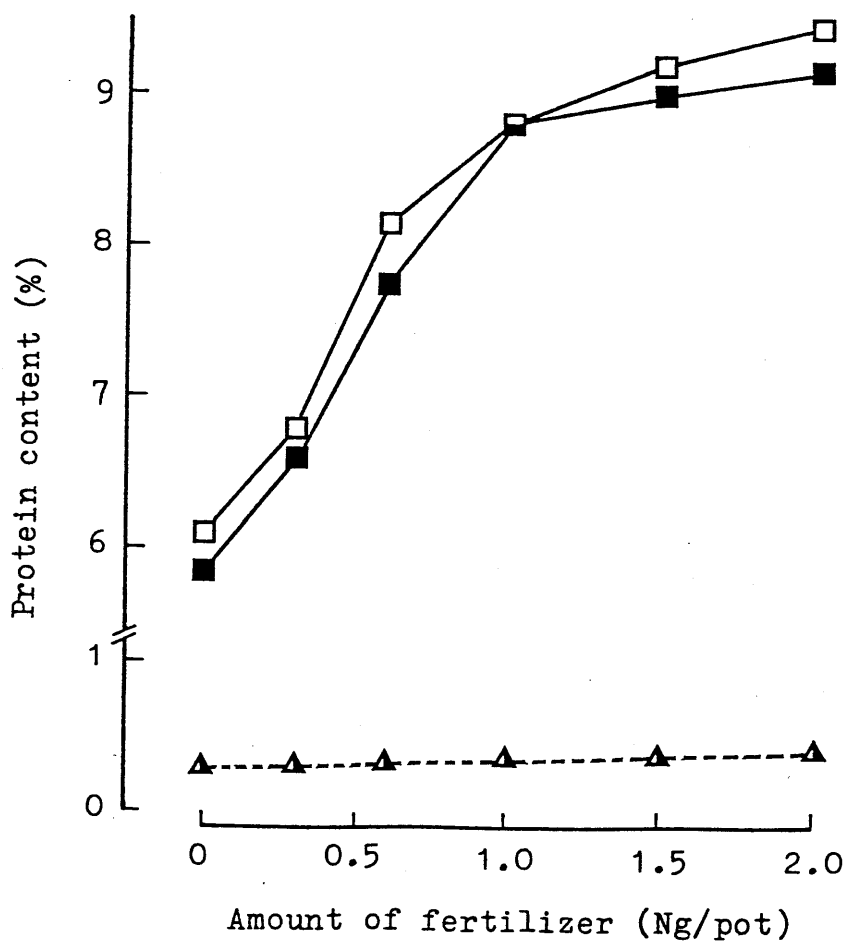


Fig. 9. Effect of nitrogen top-dressed at full heading time on the water-insoluble and water-soluble protein contents of milled rice.

□, △, 1985; ■, ▲, 1988.

— : water-insoluble protein,

----- : water-soluble protein.

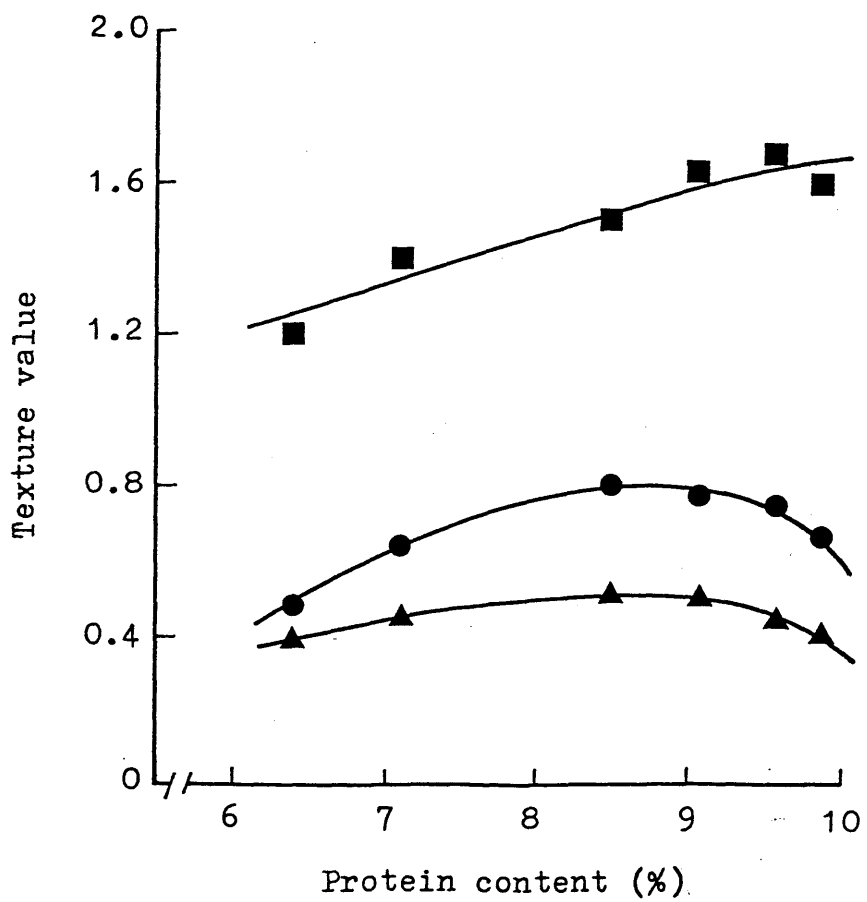


Fig.10. Relationship between the texture of cooked rice and protein content.

■ :chewiness, ▲ :stickiness,
 ● :textural palatability index.

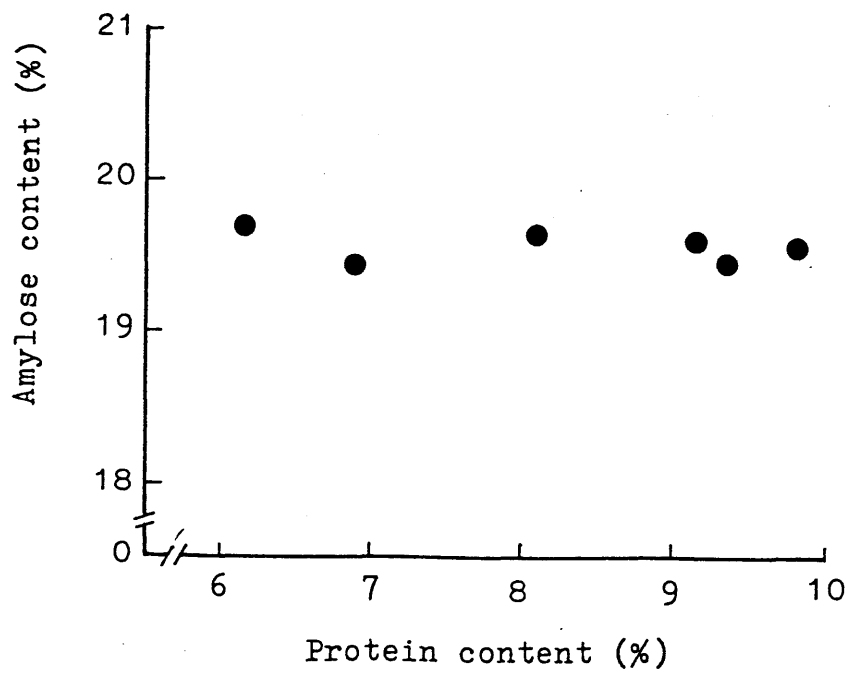


Fig. 11. Relationship between amylose content and protein content.

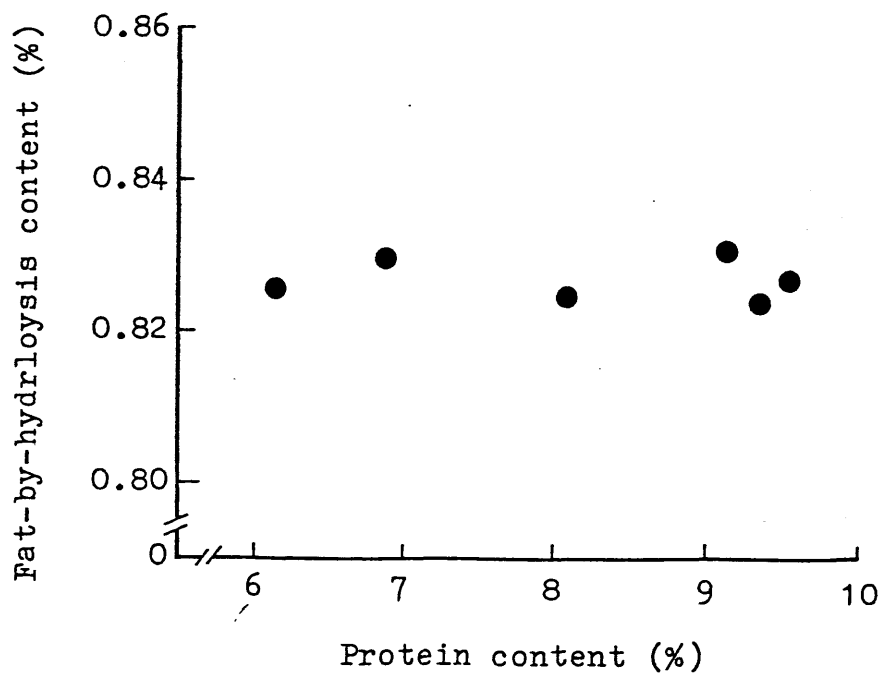


Fig. 12. Relationship between fat-by-hydrolysis content and protein content.

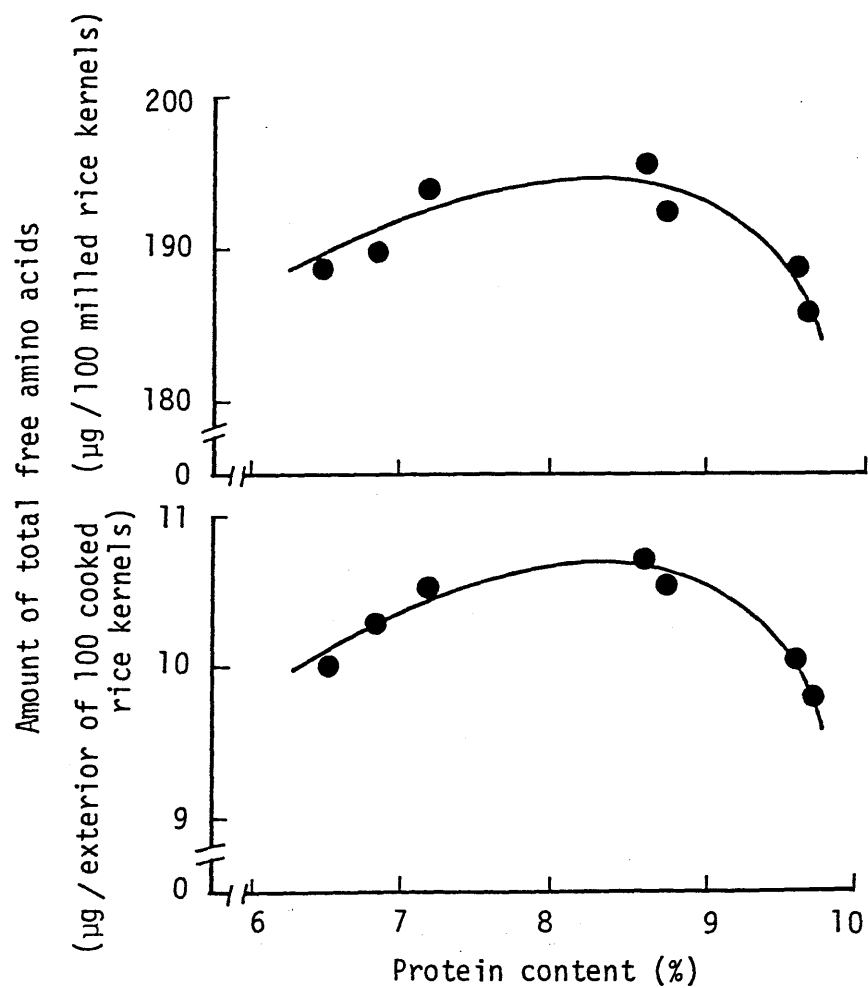


Fig. 13. Relationship between the amounts of total free amino acids and protein content in 100 milled rice kernels and in the exterior of 100 cooked rice kernels. Upper; milled rice, Lower; cooked rice.

Table 4. Effect of nitrogen top-dressed at full heading time on free amino acids in 100 milled rice kernels.

Amino Acids	Protein content (%)													
	6.50		6.85		7.21		8.59		8.74		9.60		9.73	
	μg	%	μg	%	μg	%	μg	%	μg	%	μg	%	μg	%
ASP	36.55	20.94	39.38	20.78	36.47	18.80	42.39	21.68	36.26	18.84	38.45	20.40	35.21	18.98
THR	3.26	1.70	2.71	1.43	3.37	1.74	3.32	1.70	2.55	1.32	2.94	1.56	2.13	1.15
SER	13.50	7.02	12.40	6.54	12.04	6.21	12.70	6.49	11.76	6.11	15.87	8.42	12.87	6.94
GLU	81.14	42.21	83.64	44.14	88.05	45.39	82.70	42.30	87.32	45.36	80.77	42.85	84.70	45.66
PRO	3.55	1.85	3.83	2.02	3.83	1.98	3.71	1.90	4.13	2.15	3.47	1.84	4.01	2.16
GLY	4.65	2.42	4.59	2.42	4.64	2.39	4.70	2.41	4.34	2.25	3.76	2.00	4.27	2.30
ALA	17.10	8.90	18.00	9.49	17.40	8.97	16.43	8.41	15.02	7.80	14.89	7.90	15.48	8.34
CYS	0.36	0.19	0.56	0.30	0.39	0.20	0.62	0.32	0.39	0.20	0.41	0.22	0.33	0.18
VAL	7.89	4.11	7.63	4.03	10.17	5.95	11.11	5.68	11.46	5.95	10.72	5.69	9.08	4.89
MET	1.18	0.62	0.96	0.51	0.88	0.64	1.01	0.52	1.24	0.64	1.19	0.63	1.00	0.54
ILE	1.81	0.94	1.61	0.85	1.45	0.73	1.66	0.85	1.40	0.73	1.73	0.92	1.46	0.79
LEU	2.21	1.15	2.06	1.09	1.74	1.07	1.93	0.99	2.07	1.07	2.33	1.23	2.10	1.13
TYR	3.31	1.72	1.97	1.04	2.21	1.46	2.65	1.35	2.80	1.46	3.12	1.66	2.83	1.53
RHE	2.35	1.22	2.46	1.30	1.89	1.32	2.33	1.19	2.55	1.32	2.39	1.27	1.82	0.98
LYS	1.36	0.71	2.19	1.16	1.60	0.66	2.38	1.22	1.26	0.66	1.39	0.74	1.31	0.70
HIS	3.08	1.60	2.91	1.54	3.10	1.59	3.04	1.56	3.05	1.59	3.40	1.80	2.52	1.36
ARG	5.19	2.70	2.62	1.38	4.74	2.54	2.82	1.44	4.89	2.54	1.66	0.88	4.38	2.36

Table 5. Effect of nitrogen top-dressed at full heading time on free amino acids in the exterior of 100 cooked rice kernels.

Amino Acids	Protein content (%)													
	6.50		6.85		7.21		8.59		8.74		9.60		9.73	
	μg	%	μg	%	μg	%	μg	%	μg	%	μg	%	μg	%
ASP	2.22	22.18	1.98	19.23	1.97	18.68	2.33	21.79	1.93	18.33	1.83	18.25	1.81	18.49
THR	0.38	3.84	0.35	3.38	0.37	3.55	0.45	4.16	0.33	3.15	0.33	3.26	0.32	3.31
SER	0.49	4.92	0.49	4.77	0.45	4.25	0.46	4.26	0.43	4.12	0.41	4.11	0.47	4.81
GLU	3.42	34.22	3.29	31.90	3.94	37.35	3.59	33.53	3.80	36.01	3.90	38.82	3.79	38.64
PRO	1.01	10.09	1.27	12.31	1.28	12.11	1.47	13.72	1.50	14.21	1.47	14.61	1.07	10.90
GLY	0.30	3.02	0.39	3.74	0.34	3.18	0.34	3.17	0.33	3.09	0.28	2.74	0.30	3.10
ALA	1.02	10.19	1.12	10.87	0.91	8.67	0.86	8.02	0.94	8.95	0.60	6.00	0.91	9.25
CYS	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
VAL	0.12	1.18	0.22	2.10	0.14	1.35	0.15	1.44	0.17	1.57	0.13	1.28	0.13	1.28
MET	0.06	0.56	0.06	0.58	0.10	0.97	0.09	0.84	0.06	0.60	0.06	0.61	0.06	0.59
ILE	0.09	0.87	0.11	1.03	0.09	0.86	0.07	0.64	0.09	0.87	0.10	0.95	0.07	0.75
LEU	0.17	1.69	0.21	2.05	0.20	1.94	0.20	1.88	0.18	1.74	0.18	1.80	0.17	1.76
TYR	0.08	0.82	0.14	1.33	0.15	1.45	0.10	0.89	0.14	1.30	0.11	1.13	0.12	1.18
PHE	0.08	0.82	0.10	0.97	0.12	1.18	0.17	1.63	0.12	1.14	0.20	1.99	0.10	1.07
LYS	0.24	2.36	0.22	2.15	0.20	1.88	0.19	1.73	0.19	1.84	0.21	2.08	0.19	1.92
HIS	0.10	0.97	0.13	1.23	0.08	0.75	0.10	0.89	0.11	1.08	0.08	0.80	0.10	1.02
ARG	0.23	2.25	0.24	2.36	0.18	1.83	0.15	1.39	0.21	2.01	0.16	1.56	0.19	1.92

Note. — ; not detected.

Table 6. Effect of air temperature during ripening period on the texture of cooked rice.

variety		Texture value		
		Chewiness	Stickiness	TPI*
Sasanishiki	H	1.08	0.45	0.49
	M	1.03	0.46	0.47
	L	1.40	0.18	0.25
Nipponbare	H	1.04	0.37	0.38
	M	1.07	0.36	0.39
	L	1.44	0.18	0.26
Koganemochi	H	0.79	0.85	—
	M	0.80	0.85	—
	L	0.75	0.83	—
Iwaimochi	H	0.78	0.87	—
	M	0.75	0.86	—
	L	0.80	0.90	—

Note:H(32-26°C),M(26-20°C),L(20-14°C).

*:Textural palatability index.

Table 7. Effect of air temperature during ripening period on amylose, fat-by-hydrolysis and protein contents.

Variety		Starch		Protein(%)
		Amylose(%)	Fat-by-hydrolysis(%)	
Sasanishiki	H	16.51	0.793±0.008*)	8.49
	M	17.67	0.800±0.002	8.15
	L	20.83	0.812±0.005	7.68
Nipponbare	H	17.20	0.806±0.004	8.05
	M	18.95	0.813±0.002	7.43
	L	22.18	0.826±0.005	7.28
Koganemochi	H	0	0.153±0.004	8.24
	M	0	0.152±0	7.79
	L	0	0.151±0.005	7.45
Iwaimochi	H	0	0.147±0.004	7.72
	M	0	0.151±0.005	7.28
	L	0	0.147±0.002	7.00

Note:H(32-26°C),M(26-20°C),L(20-14°C).

* :means±S.E.

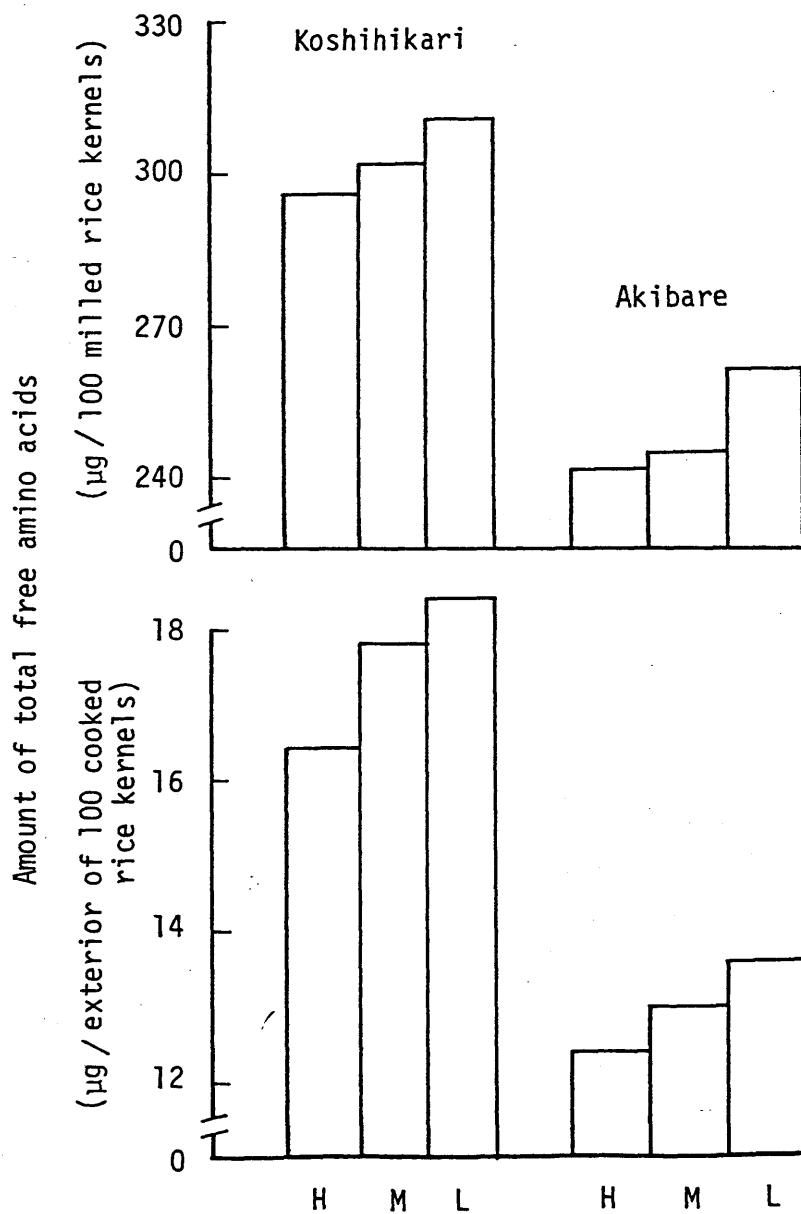


Fig.14. Effects of air temperature during ripening period on the amounts of total free amino acids in 100 milled rice kernels and in the exterior of 100 cooked rice kernels.

Upper;milled rice, Lower;cooked rice.

H (32-26°C), M (26-20°C), L (20-14°C).

Table 8. Effect of air temperature during ripening period on free amino acids in 100 milled rice kernels.

Amino Acids	Koshihikari						Akibare					
	H		M		L		H		M		L	
	μg	%	μg	%	μg	%	μg	%	μg	%	μg	%
ASP	85.35	28.83	88.94	29.45	80.00	25.72	49.49	20.54	55.85	22.89	60.85	23.31
THR	2.78	0.94	2.63	0.87	3.21	1.03	3.99	1.66	4.11	1.69	4.49	1.72
SER	26.68	9.01	27.36	9.06	22.85	7.35	23.99	9.96	19.74	8.09	20.54	7.87
GLU	115.50	39.02	124.21	41.13	122.13	39.27	95.59	39.67	111.16	45.56	115.04	44.08
PRO	3.27	1.11	3.64	1.20	6.04	1.94	8.10	3.36	7.88	3.23	7.73	2.96
GLY	9.34	3.16	4.86	1.61	7.81	2.51	10.67	4.43	4.48	1.83	3.79	1.45
ALA	21.65	7.31	16.47	5.45	29.22	9.40	14.29	5.93	11.91	4.88	15.85	6.07
CYS	1.35	0.46	2.98	0.99	4.14	1.33	0.94	0.39	2.87	1.18	2.44	0.94
VAL	8.82	2.98	8.85	2.93	7.86	2.53	8.46	3.51	6.82	2.80	6.48	2.48
MET	1.24	0.42	1.07	0.36	0.85	0.27	1.63	0.68	0.93	0.38	0.73	0.28
ILE	1.58	0.53	1.19	0.39	1.58	0.51	1.95	0.81	1.45	0.60	1.48	0.57
LEU	1.89	0.64	1.66	0.55	2.01	0.65	2.52	1.04	1.65	0.68	1.66	0.63
TYR	3.01	1.02	3.33	1.10	3.47	1.11	4.17	1.73	3.20	1.31	3.24	1.24
PHE	2.69	0.91	2.35	0.78	2.58	0.83	3.21	1.33	1.77	0.72	1.67	0.64
LYS	2.78	0.94	3.40	1.17	2.09	0.67	1.51	0.63	1.24	0.51	2.19	0.84
HIS	2.12	0.71	3.40	1.13	2.60	0.83	3.51	1.46	2.51	1.03	4.01	1.54
ARG	5.94	2.01	5.55	1.84	12.56	4.04	6.97	2.89	6.43	2.63	8.80	3.37

Note. H(32-26°C),M(26-20°C),L(20-14°).

Table 9. Effect of air temperature during ripening period on free amino acids in the exterior of 100 cooked rice kernels.

Amino Acids	Koshihikari						Akibare					
	H		M		L		H		M		L	
	μg	%	μg	%	μg	%	μg	%	μg	%	μg	%
ASP	5.73	34.73	6.34	35.62	7.00	38.02	2.01	16.22	2.07	15.89	2.06	15.14
THR	0.31	1.91	1.04	5.82	0.73	3.96	0.74	5.95	0.85	6.52	1.08	7.97
SER	1.08	6.55	1.18	6.62	1.21	6.57	1.22	9.84	1.39	10.70	1.24	9.09
GLU	6.40	38.80	6.04	33.95	6.57	35.70	3.89	31.36	4.08	31.40	4.52	33.26
PRO	0.76	4.58	0.70	3.95	0.82	4.46	0.94	7.57	1.15	8.84	1.10	8.08
GLY	0.19	1.17	0.45	2.55	0.32	1.76	0.74	6.00	0.63	4.81	0.41	3.04
ALA	1.02	6.16	0.85	4.80	0.74	4.04	1.50	12.11	1.21	9.31	1.13	8.32
CYS	0.02	0.15	0.08	0.46	0.04	0.19	0.03	0.22	0.09	0.70	0.12	0.90
VAL	0.12	0.73	0.13	0.76	0.12	0.66	0.17	1.38	0.22	1.71	0.18	1.31
MET	0.07	0.40	0.06	0.32	0.06	0.35	0.07	0.59	0.06	0.43	0.09	0.68
ILE	0.06	0.39	0.09	0.53	0.06	0.35	0.12	0.95	0.10	0.78	0.16	1.15
LEU	0.12	0.75	0.13	0.74	0.11	0.61	0.16	1.30	0.15	1.13	0.23	1.67
TYR	0.14	0.83	0.13	0.74	0.11	0.59	0.11	0.92	0.13	1.01	0.20	1.48
PHE	0.11	0.66	0.12	0.67	0.08	0.45	0.16	1.27	0.15	1.19	0.14	1.01
LYS	0.14	0.83	0.17	0.97	0.18	0.99	0.26	2.11	0.27	2.06	0.31	2.30
HIS	0.09	0.57	0.08	0.46	0.09	0.47	0.07	0.57	0.12	0.93	0.23	1.67
ARG	0.13	0.79	0.19	1.07	0.15	0.82	0.20	1.65	0.34	2.58	1.40	2.93

Note. H(32-26°), M(26-20°C), L(20-14°C).

第 4 章 米 質 に 及 ぼ す 品 種 間 差 異 の 影 響

1 . 緒 言

米の食味的品質は品種による差異が最も大きいことはよく知られている^{49, 50, 69)}。米飯のテクスチャーの品種間差異については、江幡ら^{22, 24)}、岡部⁷³⁾が詳細な研究を行っており、食味声価の高い品種では米飯のテクスチャー値が高いことを報告している。また呈味成分との関係では、食味の優れた品種では白米中の遊離のグルタミン酸含量が高いことから、白米中の遊離アミノ酸が呈味成分として、米の食味形成に深く関わりを持つことが指摘されている^{75, 98)}。しかし、飯を食べたとき最初に味覚として感じるのは、白米全体に含まれる呈味成分ではなく、炊飯時に炊飯液中に溶出し、炊きあがったとき米飯の表層に付着する成分ではないかと考えられる。

そこで本章では、呈味成分としての視点から白米および米飯付着遊離アミノ酸の品種間差異について、日本稲の良食味品種と普通食味品種、さらにインド稲を用いて検討した。

2 . 材 料 お よ び 方 法

日本型水稲コシヒカリ、ササニシキ（良食味品種）、日本晴、秋晴、金南風（普通食味品種）の5品種、およびインド型水稲Te-Tep、Bluebonnetの2品種、計7品種を1985年に本学実験圃場で慣行法により栽培し、成熟期に採取した。

各試料は脱穀後、試験用精米機を用いて搗精度91%程度に精白し、実験には胴割れ粒、登熟障害粒を除いた精選白米のみを用いた。また炊飯法および白米遊離アミノ酸の分析法は、第2章にしたがい、

米飯付着遊離アミノ酸の分析法は、第3章に準じた。ただし、遊離アミノ酸抽出後、pH 2.2のクエン酸ナトリウム緩衝液ではなく、pH 2.2のクエン酸リチウム緩衝液に溶解した点は異なった。

3. 結果

白米および米飯付着の遊離アミノ酸を生体系カラムで分析した結果、それぞれ23種類のアミノ酸が認められた(第10表、第11表)。白米および米飯付着の総遊離アミノ酸含量をみると、良食味品種でやや多い傾向がみられた。日本型水稻とインド型水稻を比較すると、白米、米飯付着の遊離アミノ酸ともに日本型水稻の方が高含量を示したが、白米よりも米飯付着物で明らかに高い傾向を示した。米の呈味成分と考えられているグルタミン酸含量については、白米では良食味品種でやや多い傾向がみられた。しかし米飯付着物では、良食味品種で明らかに高含量を示した。日本型水稻とインド型水稻でグルタミン酸含量を比較すると、白米、米飯付着物とも日本型水稻の方が高含量を示したが、米飯付着物の方でその傾向は大きかった。

次にアミノ酸の組成割合をみると、いずれの品種においてもグルタミン酸の割合は最も高かった。米飯付着のグルタミン酸の組成割合は、良食味品種において顕著に多いが、白米では良食味品種においてとくに高いという傾向はみられなかった。また、日本型水稻とインド型水稻を比較すると、グルタミン酸の割合は白米、米飯付着物とも日本型水稻の方が顕著に多かった。

4 . 考 察

米の呈味成分と考えられる遊離アミノ酸を品種間で比較した結果、良食味品種において総遊離アミノ酸含量およびグルタミン酸含量が高いことが認められた。従来、良食味品種では白米中のグルタミン酸含量が高いとされているが、本実験では白米よりも食味に、より関係が深いと思われる米飯付着遊離アミノ酸において、この傾向は顕著であった。以上から良食味品種の米は、炊飯時におねばとともに遊離アミノ酸、とくにグルタミン酸が溶出しやすいことがわかった。第2章および第3章で、食味の良い米はテクスチャー、とくに粘りの要素が優れていることを認めている。このことから、呈味成分の溶出のしやすさは、おねばの溶出性を通じて米飯のテクスチャーの粘りの要素と密接な関係があることが示唆された。Yamaguchi and Takahashi¹⁰⁰⁾は、呈味成分は食品が持つ他の特性、例えばテクスチャーと関係があると報告している。さらに富田ら⁹⁸⁾は、トリプシン処理を施した米を炊飯すると、米飯の粘りが増加するとともに、グルタミン酸含量も増加することを報告している。これらの結果は、食味の良い米はテクスチャーが優れているが、同時にうま味においても優れているという本実験結果を裏付けるものであった。

5 . 摘 要

呈味成分の点から、白米および米飯付着遊離アミノ酸含量の品種間差異について検討した。その結果、良食味品種の米は遊離アミノ酸含量およびグルタミン酸含量は多く、白米よりも米飯付着遊離アミノ酸においてこの傾向は顕著であることが認められた。良食味米は炊飯時に遊離アミノ酸、とくにグルタミン酸が米飯から溶出しや

すいことがわかった。以上から米の呈味成分は、炊飯時におけるおねぼの溶出性を通じて、米飯のテクスチャーの粘り的要素と密接な関係があることが示唆された。

Table 10. Varietal differences in free amino acids in 100 milled rice kernels.

Amino Acids	Koshihikari		Sasanishiki		Akibare		Nipponbare		Kinmaze		Te-Tep		Bluebonnet	
	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%
ASP	66.18	18.0	62.17	17.4	61.03	18.0	39.71	13.6	58.22	16.9	34.79	12.1	27.87	10.0
THR	3.44	0.9	3.91	1.1	3.26	1.0	3.13	1.1	3.59	1.0	5.60	2.0	4.08	1.5
SER	14.89	4.1	17.03	4.8	13.08	3.9	12.75	4.4	15.13	4.4	10.33	3.6	9.28	3.3
ASN	56.05	15.3	42.18	11.8	60.71	17.9	57.75	19.7	67.47	19.5	56.54	19.6	67.63	24.3
GLU	122.53	33.4	122.44	34.3	106.74	31.5	101.27	34.6	114.61	33.2	67.97	23.6	73.05	26.3
GLN	7.78	2.1	6.52	1.8	14.78	4.4	9.91	3.4	9.30	2.7	11.00	3.8	13.32	4.8
PRO	5.98	1.6	5.78	1.6	5.41	1.6	4.22	1.4	5.98	1.7	6.33	2.2	4.21	1.5
GLY	4.41	1.2	5.21	1.5	4.15	1.2	4.12	1.4	3.63	1.1	4.10	1.4	4.84	1.7
ALA	19.63	5.4	19.63	5.5	18.09	5.3	15.14	5.2	18.18	5.3	12.42	4.3	15.90	5.7
CITR	5.01	1.4	5.87	1.6	5.15	1.5	4.35	1.5	3.10	0.9	1.43	0.5	3.48	1.3
VAL	10.43	2.8	10.36	2.9	6.25	1.8	6.40	2.2	7.01	2.0	8.17	2.8	9.02	3.3
CYS	0.52	0.1	0.75	0.2	0.72	0.2	0.46	0.2	0.42	0.1	0.25	0.1	0.35	0.1
MET	1.17	0.3	3.35	0.9	1.24	0.4	1.29	0.4	1.18	0.3	2.50	0.9	1.37	0.5
ILEU	2.30	0.6	3.23	0.9	2.99	0.9	2.89	1.0	2.12	0.6	5.23	1.8	3.00	1.1
LEU	2.35	0.6	2.86	0.8	2.81	0.8	2.25	0.8	2.06	0.6	6.77	2.4	2.65	0.9
TYR	5.23	1.4	4.53	1.3	3.76	1.1	3.08	1.0	2.92	0.9	9.07	3.2	2.65	0.9
PHE	5.71	1.6	8.71	2.4	3.75	1.1	4.25	1.5	4.31	1.3	8.18	2.8	4.36	1.6
α-ABA	5.69	1.6	4.22	1.2	2.55	0.8	2.86	1.0	4.12	1.2	5.21	1.8	3.58	1.3
HIS	3.33	0.9	2.81	0.8	2.98	0.9	2.81	1.0	3.14	0.9	5.49	1.9	2.73	1.0
TRY	3.49	1.0	7.17	2.0	3.70	1.1	—	—	6.64	1.9	5.30	1.8	3.01	1.1
ETHAA	3.87	1.1	7.40	2.1	3.89	1.1	2.75	0.9	3.76	1.1	3.07	1.1	11.28	4.1
LYS	5.40	1.5	3.81	1.1	3.85	1.1	4.14	1.4	2.48	0.7	6.58	2.3	3.87	1.4
ARG	11.44	3.1	7.03	2.0	8.30	2.4	6.85	2.3	5.91	1.7	11.53	4.0	6.26	2.3
Total	366.83	100.0	356.97	100.0	339.19	100.0	292.38	100.0	345.28	100.0	287.86	100.0	277.79	100.0

Note. — :not detected.

Table 11. Varietal differences in free amino acids in the exterior of 100 cooked rice kernels.

Amino Acids	Koshihikari		Sasanishiki		Akibare		Nipponbare		Kinmaze		Te-Tep		Bluebonnet	
	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%	µg	%
ASP	2.77	16.1	2.40	15.7	2.28	18.5	1.55	14.5	1.74	14.7	0.61	8.4	0.48	7.6
THR	0.20	1.2	0.22	1.4	0.15	1.2	0.22	2.0	0.15	1.3	0.16	2.2	0.10	1.6
SER	0.80	4.7	0.69	4.5	0.52	4.2	0.53	4.9	0.56	4.7	0.28	3.9	0.19	3.0
ASN	1.32	7.7	0.93	6.1	1.27	10.3	1.19	11.1	1.71	14.5	0.88	12.1	0.70	11.2
GLU	6.54	38.1	5.52	36.0	4.16	33.8	3.50	32.7	3.60	30.5	1.73	23.9	1.58	25.2
GLN	0.17	1.0	0.43	2.8	0.37	3.0	0.22	2.1	0.20	1.7	0.20	2.8	0.12	1.9
PRO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.17	2.3	—	—
GLY	0.33	1.9	0.28	1.8	0.41	3.3	0.35	3.3	0.22	1.9	0.19	2.6	0.24	3.8
ALA	1.06	6.2	1.07	7.0	0.91	7.4	0.71	6.6	0.76	6.4	0.42	5.8	0.42	6.7
CITR	0.38	2.2	0.42	2.7	0.28	2.3	0.19	1.8	0.17	1.4	0.06	0.8	0.12	1.9
VAL	0.77	4.5	0.56	3.7	0.38	3.9	0.27	2.5	0.34	2.9	0.24	3.3	0.31	4.9
CYS	—	—	0.03	0.2	—	—	—	—	—	—	0.01	0.1	—	—
MET	0.17	1.0	0.19	1.2	—	—	0.19	1.8	0.13	1.1	0.09	1.2	0.08	1.3
ILEU	0.31	1.8	0.21	1.4	0.23	1.9	0.25	2.3	0.25	2.1	0.22	3.0	0.15	2.4
LEU	0.35	2.0	0.28	1.8	0.23	1.9	0.26	2.4	0.15	1.3	0.30	4.1	0.18	2.9
TYR	0.17	1.0	0.28	1.8	—	—	—	—	0.20	1.7	0.21	2.9	—	—
PHE	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	3.0	0.31	4.3	0.28	4.5
α-ABA	0.50	2.9	0.38	2.5	0.27	2.2	0.30	2.8	0.22	1.9	0.23	3.2	0.29	4.6
HIS	0.21	1.2	0.18	1.1	0.12	1.0	0.13	1.2	0.10	0.9	0.14	1.9	0.09	1.4
TRY	—	—	0.01	0.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ETHAA	0.30	1.7	0.24	1.6	0.12	1.0	0.17	1.6	0.26	2.2	0.12	1.7	0.39	6.2
LYS	0.40	2.3	0.50	3.3	0.27	2.2	0.33	3.1	0.26	2.2	0.32	4.4	0.26	4.1
ARG	0.42	2.5	0.51	3.3	0.36	2.9	0.35	3.3	0.43	3.6	0.37	5.1	0.30	4.8
Total	17.17	100.0	15.33	100.0	12.33	100.0	10.71	100.0	11.80	100.0	7.26	100.0	6.28	100.0

Note. —:not detected.

第 5 章 貯蔵にともなう米質の 変化

1. 緒言

米の食味性は古米化にともない低下していくことはよく知られている。食味性の低下は、主に米飯のテクスチャー、香り、味などに関係しているが、テクスチャーの低下と最も関係が深い⁹⁵⁾。米の成分の中では脂質の変化が最も速やかで、デンプンの変化がこれに続き、タンパク質の変化は緩やかとされている⁷⁰⁾。米の化学成分のうち、脂質はデンプン、タンパク質などに比べ含量ははるかに少ないが、この少ない脂質が、古米飯が硬く粘りが乏しくなることと関係していることが、Yasumatsuら¹⁰⁶⁾の研究により示唆された。

貯蔵と米の食味性の関係については、白米および玄米での短期貯蔵の影響を研究した例が大部分であり^{54, 73, 86, 99, 106)}、粳形態での長期にわたる貯蔵が米の食味性に及ぼす影響についての検討は、必ずしも充分ではない。

近年稲作の大規模機械化におけるコンバインの使用にともない、生粳をただちにライスセンターやカントリーエレベーターで乾燥する必要が生じた。この際、水分24%程度の生粳を、いったん18%程度の水分に乾燥し、バラ形態で一時貯留したのち再び乾燥する必要があることから、生粳形態での一時貯留に関する研究がなされるようになった。しかしそれらは外観的品質の測定^{11, 37)}、および炊飯特性に及ぼす影響⁶⁴⁾に関するものであり、テクスチュロメーターなど理化学的装置を用いて、食味性との関連から追求した報告は極めて少い¹⁰⁴⁾。

本章では貯蔵温度ならびに含水率を異にする粳米の短期貯蔵が、

炊飯特性および米飯のテクスチャーに及ぼす影響と、さらに常温貯蔵での長期貯蔵が米飯のテクスチャー、化学成分および呈味要素に及ぼす影響を調べ、貯蔵にともなう米質の変化を食味性の点から検討した。

2. 材料および方法

実験 1.

水稻品種ササニシキを1987年に本学実験圃場において慣行法により栽培した。成熟期に収穫し、生脱穀後、風選により精粗のみを選別した。

粗米試料は、常温通風乾燥器とシリカゲルを用いて、含水率を12%、15%、および18%の3通りに調整した。含水率を調整した粗米試料は、200mlのプラスチック容器に小分けして密封（各含水率当り3容器ずつ）した。5°C下で1週間貯蔵後、10°C、20°Cおよび30°Cの恒温貯蔵庫に移し、貯蔵試験を開始した。貯蔵開始日、貯蔵後30日目、60日目および90日目に容器を取り出し、試験用精米器で91%程度に搗精し、胴割れ粒、登熟障害粒を除いた精選粒のみを白米試料とし、以下の炊飯特性およびテクスチャー測定に供した。

a) 加熱吸水膨潤度：白米3gを直径1.9cm、高さ12cmの円筒型のステンレス製かご（30メッシュ）に入れ、30°Cの蒸留水中で30分間浸漬、吸水させた。その後かごを45°Cの蒸留水60mlを入れた大型試験管中につるし、電熱線で加熱炊飯した。炊飯は毎分約5°Cの割合で昇温させ10分間で98°Cに達しさせ、さらに5分間弱い煮沸を継続させる条件を設定した。炊飯終了後、

直ちにかごを取り出し飯の重量を測り、試料白米重に対する飯重を加熱吸水膨潤度とした。

b) 溶出固形物量: 上記の炊飯液を濃縮、真空乾燥した後、残存固形物量を測り、試料白米重に対する溶出固形物量を百分率で表示した。なお、加熱吸水膨潤度および溶出固形物量の各値は、いずれも2回の測定値の平均値で示した。

c) テクスチャーの測定: テクスチャーの測定は、第2章の方法に準じた。

実験 2 .

日本型うるち米4品種(コシヒカリ、ササニシキ、日本晴、秋晴)、インド型うるち米4品種(Bluebonnet、Te-Tep、Kousen、Century Patna)およびもち米3品種(祝糯、こがねもち、シンツルモチ)を、1981、1982、1983、1984そして1987年に同一条件で本学実験圃場において慣行法により栽培し、成熟期に収穫した。なお試料は野外の収納庫内において粳米の状態、0、1、2、3および6年間常温貯蔵したものである。したがって貯蔵年数の違いは栽培年度の差異によるものである。粳米試料は実験時に試験用精米機で91%程度に搗精し、胴割れ粒、登熟障害粒を除いた精選粒のみを白米試料とした。

炊飯方法は日本型うるち米およびもち米は第2章に準じたが、インド型うるち米は以下の方法で行った。すなわち25mlの蒸留水を白米10gに加え、7分間加熱した。テクスチャー測定およびタンパク質、アミロース、結合脂質、白米遊離アミノ酸の分析は第2章に準じ、米飯付着遊離アミノ酸の分析は第3章にしたがった。脂

脂肪酸度の測定はAACC法⁴⁾に従い、60メッシュの白米粉試料10gにベンゼン50mlを加え、30分間振とう後、ろ過した。ベンゼン抽出液25mlにエタノール25mlを加え、フェノールフタレイン指示薬5滴を加え、0.0178Nの水酸化カリウム標準液で滴定し、脂肪酸度を求めた。また炊飯液中のpHの測定は、白米3gを本章実験1で用いたステンレス製かごに入れ、40°Cの蒸留水中で30分間浸漬、吸水させた。その後かごを60mlの蒸留水を入れたビーカーの中につるし炊飯した。炊飯後かごを引き上げ、炊飯液を室温まで冷却してからpHを測定した。タンパク質およびアミロース含有率、脂肪酸度、炊飯液中のpHそして遊離アミノ酸の分析結果は、2反復の平均値で示した。また結合脂質の分析は3反復行った。

3. 結果

実験1.

貯蔵時の温度ならびに粗含水率の違いが加熱吸水膨潤度に及ぼす影響を、貯蔵開始時と貯蔵開始後60日目に調査した(第15図)。10°C貯蔵では、粗含水率にかかわらず貯蔵温度が加熱吸水膨潤度に及ぼす影響は小さく、貯蔵開始日と60日目との値には差はみられなかった。しかしながら貯蔵温度の上昇にともない、いずれの含水率の試料においても膨潤度は大きくなり、とくに30°C貯蔵、18%の過湿米では、膨潤度は顕著に高くなった。12%の過乾燥米では、貯蔵温度による影響は最も小さかった。以上のように古米化が進んだ試料ほど膨潤度は増すが、このことは古米が一般に釜殖が大きいことの原因であろう。

溶出固形物量も10℃貯蔵では、含水率にかかわらず、60日貯蔵後も貯蔵開始時と比べあまり大きな変化は認められなかった。しかし貯蔵温度の上昇にともない、溶出量はいずれの含水率試料においても減少した。とくに30℃貯蔵、18%試料で最も減少したが、12%試料では減少の程度は最も小さかった(第16図)。また加熱吸水膨潤度と溶出固形物量の間には、明らかに高い負の相関(-0.94、0.1%レベルで有意)がみられた(第17図)。

テクスチャーの変化を貯蔵開始後90日目まで調査した。貯蔵開始時には、12%の過乾燥米でそしやく性値は最も高く、次いで15%通常乾燥米、そして18%過湿米で最も低いという結果が得られた。12%および15%試料では、貯蔵温度に関係なくそしやく性値の変化程度は小さかった。18%試料は10℃貯蔵の変化は小さかったが、20℃および30℃貯蔵で、そしやく性値はかなり増加した。とくに30℃貯蔵では顕著であった(第18図)。

粘着性値は、貯蔵開始時には18%過湿米で最も高い値を、12%過乾燥米で最も低い値を示した。貯蔵にともない、一般に粘着性値は減少していく傾向が認められたが、貯蔵温度が高いほど、含水率が高いほどこの傾向は明らかであった。しかしながら12%の過乾燥試料では、減少程度は極めて小さかった。貯蔵温度が30℃のときは、10℃および20℃貯蔵と比較し、減少程度は顕著であった(第19図)。

食味指数値も粘着性値と同様な変化傾向を示したことから、過乾燥米は貯蔵開始初期には食味性は良くないが、貯蔵温度にあまり影響されず長期間食味性は維持されることが認められた。一方、通常乾燥米および過湿米では、10℃貯蔵では食味性の低下は極めてゆ

つくり進行するが、貯蔵温度の上昇とともに大きくなった。とくに過湿米の食味性は顕著に低下することが認められた（第20図）。

実験2.

（1）長期貯蔵にともなうテクスチャーの変化

貯蔵年数が増すにしたがい、そしやく性値はもち米を除いて増加した。一方、粘着性値および食味指数値は逆に減少した（第21図、第22図、第23図、第24図）。長期貯蔵にともなうテクスチャーの変化はいずれも貯蔵1～2年間の貯蔵初期の変化がとくに著しく、3年以上の貯蔵ではテクスチャーの劣化は次第に緩慢となるようであった。長期貯蔵にともなう食味性は、他の報告^{54, 73, 99})と同様に明らかに劣化していくことが認められた。テクスチャーの劣化程度は、インド型うるち米より日本型うるち米において大きかった。しかしながらPerez and Juliano⁷⁸)は、貯蔵中のテクスチャーの変化は、アミロース含量が高い米ほど大きくなる傾向があると報告している。また日本稲の中では、食味声価の高い品種（コシヒカリ、ササニシキ）のテクスチャーの劣化程度は、一般的な食味品種（日本晴、秋晴）の劣化程度よりやや小さい傾向を示した。一方もち米では、粘着性値は貯蔵にともない減少したが、そしやく性値はVillarealら⁹⁹)の報告と同様に、ほとんど変化しなかった。

（2）長期貯蔵にともなう化学成分の変化

タンパク質含有率（難溶性タンパク質含有率＋水溶性タンパク質含有率）および難溶性タンパク質含有率は、貯蔵中とくに変化しなかったが、水溶性タンパク質含有率は減少した（第25図、第26

図、第27図)。貯蔵中、全窒素含有率は有意な変化が認められないが、水溶性窒素含有率は減少することは、多くの報告で認められている^{39,79,94})。

日本型うるち米およびインド型うるち米とも、貯蔵にともないアミロース含有率は有意な変化は認められなかった。この結果は、Indudhara Swamyら³⁶)、Juliano⁴²)の結果と一致した。しかしながら渋谷ら⁸¹)は、貯蔵中ヨウ素親和力は増加すると報告している。一方もち米では、貯蔵期間中アミロースは検出されなかった(第28図)。

結合脂質含有率も、貯蔵にともないわずかではあるが増加した(第29図)。含有率はインド型うるち米で最も高く、次いで日本型うるち米、もち米の順であった。しかし変化程度は、日本型うるち米で最も大きく、次いでインド型うるち米で、もち米の含有率の変化は最も小さかった。真野ら⁵³)は、日本稲の米はインド稲の米よりも結合脂質(starch lipids)は多いとしている。しかしManiñgat and Juliano⁵²)は、結合脂質(starch lipids)含有率は中間的なアミロース含有率をもつ米で最も高く、次いで高アミロース米、低アミロース米の順であり、もち米で最も低いことを示した。本実験で供試したインド稲は、Maniñgat and Juliano⁵²)の分類によれば中間的なアミロース含有率を持つ米に属し、日本稲は低アミロース米に属することから、本結果はManiñgat and Juliano⁵²)の結果と一致するものと考えられる。

脂肪酸度は貯蔵にともないかなり増加した(第30図)。脂肪酸度は、脂肪の加水分解により生ずる遊離脂肪酸によるもので、米粒の変質を示す指標になると言われている。貯蔵中、脂肪酸度は急速

に増加していくことはよく知られている¹¹⁰⁾。日本型うるち米で最も増加する傾向がみられ、次いでインド型うるち米、もち米の順であった。しかしもち米の脂肪酸度は、うるち米と比較すると新米時には1.5～2倍ほど高い値を示した。この理由としてVillarealら⁹⁹⁾は、もち米は脂肪酸と結合し得るアミロース含量がうるち米に比べ低いためであると示唆している。

炊飯液中のpH値は貯蔵にともない低下した(第31図)。pH値の低下は岡村⁷⁴⁾、谷ら⁹⁴⁾も認めているところである。減少傾向は、日本型うるち米で最も大きく、次いでもち米であり、インド型うるち米は最も小さかった。インド種は日本種より新米のpH値が低いことは、竹生ら⁹⁾の結果と一致するものであった。

(3) 長期貯蔵にともなう呈味成分の変化

遊離アミノ酸のうち、グルタミン酸がとくに米の呈味成分に関係していると考えられるので、グルタミン酸に注目し、貯蔵後2年目まで調査した。白米100粒当りのグルタミン酸含量は、貯蔵にともない減少したが、とくに貯蔵後1年間の減少が著しかった(第32図)。しかしながら、米飯100粒当りに付着したグルタミン酸含量では、顕著な傾向は認められなかった。白米および米飯付着グルタミン酸含量は、良食味品種の方が貯蔵中も高く維持される傾向であった。組成割合は、貯蔵にともない減少したが、とくに貯蔵後1年間の減少が顕著であった(第33図)。白米および米飯付着のグルタミン酸含量ならびに組成割合の変化程度をみると、品種間でとくに有意な関係は認められなかった。

4 . 考 察

古米化にともない加熱吸水膨潤度は増加し、溶出固形物量は減少することは知られている^{6,4)}。しかし10°Cのような低温で貯蔵すると、貯蔵開始時と比べ変化は小さいことが認められた。貯蔵温度の上昇にともない過湿米が受ける影響は最も大きく、過乾燥米が受ける影響は最も小さかった。

テクスチャーの変化も、貯蔵温度の上昇にともない、さらに粗含水率の増加にともない硬く粘りが乏しい飯となり、食味性は低下することが認められた。しかしながら、10°C貯蔵では劣化速度は緩やかであった。竹生ら¹²⁾、谷ら^{9,4)}は炊飯嗜好特性の変化から、低温貯蔵された玄米も貯蔵中の変質が非常に少なく、食味が良好に保たれることを示唆している。テクスチャー特性も炊飯特性と同様に、過乾燥米の貯蔵温度による影響は最も小さいが、過湿米では貯蔵温度の上昇にともない明らかに大きな影響を受けた。

収穫後の乾燥過程で米の食味性は低下し、とくに過乾燥米で硬く粘りが乏しい不味な飯となるが、逆に不完全乾燥米（過湿米）の食味性は優れているという興味深い結果が得られた。これには乾燥程度による米の組織の強弱および細胞膜の強弱^{14,16)}などが関与するものと考えられる。すなわち、米の乾燥による脱水過程自体が古米化現象の一過程と考えられる。Desikacher and Subrahmanyam¹⁵⁾も、新米の細胞壁は古米よりも崩壊し易いことを認めており、上記の裏付けとなろう。しかし18%過湿米では20°Cおよび30°C貯蔵で、貯蔵開始後30日目には、通常乾燥米および過乾燥米と食味性は変わらなくなり、それ以降はさらに劣化することが認められた。石倉・升尾^{3,7)}は含水率18%の粳を32°C以下で貯蔵したと

き、玄米の外観的品質からみた貯蔵安全限界日数を30日としているが、食味性からみた本結果でも、18%過湿米の貯蔵安全限界日数が約30日で、石倉・升尾³⁷⁾の結果と一致したことは興味深い。12%試料では貯蔵初期の食味性は劣るが、90日貯蔵後も含水率にかかわらず、ほとんど変化しなかった。過乾燥米は食味を低下させるとして嫌われているが、過乾燥米の食味性が劣るのは比較的短期間のことであり変質が小さいため、貯蔵期間が長くなれば適湿米よりむしろ食味が優れていることが明らかにされた。過乾燥米は胴割れを生じ易い欠点があるが、乾燥方法の改善によってこの欠点が克服されれば、その優れた貯蔵性は注目に値しよう。

炊飯特性およびテクスチャー特性から判断すると、加熱吸水膨潤性は飯の硬さと、また溶出固形物量は飯の粘りと密接な関係があることが示唆された。加熱吸水膨潤度と溶出固形物量との間には高い負の相関が認められたが、テクスチャーの硬さ的要素と粘り的要素の間にも高い負の相関が存在する²⁴⁾ことを考え合わせると、当然の結果であろう。

次に長期貯蔵が米飯のテクスチャーに及ぼす影響は、貯蔵年数にともない硬く粘りが乏しい米飯となり、その結果食味性は明らかに低下した。食味性の低下は貯蔵後1~2年間の貯蔵初期の間に顕著に認められ、それ以後は緩やかに劣化していくことがわかった。江幡・石川²⁰⁾は、粳形態で8年間にわたる長期貯蔵を行い炊飯特性を調べた結果、加熱吸水膨潤度は新米で最も低く、貯蔵後2年目までは急速に増加し、それ以降は安定した膨潤度を維持することを認めた。さらに溶出固形物量は新米で多く、貯蔵後1年間に著しく減少し、その後は緩やかな傾向をたどりながら減少していくことを明ら

かにした。これらの結果から考えると、貯蔵後1～2年間の貯蔵初期の間に、炊飯特性も食味性も顕著に低下することが認められ、実験1で炊飯特性と食味性との間には密接な関係が存在したことは、これを裏付けるものであった。また実験1の結果から、通常乾燥米は10℃貯蔵では食味性の劣化程度は小さいが、30℃貯蔵では貯蔵後直ちに劣化が始まることがわかった。したがって、収穫後から次年度の梅雨まではテクスチャーの劣化は小さいが、多湿な梅雨から高温となる夏期にかけて急速にテクスチャーの劣化は起こることが示唆された。

第2章で、米飯のテクスチャーは難溶性タンパク質、アミロースおよび結合脂質含有率により説明し得ることを述べた。しかし、貯蔵にともない難溶性タンパク質およびアミロース含有率には有意な変化は認められなかったことから、テクスチャーの変化を難溶性タンパク質およびアミロース含有率の点から説明するのは困難なように思われた。一方、結合脂質含有率は貯蔵にともない増加したことから、テクスチャー劣化、とくに硬さ的要素の増加の有力な要因であることが示唆された。インド型うるち米は、日本型うるち米に比べテクスチャーの劣化程度が小さかったが、これはインド型うるち米の結合脂質含有率の増加程度が、日本型うるち米に比べ小さいことと関係があるものと思われる。従来インド稲は日本稲に比べアミロース含量が高いことから、米飯は硬く粘りが乏しいものとなると考えられてきた⁴⁰⁾が、今後は結合脂質含有率が高い点にも注目すべきである。一方、もち米の結合脂質含有率はほとんど増加しなかった。もち米テクスチャーの硬さ的要素の変化が小さいのは、結合脂質含有率の変化が小さいことと関係しているものと思われる。

貯蔵にともなう脂肪酸度の増加は、結合脂質含有率の増加と炊飯液中のpH値の低下の両者と関係が深いと考えられる。Yasumatsuら^{105, 106)}は、貯蔵中に中性脂肪の加水分解により増加した遊離脂肪酸がデンプンのアミロースと結合し、これがうるち米のアミログラムのpeak viscosityを増加させると説明した。したがって、貯蔵中増加した遊離脂肪酸の一部がデンプンのアミロースと結合し、結合脂質含有率は増加し、その結果テクスチャーに影響を与えるものと考えられる。生粳を一時貯留した場合も、含水率が高い粳ほど脂肪酸度は急速に増加することは知られている^{11, 37)}。実験1で含水率の高い米ほど米飯のテクスチャーの劣化は速やかであったことから、この場合も遊離脂肪酸の増加にともなう結合脂質の増加が、テクスチャーに影響を及ぼしたものと推測される。脂肪酸度の変化は、もち米で最も小さかったが、これはもち米の結合脂質含有率の変化程度が最も低いことと関連していると考えられる。

長期貯蔵にともなうテクスチャー特性および脂肪酸度の変化などから判断すると、もち米の貯蔵性はうるち米に比べ優れていることが示唆された。柳瀬ら¹⁰³⁾は、もち米の貯蔵性は玄米胚活性度の低下度、脂肪酸度値の高さ、くん蒸の必要回数などからみてうるち米に比べ劣ると報告している。しかしながら柳瀬ら¹⁰³⁾は新米の場合についてのみ論じており、長期間にわたる貯蔵性は、うるち米よりもち米の方が優れていることは本実験から示唆された。江幡・石川²⁰⁾は炊飯特性から判断すると、もち米よりうるち米の方が長期間の貯蔵性は優れているとしており、この点については今後さらに検討を加える必要がある。インド型うるち米は、日本型うるち米に比べ長期貯蔵にともなうテクスチャー、脂肪酸度および炊飯液中のpH

値の変化が小さいことから、インド型水稲は日本稲水稲より貯蔵性は優れていることが示唆された。この結果は、江幡・石川²⁰⁾の炊飯特性からみた結果と一致するものであった。

貯蔵にともなう炊飯液中のpH値の低下は、米飯の呈味を損なう一つの要因と考えられる。貯蔵にともなう白米中の遊離のグルタミン酸含量の低下、さらに白米および米飯付着のグルタミン酸の組成割合の低下もまた、飯の呈味を損ねる一要因と考えられる。

第4章で、うま味成分の溶出性は、おねぼの溶出性を通じてテクスチャーの粘り的要素と密接に関連していることを示した。本実験において、テクスチャーの粘り的要素は貯蔵にともない低下した。しかし貯蔵にともない白米中のグルタミン酸含量は減少したにもかかわらず、米飯付着のグルタミン酸含量については、顕著な傾向は認められなかった。したがって、米飯のテクスチャーの粘り的要素とおねぼの溶出性との間には密接な関係があるものと思われるが、うま味成分の溶出性との関係は薄いのかもしれない。この点については、今後さらなる検討が必要である。

以上から結合脂質含有率の増加にともなうテクスチャーの劣化、グルタミン酸含量、グルタミン酸の組成割合、炊飯液中のpH値の低下による呈味要素の低下等が総合して、貯蔵中米飯の食味性は低下していくことが認められた。

また第2章で過熟米のテクスチャーは低下し、うま味は薄れることを述べたが、本章の結果から判断すると、過熟米はすでに古米化が始まっていると考えることができた。

5 . 摘 要

貯蔵にともなう米質の変化を食味性の視点から検討した結果、以下の点が明らかとなった。

1. 高温、高含水率で貯蔵した粳米は、貯蔵後急速に炊飯特性が低下し、食味性に影響を及ぼすことが認められた。しかし低温、低含水率で貯蔵した粳米は、食味性の低下は極めてゆっくり進行することがわかった。貯蔵初期には、過湿米の食味性は最も優れており、過乾燥米で最も劣った。しかし過乾燥米の食味性は長期間にわたり維持されることがわかった。また加熱吸水膨潤性は飯の硬さと、また溶出固形物量は飯の粘りと密接な関係があった。
2. 長期貯蔵にともないそしゃく性値は、もち米を除いて増加した。一方、粘着性値および食味指数値は減少した。長期貯蔵にともなうテクスチャーの変化は、貯蔵1～2年間の貯蔵初期の変化がとくに著しかった。
3. 長期貯蔵にともない難溶性タンパク質およびアミロース含有率は有意な変化は認められなかったが、結合脂質含有率は増加した。したがって、貯蔵にともなうテクスチャーの変化を支配する要因として、結合脂質が最も関係していることが示唆された。
4. 貯蔵にともない脂肪酸度は増加し、炊飯液中のpH値は減少した。脂肪酸度の増加は、結合脂質含有率の増加と炊飯液中のpH値の減少の両者と関係しているものと思われた。
5. 白米グルタミン酸含量は貯蔵にともない減少したが、米飯付着グルタミン酸含量は、顕著な傾向は認められなかった。組成割合は両者とも減少した。
6. 以上から結合脂質含有率の増加にともなうテクスチャーの劣化、

グルタミン酸含量、グルタミン酸の組成割合、炊飯液中のpH値の低下による呈味要素の低下等が総合して、貯蔵にともない米飯の食味性は低下していくことが認められた。

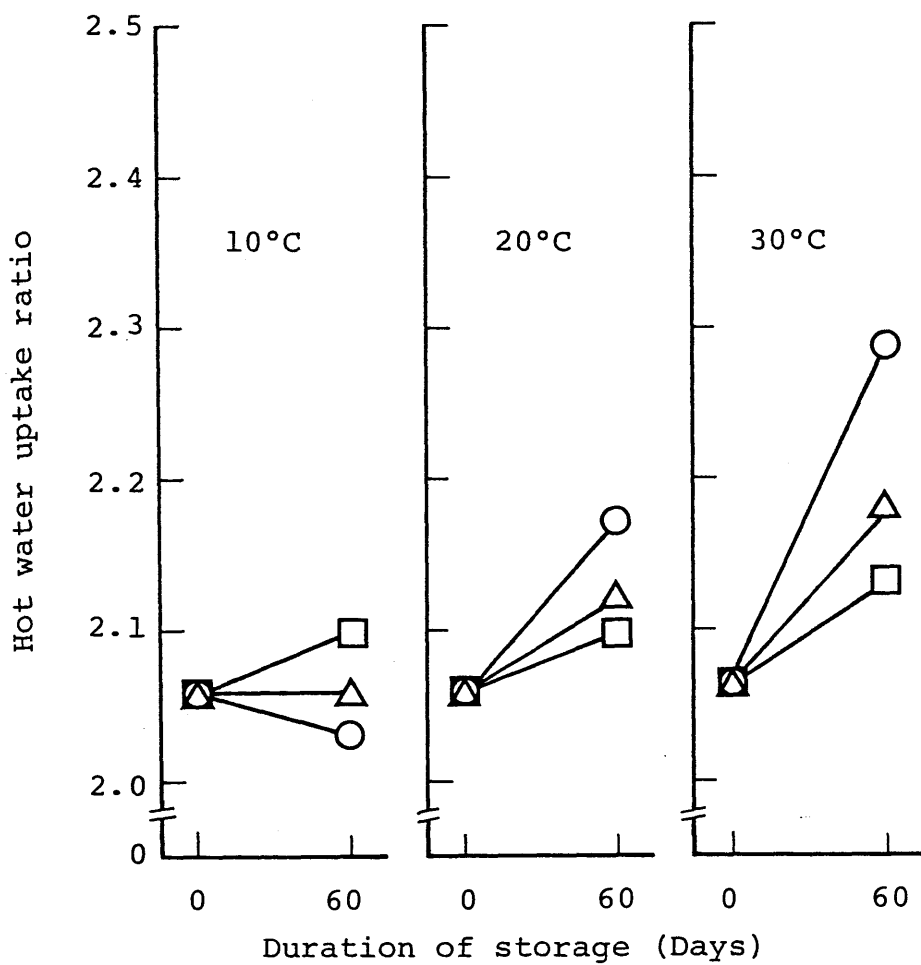


Fig. 15. Effects of storage temperature and moisture content of stored paddy on the hot water uptake ratio of boiled rice (cultivar Sasanishiki).

Note. Moisture content; \square : 12%, \triangle : 15%, \circ : 18%.

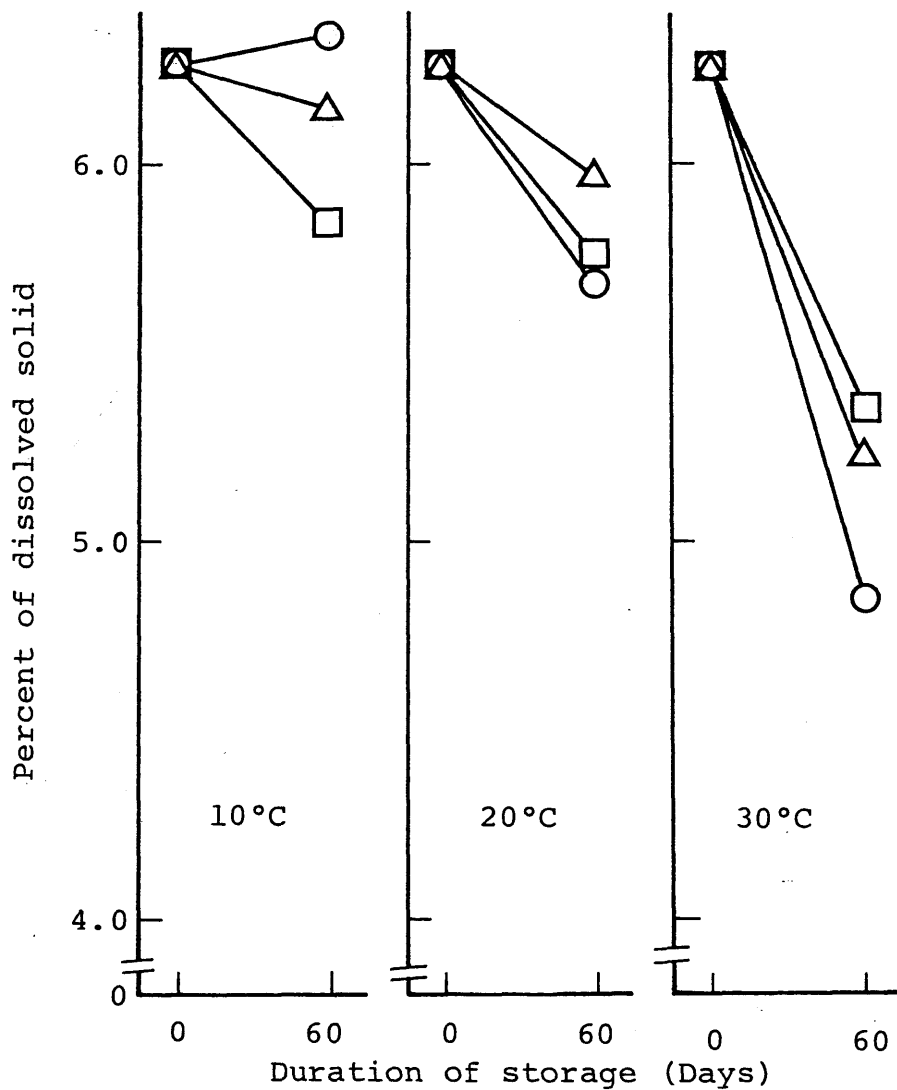


Fig. 16. Effects of storage temperature and moisture content in stored paddy on the percent of dissolved solid of boiled rice (cultivar Sasanishiki).

Note. Moisture content; \square :12%, \triangle :15%, \circ :18%.

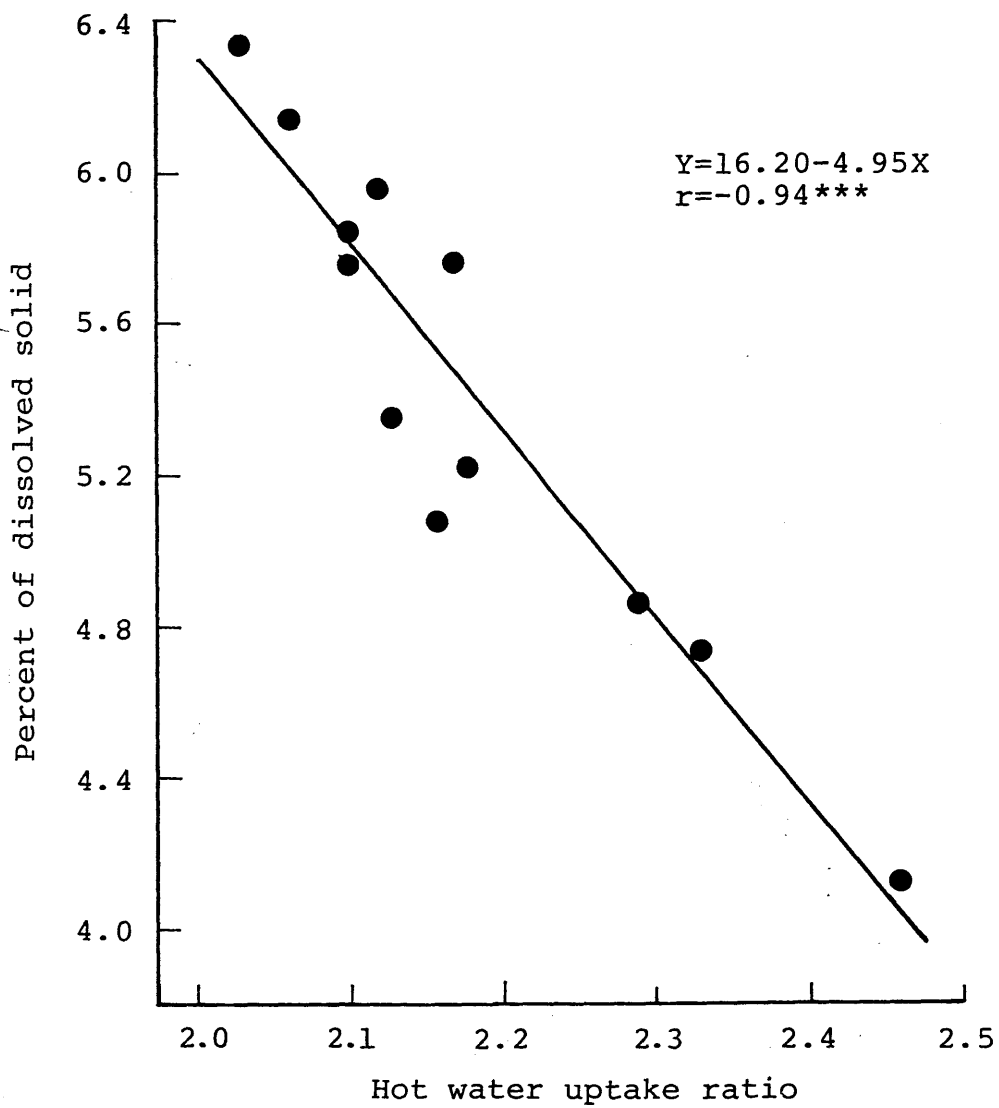


Fig.17. Relationship between the percent of dissolved solid and hot water uptake ratio (cultivar Sasanishiki).

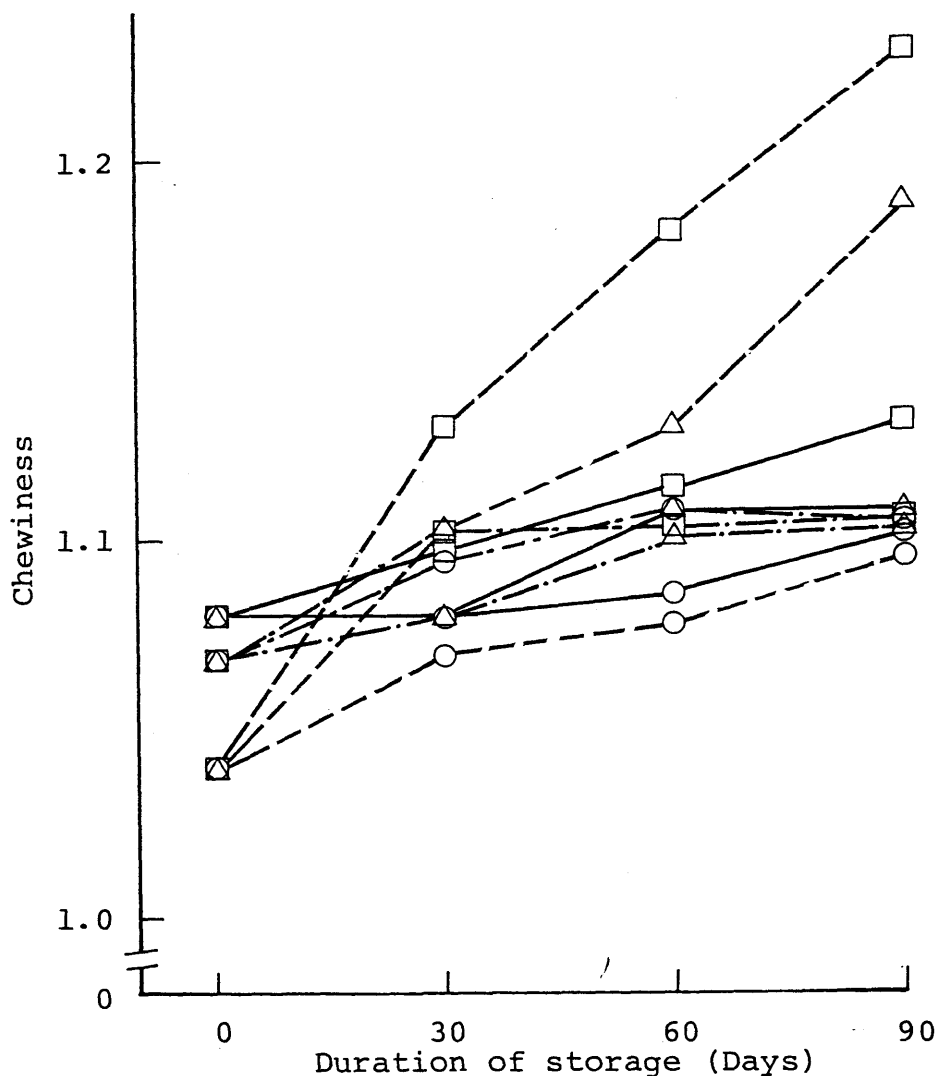


Fig.18. Changes in chewiness value of cooked rice when the paddy stored under different temperature and moisture regimes (cultivar Sasanishiki).

Note. Moisture content; —:12%, —:15%, - - -:18%,
 Temperature; ○:10°C, △:20°C, □:30°C.

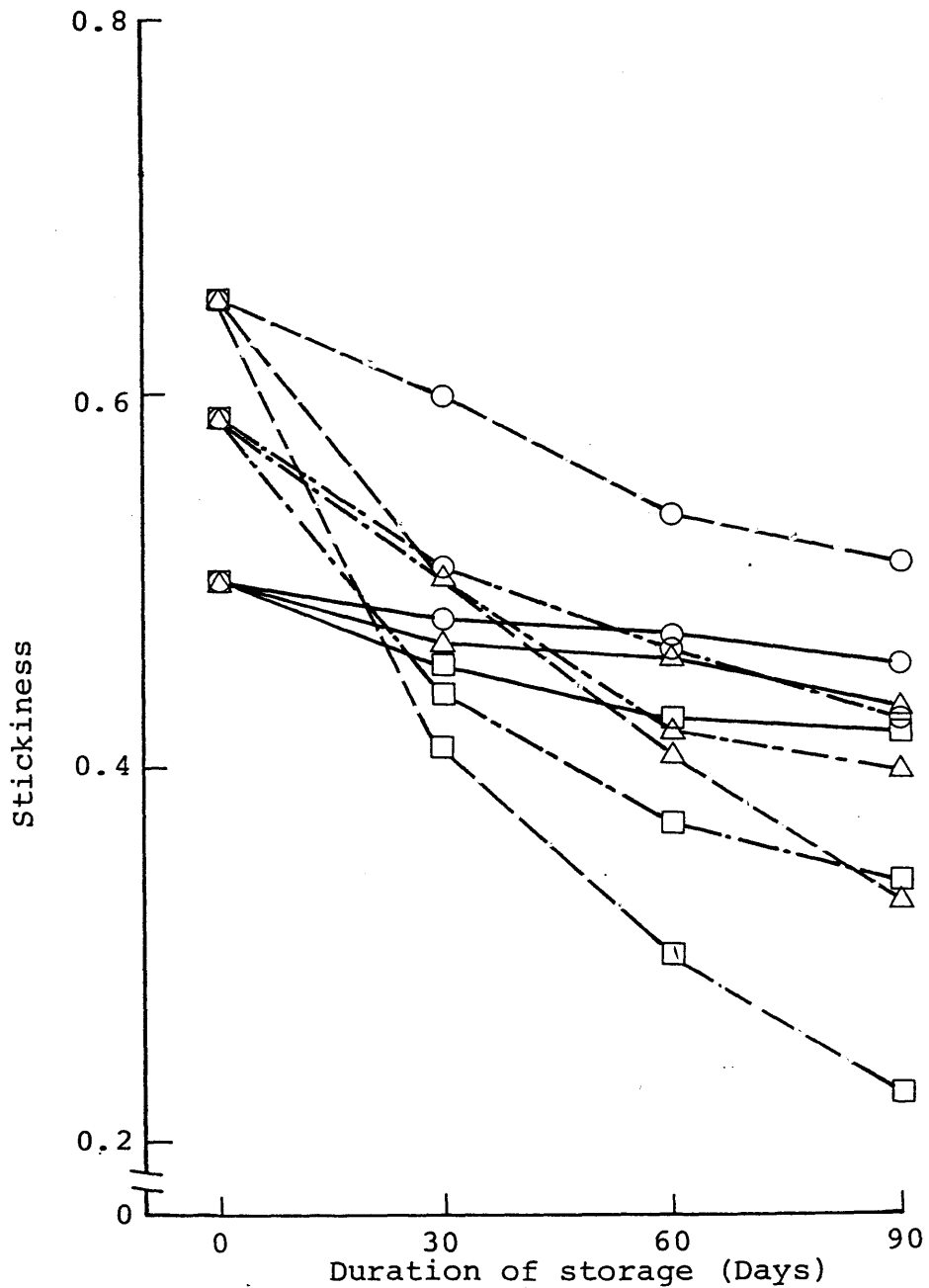


Fig.19. Changes in stickiness value of cooked rice when the paddy stored under different temperature and moisture regimes (cultivar Sasanishiki).

Symbols are the same as those in Fig.18.

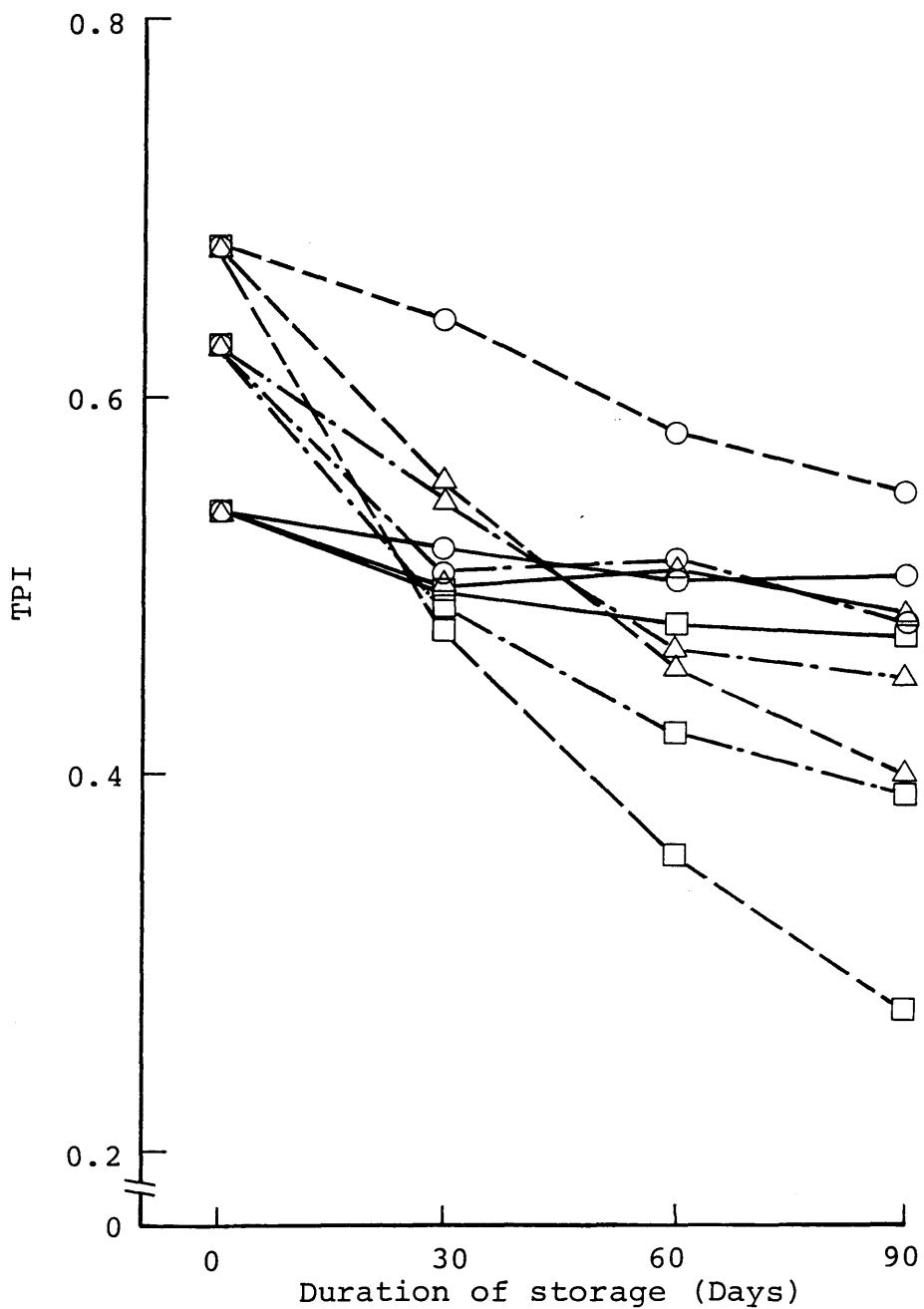


Fig.20. Changes in the textural palatability index (TPI) value of cooked rice when the paddy stored under different temperature and moisture regimes (cultivar Sasanishiki).

Symboles are the same as those in Fig.18.

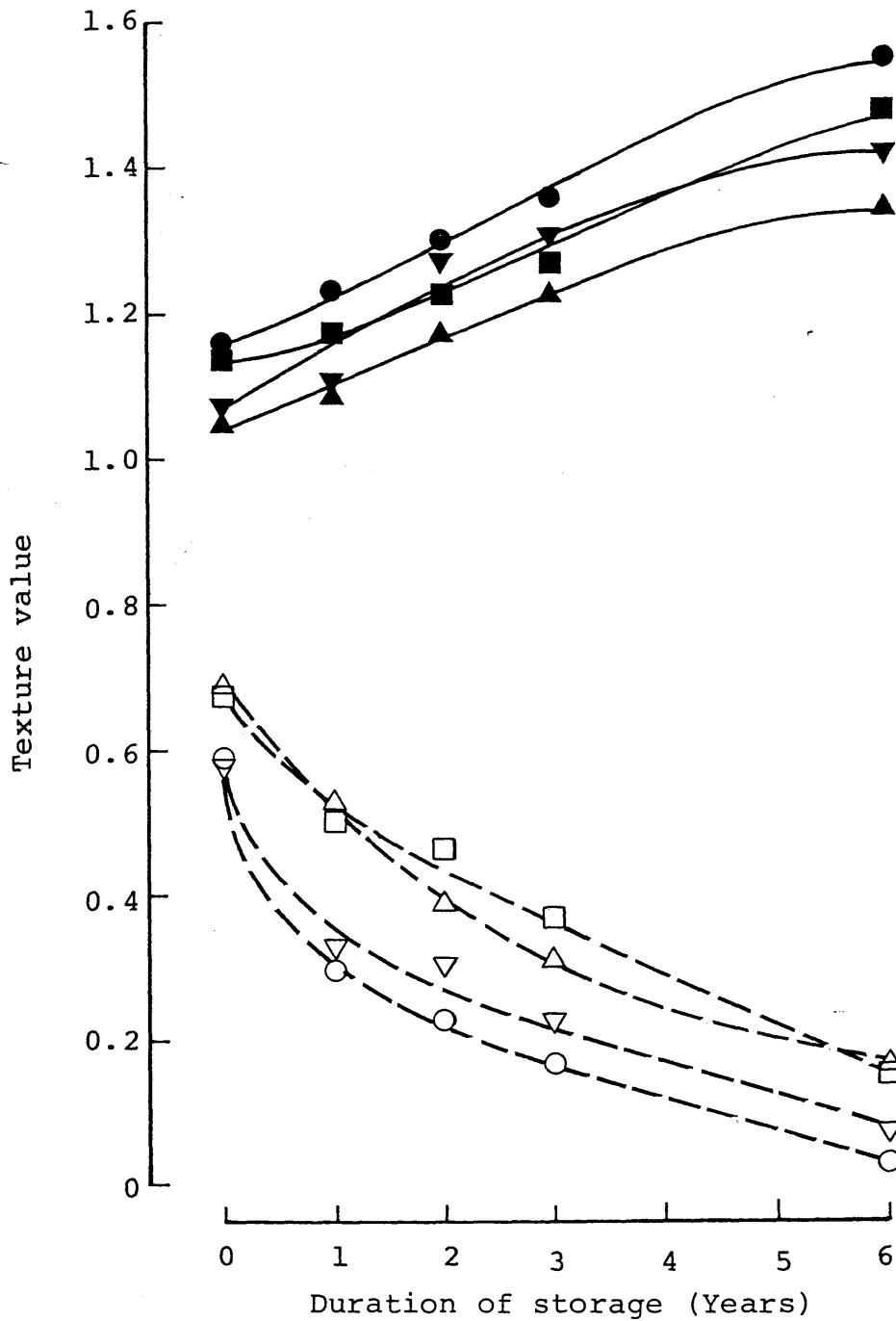


Fig. 21. Changes in chewiness and stickiness values of japonica nonwaxy cooked rice during storage.

Note; ■, □; Sasanishiki, ▲, △; Koshihikari, ▼, ▽; Nipponbare
 ●, ○; Akibare
 — ; chewiness, - - - ; stickiness.

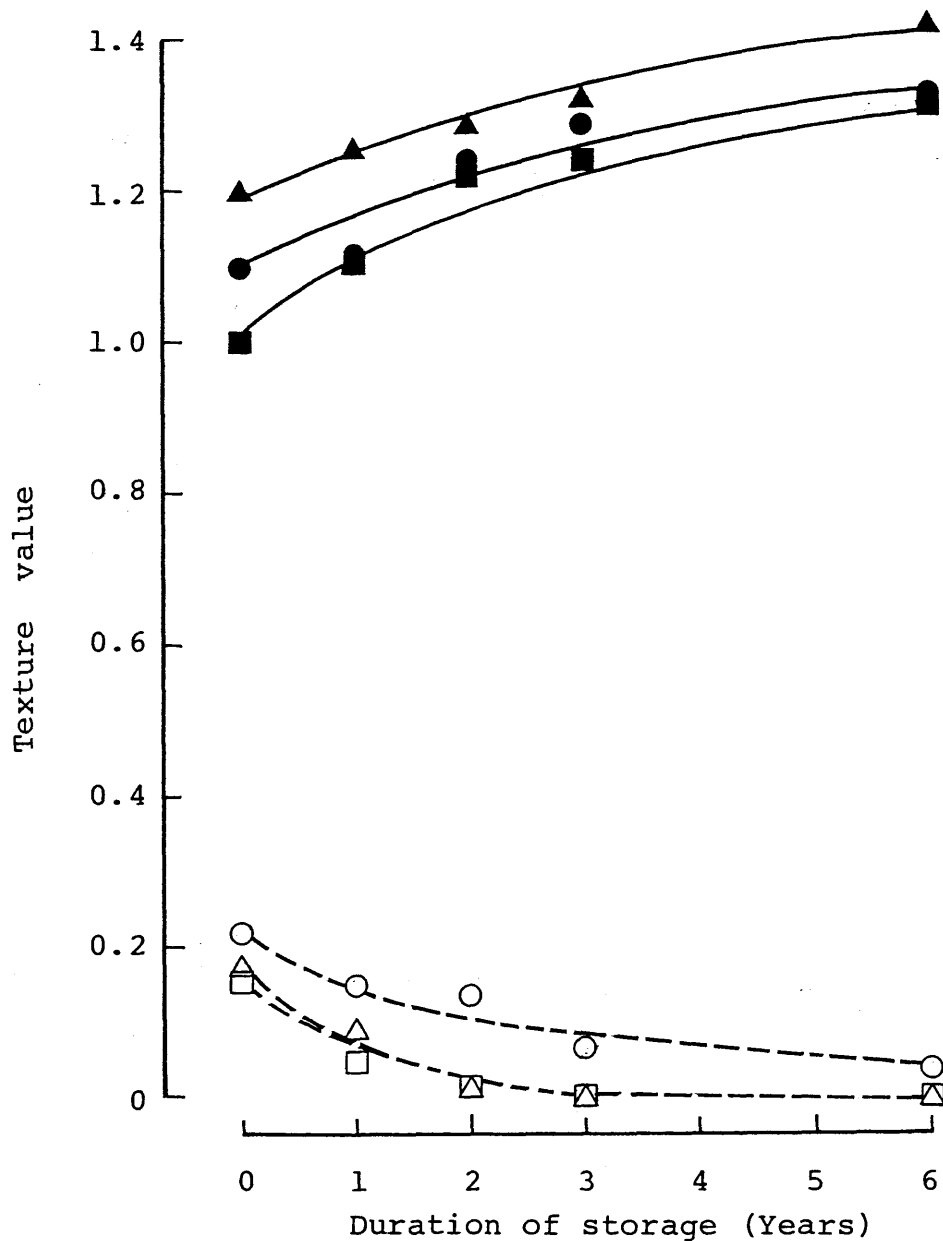


Fig. 22. Changes in chewiness and stickiness values of indica nonwaxy cooked rice during storage.

Note; ▲, △; Kousen, ●, ○; Bluebonnet, ■, □; Te-Tep
 ———; chewiness, - - - -; stickiness.

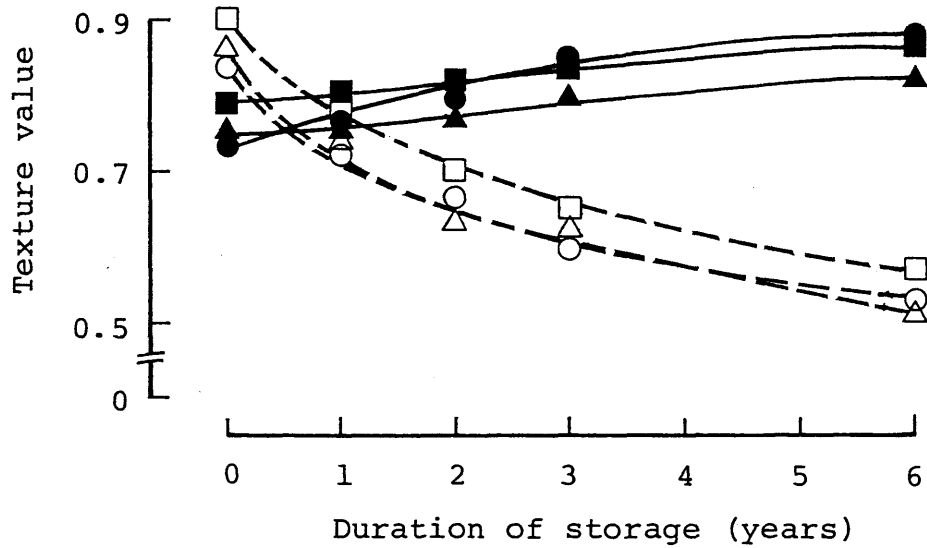


Fig.23. Changes in chewiness and stickiness values of waxy cooked rice during storage.

Note: ■, □; Koganemochi, ▲, △; Shinturumochi
 ●, ○; Iwaimochi
 —; chewiness, - - - -; stickiness.

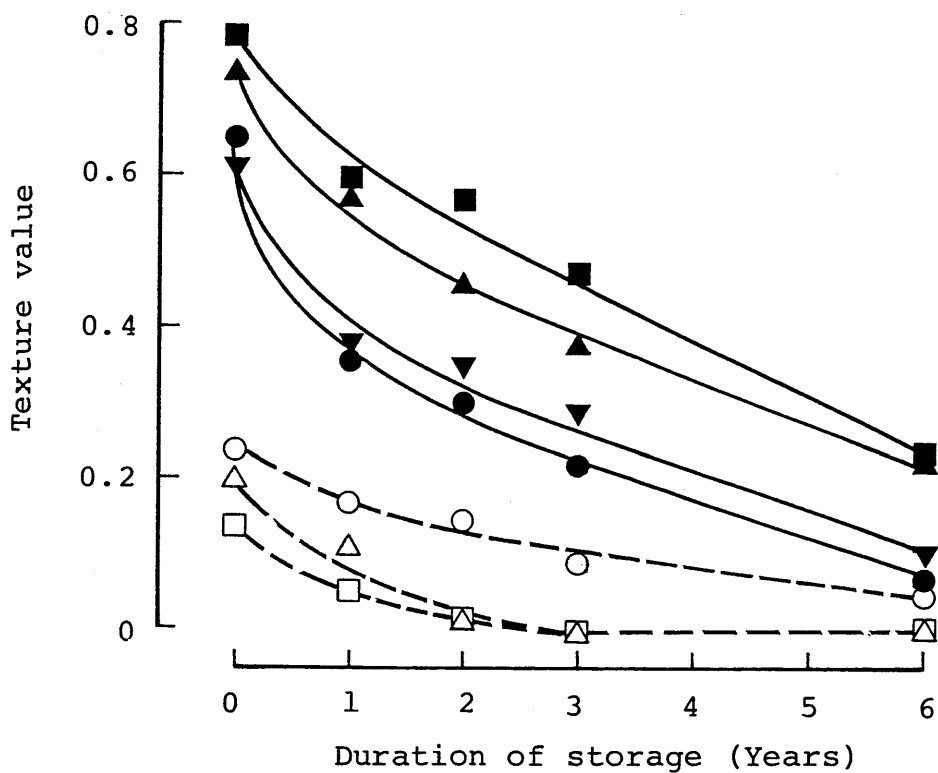


Fig.24. Changes in the texture palatability index values of nonwaxy cooked rice during storage.

Note: ■; Sasanishiki, ▲; Koshihikari, ●; Akibare
 ▼; Nipponbare, ○; Bluebonnet, △; Kousen, □; Te-Tep.

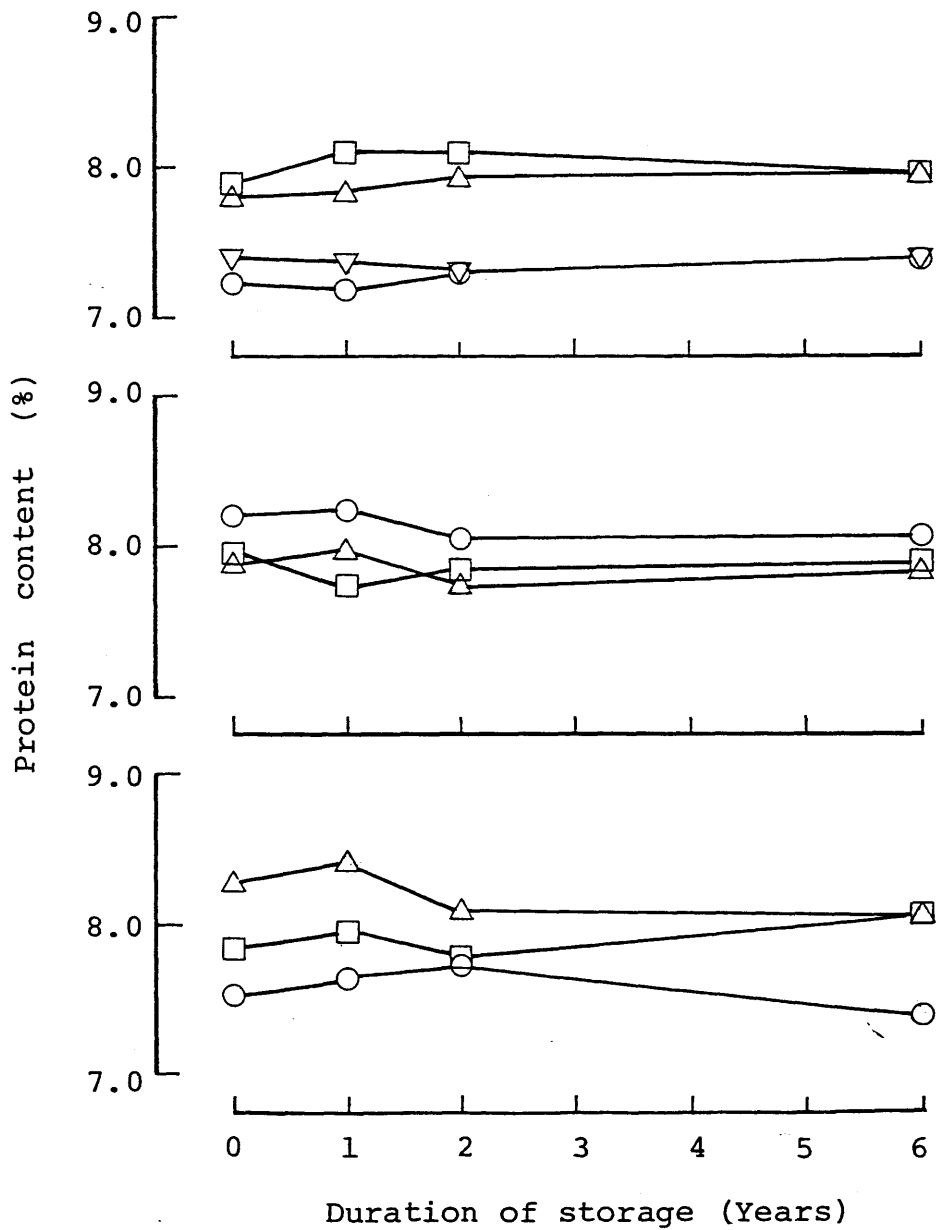


Fig.25. Changes in the total protein contents of milled rice during storage.

Note:Upper;japonica nonwaxy rice, Middle;indica nonwaxy rice, Lower;waxy rice.

Symbols are the same as those in Fig.21.22.23.

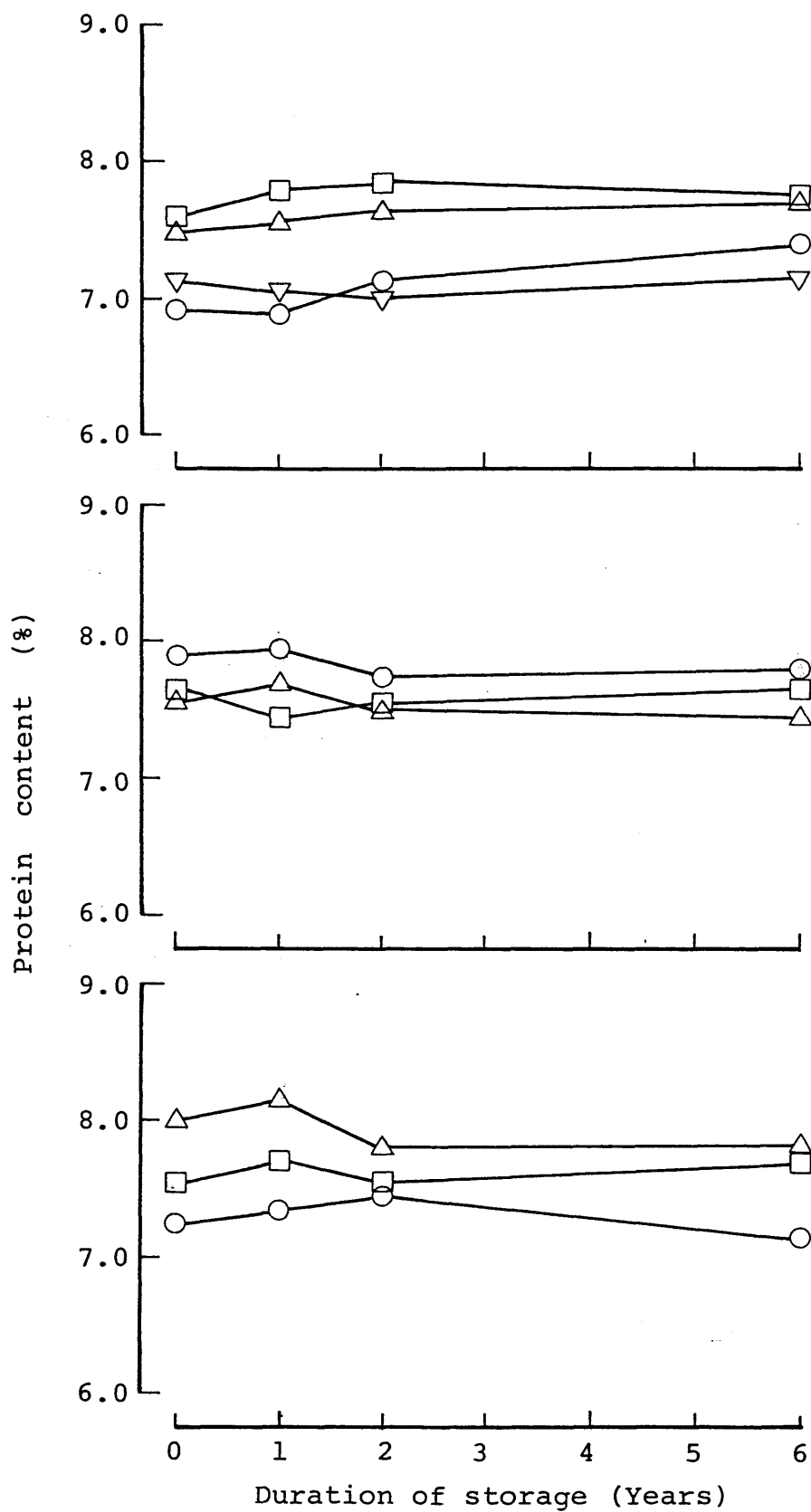


Fig.26. Changes in the water-insoluble protein contents of milled rice during storage.

Note: Upper; japonica nonwaxy rice, Middle; indica nonwaxy rice, Lower; waxy rice.

Symbols are the same as those in Fig.21.22.23.

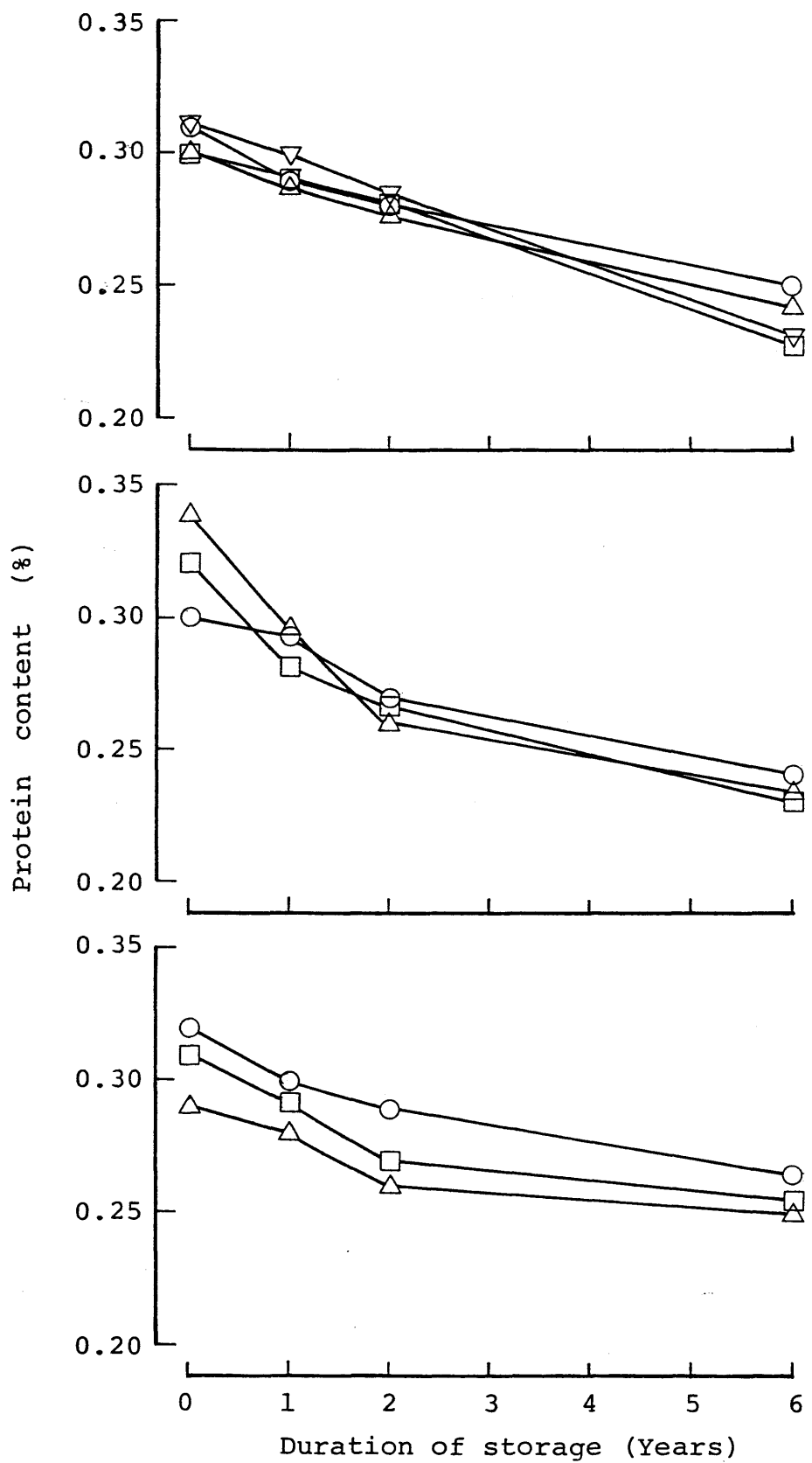


Fig.27. Changes in the water-soluble protein contents of milled rice during storage.

Note:Upper;japonica nonwaxy rice,Middle;indica nonwaxy rice,Lower;waxy rice.

Symboles are the same as those in Fig.21.22.23.

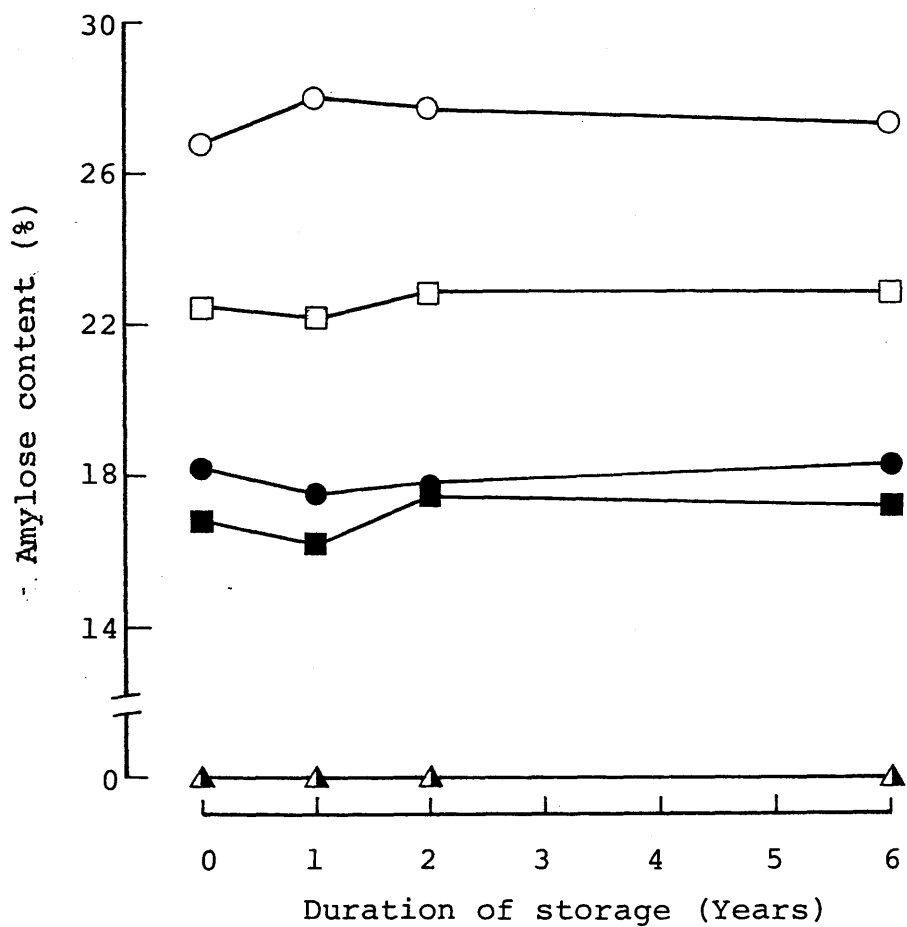


Fig. 28. Changes in the amylose contents in rice starch during storage.

Note: ○; Kousen, □; Century Patna, ●; Akibare
 ■; Koshihikari, △; Koganemochi, ▲; Iwaimochi

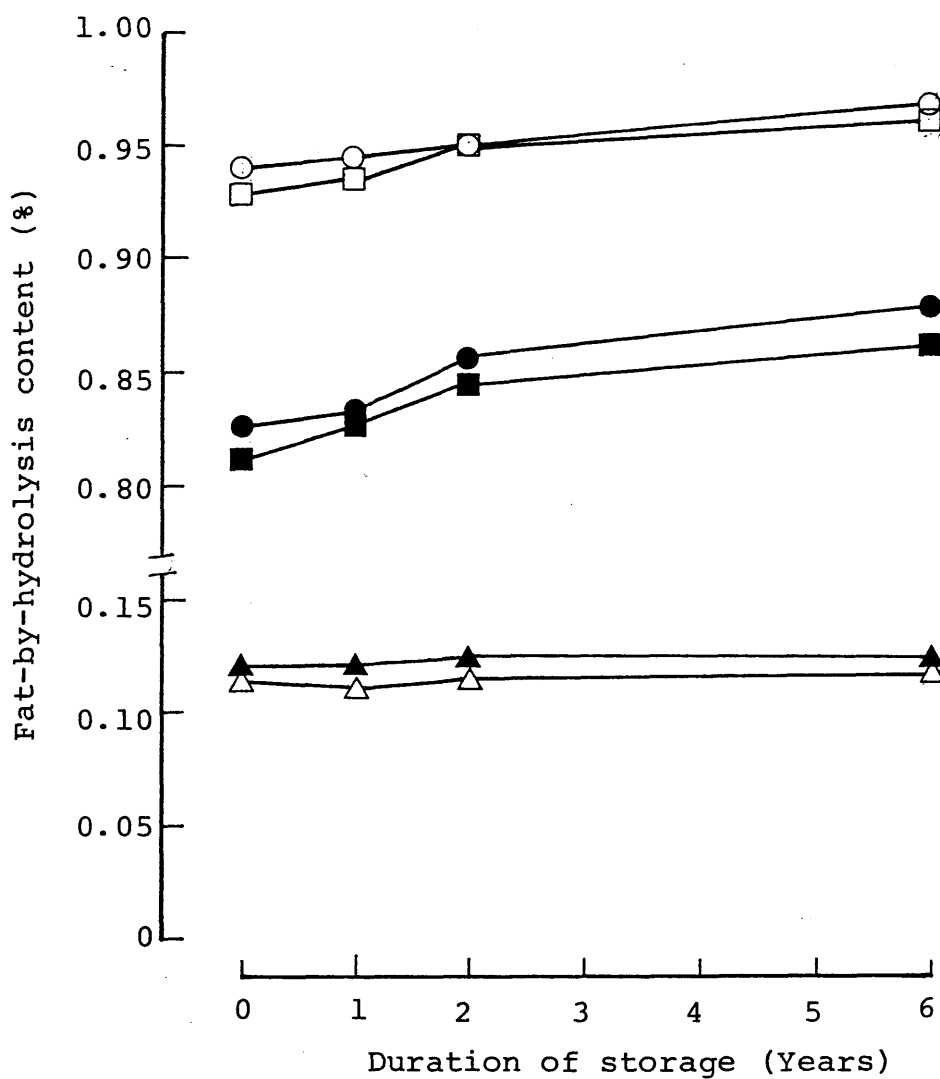


Fig.29.Changes in the fat-by-hydrolysis contents in rice starch during storage.

Note:Symboles are the same as those in Fig.28.

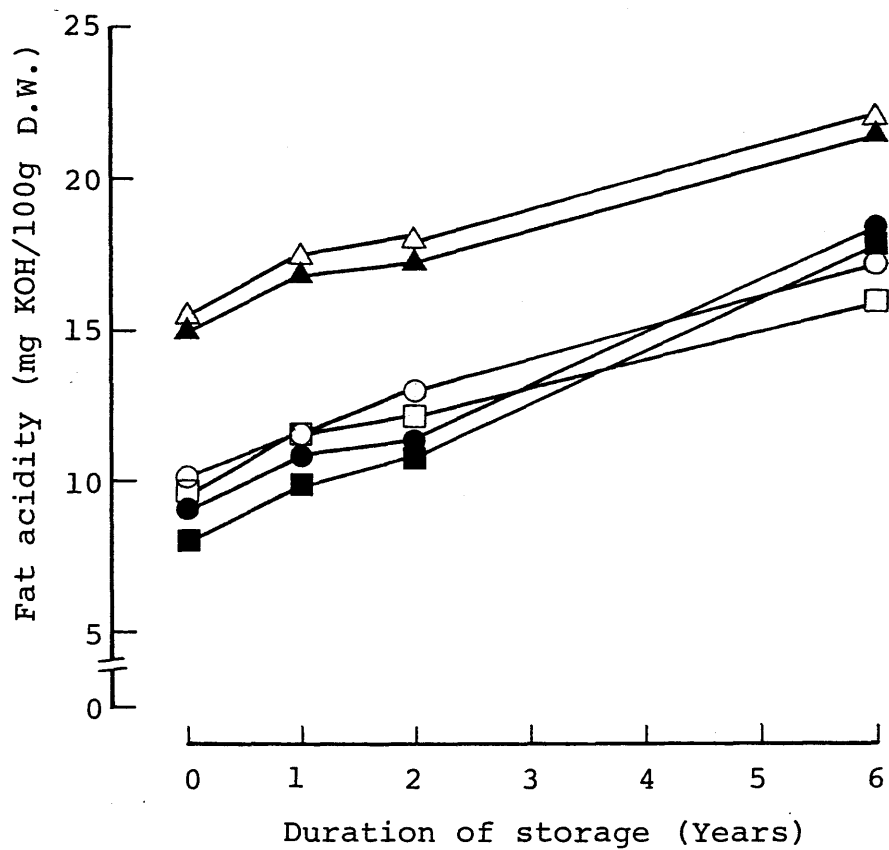


Fig.30. Changes in fat acidity during storage.

Note: Symbols are the same as those in Fig.28.

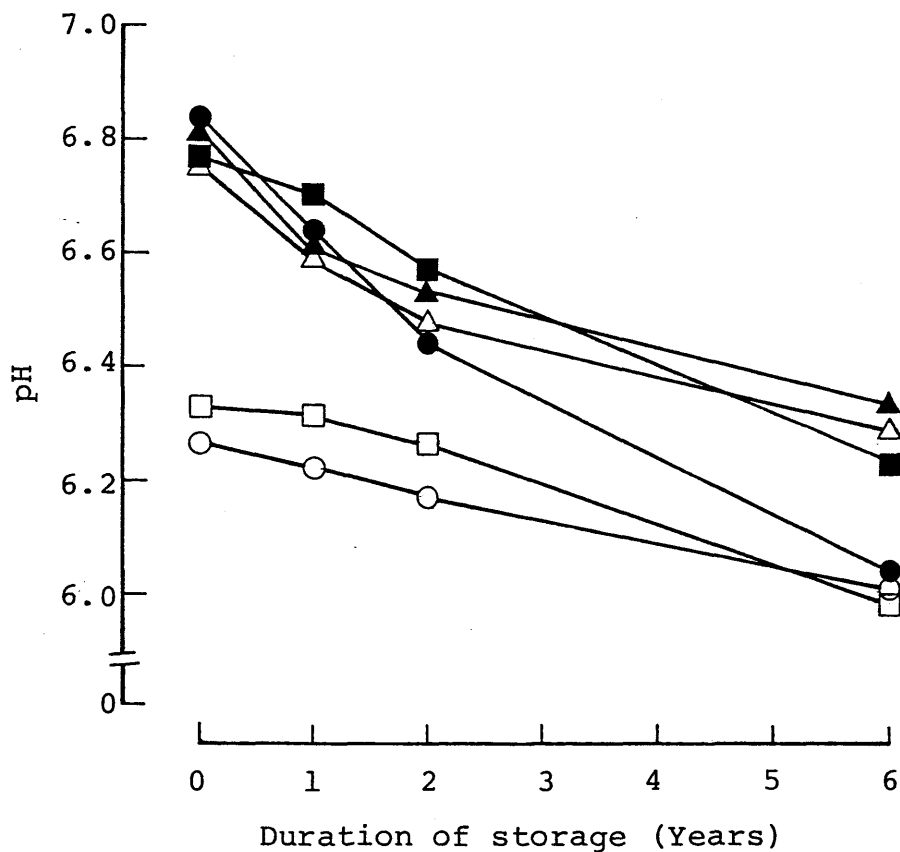


Fig.31. Changes in pH in cooking liquid during storage.
 Note: Symbols are the same as those in Fig.28.

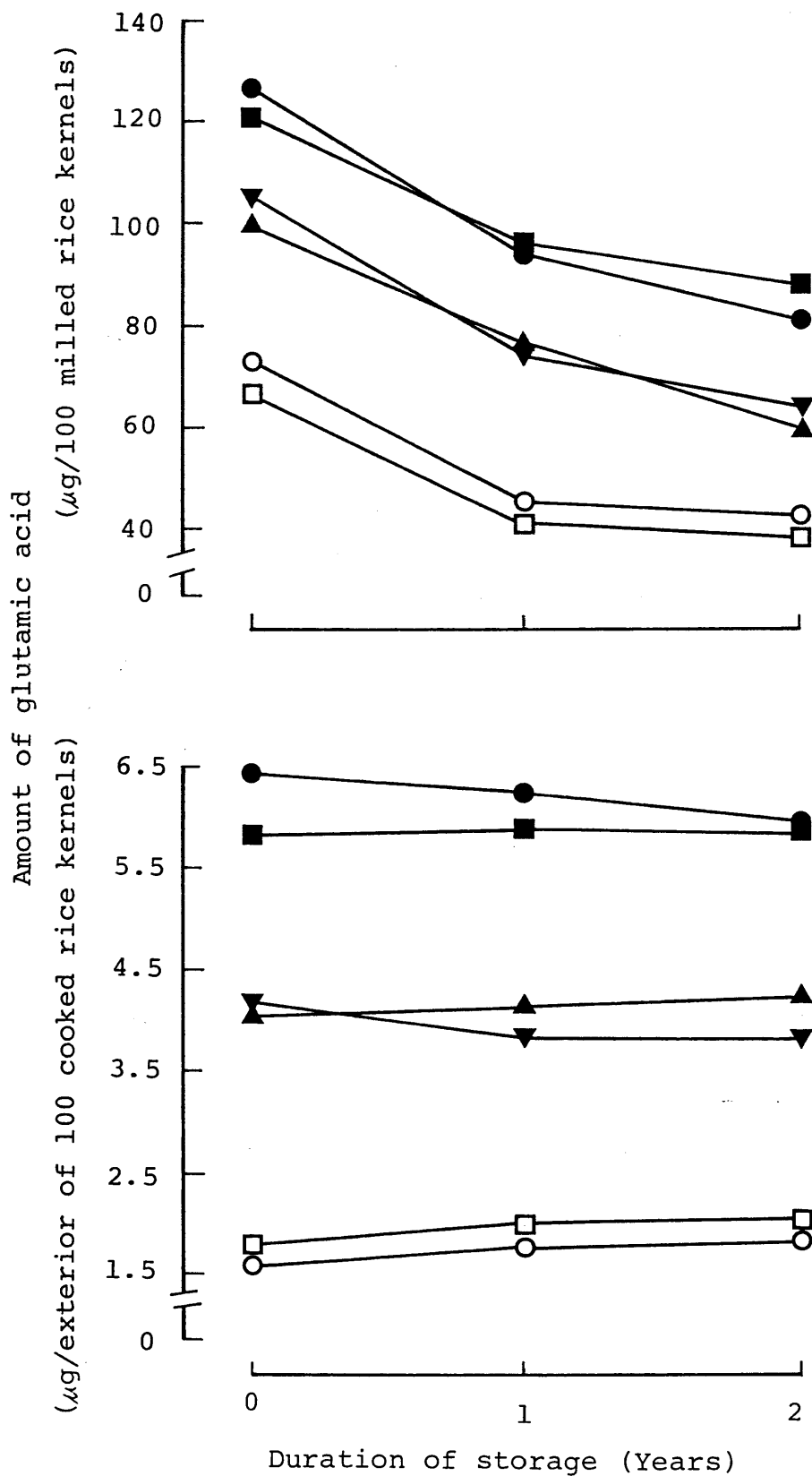


Fig. 32. Changes in the amounts of glutamic acid in 100 milled rice kernels and in the exterior of 100 cooked rice kernels during storage.

Note: Upper; milled rice, Lower; cooked rice.
 ●; Koshihikari, ■; Sasanishiki, ▲; Nipponbare
 ▼; Akibare, ○; Bluebonnet, □; Te-Tep

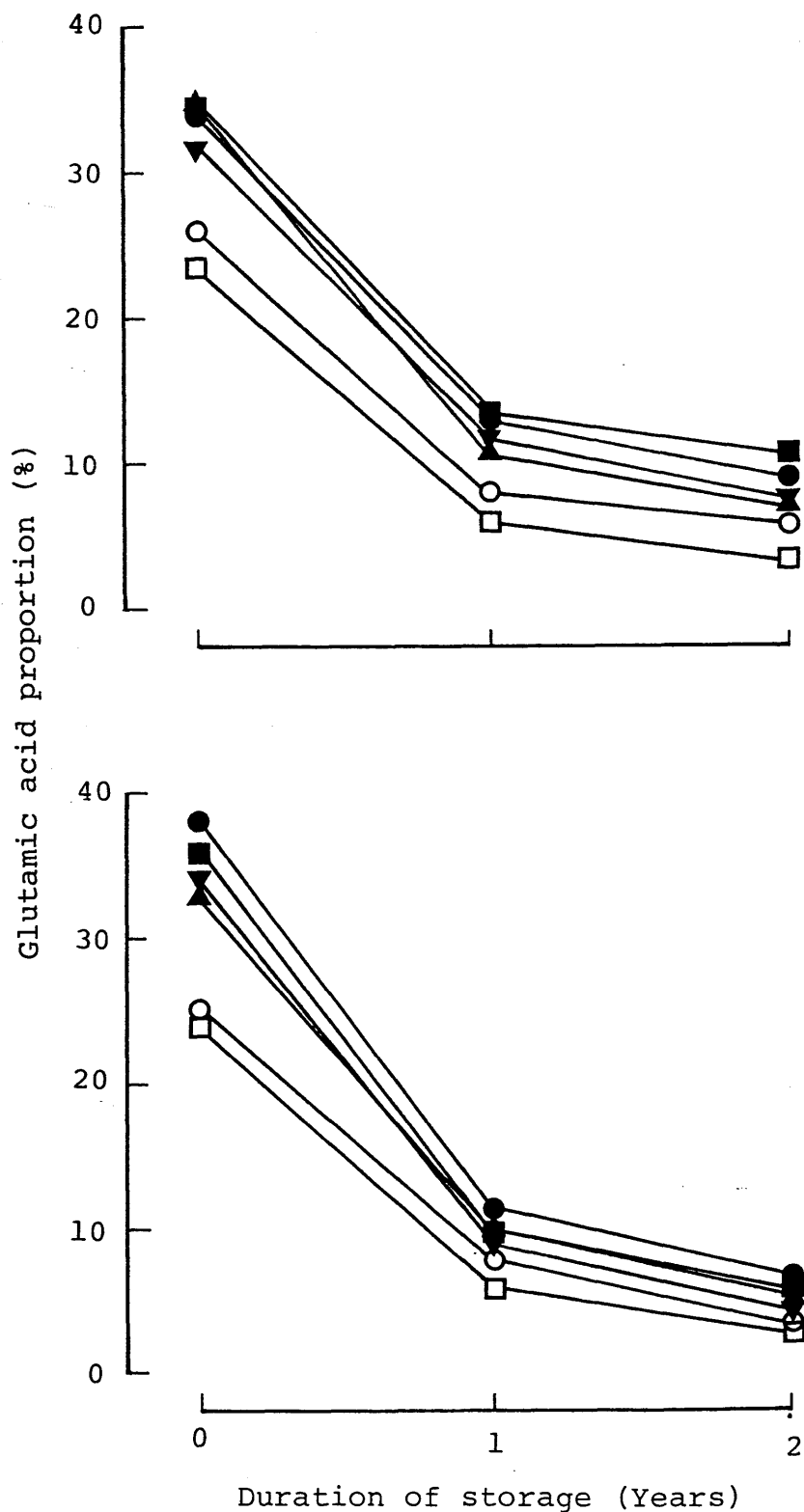


Fig. 33. Changes in the proportions of the amount of glutamic acid to that of total free amino acids in 100 milled rice kernels and in the exterior of 100 cooked rice kernels during storage.

Note; Upper; milled rice, Lower; cooked rice. Symbols are the same as those in Fig. 32.

第 6 章 総 合 考 察

従来米飯の硬さ、粘りといった物性を支配する主要因として、アミロース含量の多少から検討されてきた^{40, 41, 42, 44, 77})。一般にインド稲は日本稲に比べ硬く粘りが乏しい飯となる理由として、アミロース含量が高いためといわれている⁴⁰)。また北海道産米が本州産米に比べ不味な米となる原因として、アミロース含量が高いことが一原因と考えられてきた³⁵)。しかし倉沢ら^{48, 50})は、米飯の食味特性は米デンプンも関係するが、それ以外にタンパク質、脂質なども影響を与えることを示唆している。

登熟にともないうるち米米飯のテクスチャーは、硬さ的要素を減じ、粘り的要素を増加することを認めた。アミロース含有率は、うるち米では未熟期には高い値を示し、登熟にともない減少していくことから、登熟過程におけるうるち米米飯の物性を支配する要因としてアミロースの役割が大きいと考えられた。さらに低温下で登熟したうるち米は、高温登熟米、中温登熟米に比べ硬く粘りが乏しい米飯となるが、アミロース含有率も低温登熟米で著しく増加することから、登熟温度がうるち米米飯の物性に及ぼす要因としても、アミロースの重要性が考えられた。またもち米のテクスチャーは、登熟温度による影響および品種間差異がかなり小さいのは、もち米デンプンは総てアミロペクチンから構成されているためと考えられた。以上のことから従来の報告通り、米飯のテクスチャーを支配する要因の一つとして、アミロースの重要性が確認された。

しかしながら、もち米では登熟全期間を通じアミロースは検出されなかったにもかかわらず、未熟期には硬く粘りが乏しい米飯となるが、登熟の進行とともに硬さを減じ、粘りを増すことを認めた。

また追肥窒素量の増加にともない、うるち米米飯の硬さ的要素は明らかに増加し、粘り的要素は追肥窒素量が著しく少ない場合や高い場合に低くなることがわかった。しかしアミロース含有率は追肥量に影響されなかった。さらに貯蔵にともないアミロース含有率は変化しないにもかかわらず、米飯は硬く粘りが乏しいものとなった。以上のことから考えると、アミロース含量からだけでは米飯の物性を説明するのは、困難であると思われた。

米飯のテクスチャーに影響を与える要因として、タンパク質も考えられている。タンパク質は、デンプン粒を包囲してデンプンの膨潤、糊化を阻害するとされている^{7,51)}。未熟粒が硬く粘りが乏しいものとなる原因として、登熟初期には米粒のタンパク質含有率が高いことも一要因と考えられる。また穂揃期窒素追肥処理により、アミロース含有率や結合脂質含有率は影響を受けなかったにもかかわらず、タンパク質含有率は追肥量にともない明らかに高まった。米飯の硬さ的要素もタンパク質含有率の増加にともない明らかに高まり、粘り的要素はタンパク質含有率が著しく低い場合や高い場合に低くなった。これらのことからタンパク質、とくに難溶性タンパク質も米飯のテクスチャーに対し重要な役割を演じていることが示唆された。しかし低温下で登熟したうるち米で、タンパク質含有率は最も低いにもかかわらず、米飯は硬く粘りが乏しいものとなり、またもち米でも、低温登熟米でタンパク質含有率は最も低くなるにもかかわらず、米飯のテクスチャーは登熟温度には影響されなかった。これらの場合はタンパク質による影響よりも、アミロースや結合脂質の影響が強く現れたものと思われるが、この相互作用の点については今後さらに検討する必要がある。

結合脂質も米飯の物性を支配する重要な要因の一つと思われる。結合脂質は、脂肪酸がデンプンのアミロースの螺旋構造と結合したもので、水の浸入を阻害してデンプンの膨潤、糊化を妨げると考えられている^{29, 30)}。しかし本実験の結果は、結合脂質はアミロースのみならず、アミロペクチンの長鎖の部分とも結合している可能性を示唆した。未熟期には結合脂質含有率が高いことから、このことが未熟粒が硬く粘りが乏しい米飯となる原因の一つと思われた。また低温下で登熟したうるち米米飯が硬く粘りが乏しくなる要因の一つとして、アミロースのほかに結合脂質含有率が高いことも考えられた。もち米米飯のテクスチャーは、処理温度による影響が小さかった一要因として、結合脂質含有率に有意な差が認められなかったためと思われる。さらに貯蔵にともなう米飯の物性を支配する主要因として、結合脂質が最も関与していることは第5章で述べたとおりである。

以上のことからうるち米では難溶性タンパク質、アミロースおよび結合脂質が相互に作用し合い、デンプンの膨潤、糊化を阻害し、米飯のテクスチャーに影響を及ぼすものと思われる。またアミロースを欠くもち米では、主に難溶性タンパク質、結合脂質がデンプンの膨潤、糊化阻害要因となるものと思われる。アミロースおよび結合脂質含有率の変化が小さいときには、難溶性タンパク質が米飯のテクスチャーに影響を及ぼすことが推察された。いったん登熟期に粒質が形成された後の貯蔵過程では、貯蔵中増加した遊離脂肪酸とデンプンのアミロースおよびアミロペクチンの一部とが結合した結合脂質が、米飯のテクスチャーに大きな影響を及ぼすことが示唆された。

従来、アミロース含量と米飯の物性との関係について多くの研究がなされてきたが、今後はタンパク質および結合脂質をさらに定性的、定量的に調べることにより、テクスチャーとの関係を検討していく必要がある。とくに本実験で得られた結合脂質含有率の僅かな増減が、米飯の物性にどれほどの影響を及ぼしているかは、今後さらに検討する必要がある。また最近、ヨウ素親和力が高い米デンプンは、アミロペクチンの長鎖の割合が高いことが、竹田ら^{89, 90, 91, 92, 93})により報告されている。アミロペクチンの構造の違いもテクスチャーに影響を及ぼすものと考えられるので、この点からも検討していく必要がある。

米の呈味成分と考えられる遊離アミノ酸については、過熟米では米飯付着遊離アミノ酸含量が減少することから、過熟米はうま味が薄れることが推論された。江幡ら²³)は、過熟米の米飯のテクスチャーは劣化することを示しており、過熟米はテクスチャーのみならずうま味も低下するものと思われた。また穂揃期窒素追肥の影響により、米飯のテクスチャー値が低くなるタンパク質含有率と同じ範囲のタンパク質含有率の米で、遊離アミノ酸含量も低下したことから、著しい低タンパク質米や高タンパク質米は、テクスチャーのみならずうま味も同時に低下することが示唆された。

遊離アミノ酸含量の品種間差異を調べた結果、良食味品種において総遊離アミノ酸含量およびグルタミン酸含量が多かった。従来、良食味品種では白米中のグルタミン酸含量が高いとされてきた^{75, 87, 98})が、著者が真の呈味成分と考える米飯付着遊離アミノ酸においてこの傾向は顕著であった。今後は米の呈味成分として、おねぼの中に含まれるグルタミン酸が有効な指標となりうるであろう。

本研究においても良食味品種米は、炊飯時におねばとともに遊離アミノ酸、とくにグルタミン酸が溶出しやすいことを認めるとともに、食味の良い米はテクスチャーの粘りの要素が優れていることを、第2章および第3章で明らかにした。これらのことは、呈味成分の溶出のしやすさが、おねばの溶出性を通じて米飯のテクスチャーの粘りの要素と密接な関係があることを強く示唆するものである。

しかしながら、テクスチャーの粘りの要素は貯蔵にともない低下したにもかかわらず、米飯付着のグルタミン酸含量は、顕著な変化は認められなかった。また未熟米および低温登熟米のテクスチャーは硬く粘りが乏しいにもかかわらず、遊離アミノ酸含量は多かった。これらのテクスチャーの粘りの要素と呈味成分との関係については、今後の研究でさらに明らかにし、米の食味的品質の改善に寄与したい。

第 7 章 総 合 摘 要

米は、日本人の主食として重要な地位を占め、稲作は我が国農業の基幹的地位を担ってきたにもかかわらず、現在まだ良食味米が持つ条件について、充分には解明されていない。そこで本研究は米の食味性に関して、主に米飯の物性、いわゆるテクスチャーと呈味成分の視点から解明するために行った。米飯のテクスチャーに及ぼす影響として、白米中のタンパク質、デンプンのアミロースおよび結合脂質を調査した。また米の呈味成分（うま味成分）としては、従来白米中の遊離アミノ酸が考えられてきた。しかし我々が飯を食べたとき、うま味として感じるのは、白米全体に含まれる呈味成分ではなく、口中のそしゃくに際して容易に溶出し得る米飯の表層の”おねぼ”の中に含まれる成分と考え、白米の場合と比較した。以上の観点から、登熟過程、登熟条件、品種の違い、さらに貯蔵過程が米の食味性に及ぼす影響を検討した結果、以下の点が明らかとなった。

1. うるち米、もち米とも米飯のテクスチャーは、未熟なものほどそしゃく性で示される硬さ的要素が大きく、粘着性で示される粘り的要素は逆に低い値を示した。しかし登熟にともないそしゃく性値は減少し、粘着性および食味指数値は増加し、出穂後30～40日目以降一定値となった。登熟過程におけるテクスチャーの形成機構には、うるち米ともち米の間に本質的な差異は認められなかった。一方、登熟にともないタンパク質、アミロースおよび結合脂質含有率は、テクスチャーのそしゃく性の変化と同様な変化傾向を示した。登熟初期には、米粒中のタンパク質含有率は大変高いことから、タンパク質によりデンプンの膨潤、糊化が阻害され、未熟粒の米飯は

硬く粘りが乏しいものになると考えられた。アミロースもうるち米では、登熟にともなうテクスチャーの主要な変化要因の一つとして考えられた。しかしもち米では、登熟期間中アミロースは検出されないにもかかわらず、テクスチャーは変化することから、アミロースはテクスチャーの変化を支配する唯一の要因ではないことが認められた。さらに未熟期には結合脂質含有率が高いことから、結合脂質もデンプンの膨潤、糊化を妨げて未熟米米飯を硬く粘りが乏しいものにすると考えられた。以上から、うるち米ではタンパク質、とくに難溶性タンパク質、アミロースおよび結合脂質が、またアミロースを欠くもち米では、主に難溶性タンパク質、結合脂質がデンプンの膨潤、糊化を阻害する上で、重要な役割を果しているものと思われた。

呈味成分としての遊離アミノ酸含量は未熟米では多かったが、登熟にともない減少した。とくに出穂初期の15日目から25日目までに急減した。白米の遊離アミノ酸含量は成熟期まで減少し、その後は一定値となったが、米飯付着遊離アミノ酸含量は、過熟期まで減少し続けた。以上から過熟米では、うま味が薄れることが示唆された。また米飯付着遊離アミノ酸の組成割合は、登熟にともない大きく変化した。白米ではほとんど変化しなかった。

2. 穂揃期窒素追肥処理により、白米タンパク質含有率は増加した。追肥処理により増加したタンパク質の大部分は難溶性タンパク質であり、水溶性タンパク質はほとんど増加しなかった。米飯のテクスチャーのうち、そしやく性値はタンパク質含有率の増加にともない増加した。粘着性および食味指数値は、タンパク質含有率が非常に低い場合や高い場合には低下し、約8.5%のところにピークを持つ

なめらかな曲線を描いた。アミロースおよび結合脂質含有率は、タンパク質含有率と関係がみられなかった。以上のことから、アミロースおよび結合脂質含有率の変化が小さいときには、米飯のテクスチャーは、タンパク質、とくに難溶性タンパク質に強く影響されることが推察された。

また著しい低タンパク質米や高タンパク質米では、白米および米飯付着遊離アミノ酸含量は少なくなった。テクスチャーの粘着性も同じ範囲のタンパク質含有率のときに低下することから、遊離アミノ酸の溶出性は、テクスチャーの粘り的要素と密接な関係があることを認めた。著しい低タンパク質米や高タンパク質米は、テクスチャーの面からも不味となる傾向を示し、うま味も薄れることが示唆された。

3. 登熟期の温度処理により、うるち米では低温区の米飯はそしゃく性値が顕著に大きく、粘着性および食味指数値は顕著に小さくなった。しかし高温区と中温区のテクスチャー値の差異は僅少であった。一方もち米米飯のテクスチャーは登熟温度に影響されなかったことから、もち米の食味性はうるち米に比べてかなり安定していると考えられた。アミロースおよび結合脂質含有率は、うるち米では低温登熟米で顕著に高まったが、もち米では登熟温度に影響されなかった。タンパク質含有率は、うるち米、もち米とも低温登熟米で減少した。以上のことから登熟温度がうるち米米飯のテクスチャーに及ぼす影響は、アミロースおよび結合脂質含有率の変化によるものであり、タンパク質含有率には影響されないことが明らかとなった。また、もち米米飯のテクスチャーは、登熟温度に影響されないことも確かめられた。

さらに低温登熟米では、遊離アミノ酸含量は中、高温登熟米に比べ高くなった。米飯のテクスチャーおよび遊離アミノ酸含量から判断すると、低温登熟米は、やや未熟米的性質を残しているものと考えられた。

4. 良食味品種の米は総遊離アミノ酸含量およびグルタミン酸含量は多かったが、白米よりも米飯付着遊離アミノ酸においてこの傾向は顕著であった。良食味米は炊飯時におねぼとともに遊離アミノ酸、とくにグルタミン酸が溶出しやすいことがわかった。呈味成分の溶出のし易さは、おねぼの溶出性を通じて米飯のテクスチャーの粘り要素と密接な関係があると考えられた。

5. 高温、高含水率で貯蔵した粳米は、貯蔵後急速に炊飯特性が低下し、食味性に影響を及ぼすことが認められた。しかし低温、低含水率で貯蔵した粳米は、食味性の劣化は極めてゆっくり進行することが分かった。貯蔵初期には、過湿米の食味性は最も優れており、過乾燥米で最も劣った。しかし過湿米の食味性は急速に劣化していくが、過乾燥米の食味性は長期間にわたり維持されることが分かった。また加熱吸水膨潤性は飯の硬さと、溶出固形物は飯の粘りと密接な関係があることを認めた。

次に粳米での長期貯蔵にともないそしゃく性値は、もち米を除いて増加した。一方、粘着性値および食味指数値は減少した。長期貯蔵にともなうテクスチャーの変化は、貯蔵1～2年間の貯蔵初期の変化がとくに著しかった。長期貯蔵にともない難溶性タンパク質含有率およびアミロース含有率には有意な変化は認められなかったが、結合脂質含有率は増加した。したがって、貯蔵にともなうテクスチャーの変化を支配する要因として、結合脂質が最も密接に関与して

いることが示唆された。脂肪酸度は長期貯蔵にともない増加し、炊飯液中のpH値は減少した。脂肪酸度の増加は、結合脂質含有率の増加と炊飯液中のpH値の減少の両者と関係しているものと思われた。

呈味成分の観点からは、白米グルタミン酸含量は貯蔵にともない減少したが、米飯付着グルタミン酸含量には、顕著な変化は認められなかった。しかし全アミノ酸中に占めるグルタミン酸の割合は両者とも減少した。

以上のことから結合脂質含有率の増加にともなうテクスチャーの劣化、グルタミン酸含量やアミノ酸組成におけるグルタミン酸の割合の減少、あるいは古米化にともなう炊飯液中のpH値の低下などの呈味要素の変化が、複合的に影響しあい、貯蔵にともなう米飯の食味性の低下の原因となっていると結論される。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、終始有益な御助言と懇切な御指導をしていただきました名古屋大学農学部江幡守衛教授に、心から感謝の意を表します。

また逢原雄三教授、川岸舜朗教授、河野恭広助教授、田代 亨博士からも御指導と有益な御助言を賜りました。ここに深く感謝いたします。結合脂質抽出法に関しては、大澤俊彦助教授より御助言をいただきました。ここに謝意を表します。

さらに本研究の遂行にあたり、いつも御協力していただきました石川雅士技官、丹羽キミエ技官および作物学研究室の皆様にも感謝いたします。

最後に本研究の遂行を陰ながら応援してくれました我が最愛の妻、里恵に深く感謝します。

引用文献

1. Asaoka, M., K. Okuno, Y. Sugimoto, J. Kawakami and H. Fuwa 1984. Effect of environmental temperature during development of rice plants on some properties of endosperm starch. *Starch/Stärke* 36:189-193.
2. ———, ——— and H. Fuwa 1985. Effect of environmental temperature at the milky stage on amylose content and fine structure of amylopectin of waxy and nonwaxy endosperm starches of rice (*Oryza sativa* L.). *Agric. Biol. Chem.* 49:373-379.
3. ———, ———, Y. Sugimoto and H. Fuwa 1985. Developmental changes in the structure of endosperm starch of rice (*Oryza sativa* L.). *Agric. Biol. Chem.* 49:1973-1978, 1985.
4. American Association of Cereal Chemists 1957. *Cereal Laboratory Methods* (6th ed.). Amer. Assoc. Cereal Chem., Inc. 20-23.
5. Association of Official Analytical Chemists 1980. *Official Methods of Analysis*. (13th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., Section 14019.
6. Briones, V. P., L. G. Magbanua and B. O. Juliano 1968. Changes in physicochemical properties of starch of developing rice grain. *Cereal Chem.* 45:351-357.
7. Chandrashekar, A. and A. W. Kirleis 1988. Influence of protein on starch gelatinization in sorghum. *Cereal Chem.*

65:457-462.

8. Cagampang, G.B., L.J. Cruz and B.O. Juliano 1971. Free amino acids in the bleeding sap and developing grain of the rice plant. *Cereal Chem.* 48:533-539.
9. 竹生新治郎・岩崎哲也・谷達雄 1960. 米の炊飯嗜好特性に関する研究(第1報). 日本米と輸入米の比較. *栄養と食糧* 13:137-140.
10. —————・—————・堀内久弥・谷達雄 1965. 低温貯蔵法における米の化学的品質の変化(その2). *栄養と食糧* 18:204-209.
11. —————・柳瀬肇・遠藤勲・菊池三千雄・谷達雄 1966. 一時貯留における生モミの乾燥程度と貯蔵性. *日作紀* 34:472-477.
12. Choudhury, N.H. and B.O. Juliano 1980. Lipids in developing and mature rice grain. *Phytochemistry* 19:1063-1069.
13. Deshpande, S.S. and K.R. Bhattacharya 1982. The texture of cooked rice. *J. Texture Stud.* 13:31-42.
14. Desikacher, H.S.R. 1956. Changes leading to improved culinary properties of rice on storage. *Cereal Chem.* 33:324-328.
15. ————— and V. Subrahmanyam 1959. Expansion of new and old rice during cooking. *Cereal Chem.* 36:385-391.
16. ————— and ————— 1960. The relative effects of enzymatic and physical changes during storage on the culinary properties of rice. *Cereal Chem.* 37:1-8.

17. De Stefanis, V.A., J.G. Ponte, Jr., F.H. Chung and N.A. Ruzza
1977. Binding of crumb softeners and dough strengtheners
during breadmaking. *Cereal Chem.* 54:13-24.
18. Dexter, J.E. and B.L. Dronzek 1976. Amino acids composition
of the endosperm free amino acids and proteins from a
maturing common wheat and its extracted tetraploid.
J. Agric. Food Chem. 24:674-676.
19. 江幡守衛 1961. 心白米に関する研究. 第4報 心白の発現に及
ぼす夜温の影響. *日作紀* 29:409-411.
20. ———・石川小夜子 1977. 粳米の貯蔵にともなう炊飯特性の
変化とその品種間差異. *日作東海支部研究梗概* 79:37-41.
21. ———・柴田 哲 1981. 米飯のテクスチャーにおける二、三の
問題について. *日作東海支部研究梗概* 91:27-34.
22. ———・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*
51:235-241.
23. ———・———・柴田 哲 1982. ———.
第2報 粒形、成熟度、粒質の影響. *日作紀* 51:242-247.
24. ———・山田 勉・石川雅士 1989. ———.
第3報 テクスチャーの品種間差異. *日作紀* 58:569-575.
25. Eliasson, A.C. and G. Ljunger 1988. Interactions between
amylopectin and lipid additives during retrogradation in a
model system. *J. Sci. Food Agric.* 44:353-361.
26. 遠藤 勲・竹生新治郎・鈴木 実・小林亨一・中正三 1971.
理化学的測定による米の食味評価. *食総研報* 31:1-11.

27. Evans, I. D. 1986. An investigation of starch/surfactant interactions using viscosimetry and differential scanning calorimetry. *Starch/Stärke* 38:227-235.
28. Fujino, Y. and T. Miyazawa 1976. Neutral lipids present in starch of uruchi and mochi rice. *Starch/Stärke* 28:414-420.
29. Gray, V. M. and T. J. Schoch 1962. Effects of surfactants and fatty adjuncts on the swelling and solubilization of granular starches. *Starch/Stärke* 14:239-246.
30. 後藤富士雄 1972. プラストグラフによる高濃度澱粉乳の糊化性測定の研究. (第3報) 澱粉の糊化性状におよぼす脂肪酸の影響. *澱粉科学* 19:76-89.
31. Hahn, D. E. and L. F. Hood 1987. Factors influencing corn starch-lipid complexing. *Cereal Chem.* 64:81-85.
32. Hizukuri, S. 1969. The effect of environment temperature of plants on the physicochemical properties of their starches. *Denpun Kagaku* 17:73-88.
33. 本庄一雄 1971. 米のタンパク含量に関する研究. 第2報 施肥条件のちがいが玄米のタンパク質含有率およびタンパク質総量に及ぼす影響. *日作紀* 40:190-196.
34. ————・平野 貢・藤瀬一馬 1980. ————. 第5報 穂揃期窒素追肥および葉面散布窒素の穂への移行と米粒タンパク質含有率に及ぼす影響. *日作紀* 49:467-474.
35. 稲津 脩 1979. 北海道産米の品質改善に関する研究. *澱粉科学* 26:191-197.
36. Indudhara Swamy, Y. M., C. M. Sowbhagya and K. R. Bhattacharya

1978. Changes in the physicochemical properties of rice with aging. *J.Sci.Food Agric.* 29:627-639.
- 37.石倉教光・升尾洋一郎 1969. 生粳の一時貯留に関する研究.
第1報 粳水分ならびに貯蔵温度が粳の変質に及ぼす影響.
日作紀 38:137-142.
- 38.石間紀男・平 宏和・平 春枝・御子柴 穆・吉川誠次 1974.
米の食味に及ぼす窒素施肥および精米中のタンパク質含有率の影響.
食総研報 29:9-15.
- 39.Jones,D.B. and Chas.E.F.Gersdorff 1941. The effect of storage on the protein of wheat, white flour, and whole wheat flour. *Cereal Chem.* 18:417-434.
- 40.Juliano,B.O.,G.B.Cagampang,L.J.Cruz and R.G.Santiago 1964. Some physicochemical properties of rice in southeast Asia. *Cereal Chem.* 41:275-286.
41. ———, L.U. Onate and A.M. del Mundo 1965. Relation of starch composition, protein content, and gelatinization temperature to cooking and eating qualities of milled rice. *Food Technology* 19:116-121.
42. ——— 1968. Relation of some properties of rice starch and protein to eating quality preferences for milled rice in Asia. *Getreide u. Mehl* 18:82-84.
43. ——— 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science Today* 16:334-340,360.
44. ——— and C.M.Perez 1983. Major factors affecting cooked milled rice hardness and cooking time. *J.Texture*

Stud. 14:235-243.

45. 科学技術庁資源調査会 1978. 日本食品標準成分表の改訂に関する調査報告. 資源調査報告 77:26-27.
46. Kester, E. B., H. C. Lukens, R. E. Ferrel, A. Mohammad and D. C. Finrock 1963. Influence of maturity on properties of western rices. *Cereal Chem.* 40:323-336.
47. Klopfenstein, W. E. and Y. Pomeranz 1968. Fatty acids in lipids of maturing wheat. *Lipids* 3:557-560.
48. 倉沢文夫・伊賀上郁夫・早川利郎・高橋善策 1969. 米デンプンの物理化学的性質. 特に米質を中心として. *植物生理* 8:38-46.
49. ——— 1969. コメの味 (I). コメの味と精白米の理化学的性質. *遺伝* 23:73-78.
50. ——— 1970. ——— (II). コメの味と精白米の構成成分. *遺伝* 24:42-47.
51. Little, R. R. and E. H. Dawson 1960. Histology and histochemistry of raw and cooked rice kernels. *Food Research* 25:611-622.
52. Maniñgat, C. C. and B. O. Juliano 1980. Starch lipids and their effect on rice starch properties. *Starch/Stärke* 32:76-82.
53. 間野康男・大西政男・伊藤精亮 1988. ジャポニカ米とインデカ米の澱粉とプロテインボディの結合脂質について. *澱粉科学* 35:49-55.
54. Kumar, B. M., J. K. Upadhyay and K. R. Bhattacharya 1976. Objective tests for the stickiness of cooked rice.

- J.Texture Stud. 7:271-278.
55. Martin del Molino, I.M., B.Rojo, R.M.Carrasco and P.Perez
1988. Amino acid composition of wheat grain. I: Changes
during development. J.Sci.Food Agric. 42:29-37.
56. 松島省三・松崎昭夫 1972. V字理論による安全良質稲作(4).
農及園 47:1271-1276.
57. 松下アヤコ 1961. 穀類の遊離アミノ酸含有量に関する研究
(第1報). 米類について. 栄養と食糧 14:188-190.
58. ———— 1963. ———— (第3報). 米成熟過程における
遊離アミノ酸含量の変化について. 栄養と食糧 16:220-223.
59. 松崎昭夫・松島省三・富田豊雄・勝木依正 1972. 水稻収量の成
立原理とその応用に関する作物学的研究. 第109報 穂揃期窒素追
肥が倒伏抵抗性・根の活力・収量および品質におよぼす影響.
日作紀 41:139-146.
60. 長戸一雄・江幡守衛・反田嘉博 1960. 早期栽培稲の米質に関す
る研究. 日作紀 28:359-362.
61. ————・———・河野恭広 1961. 米の品質からみた早期栽
培に対する適応性の品種間差異. 日作紀 29:337-340.
62. ————・——— 1965. 登熟期の高温が穎果の発育ならびに米
質に及ぼす影響. 日作紀 34:59-66.
63. Nagato, K. and F.M.Chaudhry 1969. Ripening of japonica and
indica type rice as influenced by temperature during
ripening period. Proc.Crop Sci.Soc.Japan 38:657-667.
64. 長戸一雄 1971. 貯蔵および乾燥方法が米の炊飯特性に及ぼす
影響. 日作紀 40:299-305.

65. ————・江幡守衛・石川雅士 1972. 米粒の蛋白質含量に関する研究. 日作紀 41:472-479.
66. Nikuni, Z., S. Hizukuri, K. Kumagai, H. Hasegawa, T. Moriwaki, T. Fukui, K. Doi, S. Nara and I. Maeda 1969. The effect of temperature during the maturation period on the physico-chemical properties of potato and rice starches. Mem. Inst. Sci. and Ind. Res., Osaka Univ., 26:1-27.
67. 二國二郎監修 1977. 澱粉科学ハンドブック. 朝倉書店, 東京. 174-175.
68. 西村 実・山内富士雄・大内邦夫・浜村邦夫 1985. 北海道の最近の水稲品種及び系統の食味特性の評価. 低温年及び高温年産米における理科学的特性と官能試験結果の対応. 北海道農試研報 144:77-89.
69. 農林省食糧研究所 1969. 米の品質と貯蔵, 利用. 食糧技術普及シリーズ 第7号 25-45.
70. ———— 1969. ————. 食糧技術普及シリーズ 第7号 68-86.
71. 農林水産省農林水産技術会議事務局 1974. 米の食味に関する研究. 1974 研究成果. 77:5-74.
72. 岡部元雄 1971. テクスチュロメーターによる新しい考察. 調理科学 4:156-162.
73. ———— 1977. 米飯の食味に関する研究(その1). New Food Industry 19:65-71.
74. 岡村保 1936. 百年前の米. 日作紀 8:450-456.
75. 岡崎正一・沖 佳子 1961. 精白米中の遊離アミノ酸について.

農化 35:194-199.

76. Patrick, R.M. and F.H. Hoskins 1974. Protein and amino acid content of rice as affected by application of nitrogen fertilizer. *Cereal Chem.* 51:84-95.
77. Perez, C.M. and B.O. Juliano 1979. Indicators of eating quality for non-waxy rices. *Food Chem.* 4:185-195.
78. ——— and ——— 1981. Texture changes and storage of rice. *J. Texture Stud.* 12:321-333.
79. Pixton, S.W. and S.T. Hill 1967. Long-term storage of wheat. II. *J. Sci. Food Agr.* 18:94-98.
80. 作物分析法委員会 1975. 栄養診断のための栽培植物分析測定法. 養賢堂, 東京. 63-69.
81. 渋谷直人・岩崎哲也・柳瀬 肇・竹生新治郎 1974. 古米化に関する研究. (第1報) 玄米および白米の貯蔵中の変化について. *日本食品工業学会誌* 21:597-603.
82. Singh, R. and B.O. Juliano 1977. Free sugars in relation to starch accumulation in developing rice grain. *Plant Physiol.* 59:417-421.
83. Szczesniak, A.S. 1963. Classification of textural characteristics. *J. Food Sci.* 28:385-396.
84. 平 宏和・平 春枝 1963. 食用作物のアミノ酸組成(6報). 米の全アミノ酸および遊離アミノ酸における移植期および熟期の差異の影響. *栄養と食糧* 16:449-452.
85. ———・松島省三・松崎昭夫 1970. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. 第92報 窒素施肥による米の蛋白

- 質の収量およびその栄養価増大の可能性の栽培試験。日作紀
39:33-41.
86. ———— 1985. 米飯の食味。遺伝。39:73-76.
87. 高野圭三・野津幹雄 1961. 米の遊離アミノ酸の種類。日作紀
29:216-218.
88. 滝基次 1959. 澱粉のクロマトグラフィーに関する研究
(第6報)。熟期別米粒澱粉のアミロース含量について。
農化 33:778-781.
89. Takeda, Y., S. Hizukuri and B. O. Juliano 1986. Purification
and structure of amylose from rice starch. Carbohydr. Res.
148:299-308.
90. ————, ———— C. Takeda and A. Suzuki 1987.
Structures of branched molecules of amyloses of various
origins, and molar fractions of branched and unbranched
molecules. Carbohydr. Res. 165:139-145.
91. ————, ———— and B. O. Juliano 1987. Structures of
rice amylopectins with low and high affinities for iodine.
Carbohydr. Res. 168:79-88.
92. ————, ———— and ———— 1989. Structures
and amounts of branched molecules in rice amyloses.
Carbohydr. Res. 186:163-166.
93. ————, N. Maruta, S. Hizukuri and B. O. Juliano 1989.
Structures of indica rice starches (IR48 and IR64) having
intermediate affinities for iodine. Carbohydr. Res. 187:
287-294.

94. 谷 達雄・竹生新治郎・岩崎哲也 1964. 低温貯蔵法における米の化学的品質の変化(その1). 栄養と食糧 16:436-441.
95. ———・吉川誠次・竹生新治郎・堀内久弥・遠藤 勲・柳瀬 肇 1969. 米の食味評価に係る理化学的要因(I). 栄養と食糧 22:452-461.
96. 田代 亨・江幡守衛 1975. 腹白米に関する研究. 第3報 登熟期の環境条件が腹白米発現におよぼす影響. 日作紀 44:86-92.
97. ———・————— 1975. ————. 第4報 白色不透明部の胚乳細胞の形態的特徴. 日作紀 44:205-214.
98. 富田豊雄・浪岡 実・長尾学禧 1974. 作物の診断学的研究とその応用. 米の化学的特質と食味向上に関する研究. 日作紀 43:469-474.
99. Villareal, R.M., A.P. Resurreccion, L.B. Suzuki and B.O. Juliano 1976. Changes in physicochemical properties of rice during storage. Starch/Stärke 28:88-94.
100. Yamaguchi, S. and C. Takahashi 1984. Hedonic functions of monosodium glutamate and four basic taste substances used at various concentration levels in single and complex systems. Agric. Biol. Chem. 48:1077-1081.
101. 山本和夫・沢田澄恵・小野垣俊雄 1973. アルカリ法による米澱粉の調製とその性状について. 澱粉科学 20:99-104.
102. 山下鏡一・藤本堯夫 1974. 肥料と米の品質に関する研究.
2. 窒素肥料が米の食味、炊飯特性、デンプンの理化学的性質等に及ぼす影響. 東北農試研報 48:65-80.
103. 柳瀬 肇・遠藤 勲・竹生新治郎 1981. もち米の品質、加工特性

- に関する研究。(第1報)もち米の性状、搗精品質ならびに二、
三の貯蔵性。食総研報 38:1-9.
104. ———・大坪研一 1985. 精米加工と米飯食味の関係(第3報)
過度乾燥米のとう精品質と米飯テクスチャー。
日作紀 54(別2):116-117.
105. Yasumatsu, K. and S. Moritaka 1964. Fatty acid
compositions of rice lipid and their changes during
storage. Agr. Biol. Chem. 28:257-264.
106. ———, ——— and T. Kakinuma 1964. Effect of the change
during storage in lipid composition of rice on its
amylogram. Agr. Biol. Chem. 28:265-272.
107. 横尾政雄 編著 1989. 米のはなし I. 技報堂出版, 東京.
128-133.
108. ——— 1989. ——— II. 技報堂出版, 東京. 29-35.
109. 吉川誠次・西丸震哉・石塚美音子・安井初子 1965. 早期・早植
栽培米の食味評価。食総研報 20:66-77.
110. Zeleny L. and D. A. Coleman 1938. Acidity in cereals and
cereal products, its determination and significance.
Cereal Chem. 15:580-595.

報文目錄

1. Tamaki, M., M. Ebata, T. Tashiro and M. Ishikawa. Physico-ecological studies on quality formation of rice kernel. I. Effects of nitrogen top-dressed at full heading time and air temperature during ripening period on quality of rice kernel. Japan. Jour. Crop Sci. 58:653-658 (1989).
2. Tamaki, M., M. Ebata, T. Tashiro and M. Ishikawa. Physico-ecological studies on quality formation of rice kernel. II. Changes in quality of rice kernel during grain development. Japan. Jour. Crop Sci. 58:659-663 (1989).
3. Tamaki, M., M. Ebata, T. Tashiro and M. Ishikawa. 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. Japan. Jour. Crop Sci. 58:695-703 (1989).