

アミログラム特性の糊化開始温度による水稻もち品種の餅硬化速度の評価方法と餅硬化速度からみた糊化開始温度と登熟温度

松江勇次*・内村要介・佐藤大和

(福岡県農業総合試験場)

要旨: 早晚性を異にする水稻もち極早生2, 早生2および晩生2品種の計6品種を供して, 餅硬化速度とアミログラム特性の糊化開始温度および出穂後20日間の平均気温(登熟温度)との関係を検討し, 糊化開始温度を利用した餅硬化速度の評価方法の適否と餅硬化速度からみた糊化開始温度と登熟温度を明らかにした。いずれの品種も餅硬化速度(数値が小さいほど速度が速い)と糊化開始温度との間には強い有意な負の相関関係が認められ, 餅硬化速度が速いほど糊化開始温度は高いことを示した。この結果から, 同一品種においても餅硬化速度は糊化開始温度で評価できることが判明した。また, 糊化開始温度が62℃以下になると餅硬化速度が1.0以上と著しく遅くなって加工適性は劣った。よってこの糊化開始温度62℃は硬化速度の優れるもち品種育成・選定のための簡易な選抜技術の指標形質として活用できることが示唆された。次に, 登熟温度は餅硬化速度との間に強い有意な負の相関関係が, 糊化開始温度との間には強い有意な正の相関関係が認められ, 登熟温度が高いほど糊化開始温度が高く, 餅硬化速度は速くなることを示した。さらに, 登熟温度が24℃以下になると糊化開始温度が62℃以下となって餅硬化速度が1.0以上と著しく遅くなった。餅硬化速度の生産年次間と品種間の分散成分の値を比較すると, 生産年次間の分散成分の方が品種間の分散成分より大きかったことから, 餅硬化速度は生産年次, すなわち登熟温度の影響が大きいことが示唆された。

キーワード: 硬化速度, 糊化開始温度, 水稻, 登熟温度, 餅, もち米品種。

もち米の商品としての加工利用は主として切り餅とあられである。これらを製造する場合は, いずれも軟らかくて粘る餅を切断加工しやすくするために, 冷却, 冷蔵工程が設けられている。この工程における冷蔵(約5℃)期間は, 一般的に切り餅で2日間, あられで1~3日間位とされている(赤間・有坂 1992)。このように冷却, 冷蔵工程には長い時間を要するために餅硬化速度の速い, 遅いが餅製造の生産性コストに与える影響は大きい。このため, もち米市場においては餅の硬化性もち米の品質として重要視され, 冷却時に速やかに硬化する餅になるもち米が品質に優れると評価されているとともに, 餅硬化速度の速いもち品種が求められている。

餅硬化速度については, もち米の品種, 産地によって異なることが明らかにされている(斎藤 1987, 柳瀬ら 1982)。斎藤(1987)は, 異なる産地ともち米品種をこみにした場合の餅硬化速度と登熟温度との関係を検討した結果, 餅硬化速度と登熟温度との間に正の相関関係を認め, 餅硬化速度は登熟温度が高くなるのにもとない速くなることを報告している。また, 柳瀬ら(1982)は水稻および陸稻もち米品種を用いて, 斎藤(1987)は前述した同一材料でもって, 餅硬化速度はアミログラム特性の糊化開始温度と関係していることを明らかにした。しかし, これらの報告では同一品種内で餅硬化速度と登熟温度, 糊化開始温度との関係が十分に検討がなされていないため, 同一品種における糊化開始温度を利用した餅硬化速度の評価方法の適

否が判然としない。さらには, 餅硬化速度と登熟温度との関係で品種特性なのか登熟温度の要因に大きく影響を受けているのかが不明である。また, 適性な餅硬化速度からみた糊化開始温度, 登熟温度も明らかにされていない。糊化開始温度は, 育種家にとって餅硬化速度の速い良質もち品種を選抜し, 評価していく際の優れた指標形質になり, 登熟温度は, 生産者にとって良質もち米生産上, その地域の移植時期を設定するのに重要な要因である。

そこで本県産もち米の販路拡大のための良質もち米生産技術を確立するために, 品種別に餅硬化速度とアミログラム特性の糊化開始温度および登熟温度との関係を検討し, 糊化開始温度を利用した餅硬化速度の評価方法の適否と餅硬化速度からみた糊化開始温度と登熟温度を明らかにした。

材料と方法

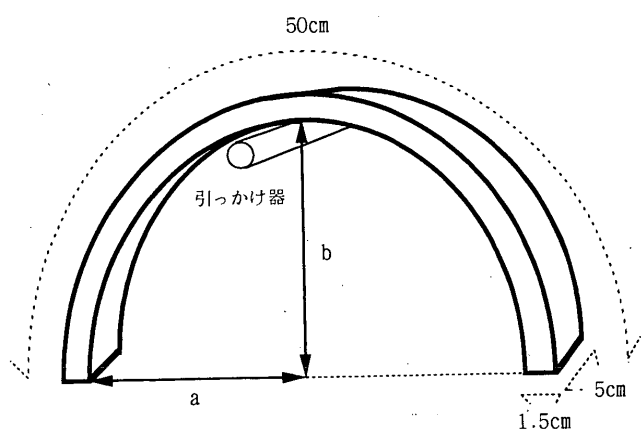
試験は1999年と2000年の2カ年にわたって, 福岡県農業総合試験場農産研究所の砂壤土水田において行った。供試品種は極早生種いでゆもち, ヒデコモチ, 早生種はつもち, ハクトモチ, 晩生種ひみこもち, ヒヨクモチを用いた。移植時期は4月20日(早期栽培), 6月10日(標準栽培), 7月10日(晩期栽培)の3水準を設けた。苗は稚苗で1株4本の手植えで, 栽植密度は条間30cm, 株間15cmとした(22.2株/m²)。窒素施肥量(基肥+第1回穂肥+第2回穂肥)は全品種とも5+2+1.5g/m²とし

た。試験規模は1区10 m²の2区制とした。餅硬化速度とアミログラム特性には搗精が90%台の精米を用いた。アミログラム特性はブラベンダービスコグラフ (ブラベンダー社、ドイツ) を用いて、精米粉50 gを0.01 モル硫酸銅水溶液450 mLで懸濁し、30°Cから93°Cまで一定速度 (1.5°C/分) で加熱し、93°Cに10分間保ち、以後冷却しながら測定を反復なしで行った。餅硬化速度は第1図のように硬化速度の指標である曲がり度合い (b/a, b/a 値が小さいほど餅硬化速度は速いことを表す) で示し、長さ50 cm、厚さ1.5 cm、幅5 cmの餅を製造後、5°Cで22 hr冷蔵貯蔵し、引っ掛け器に下げて2反復で測定し (山下1996)、平均値で示した。その際の測定値の相対誤差は4%以内であった。登熟温度はデンプン中のアミロペクチンが、開花後5日目頃から直線的に増加し、開花後20日目頃に最大量に達する (Asaoka ら 1985 b) ことから、出穂期後20日間の平均気温とした。なお、平均気温は、福岡管区気象台のアメダス観測地太宰府のデータを利用した。

結果と考察

1. 餅硬化速度とアミログラム特性

第1表に品種別の加工適性の良否の指標とされている餅硬化速度と糊化開始温度との相関係数を2カ年こみで示した。いでゆもちを除いていずれの品種も餅硬化速度と糊化開始温度の間には強い有意な負の相関関係が認められ、餅硬化速度が速いほど糊化開始温度も高いことを示した。



第1図 餅硬化速度の調査。

餅硬化速度は曲がり度合い (b/a) で表示した。b/a 値が小さい品種は餅硬化速度が速く、餅加工適性が優れている。

次に品種をこみにして餅硬化速度と糊化開始温度との関係を生産年別にみた場合、2カ年とも強い有意な負の相関関係が認められ、餅硬化速度が早いもち品種ほど糊化開始温度は高いことを示した (第2図)。この結果は既知の報告を (斎藤 1987, 柳瀬ら 1982) 支持するものであった。

以上の結果から、同一品種においても餅硬化速度は糊化開始温度で評価できることが判明した。なお、うるち米で食味と関係のあることが認められている最高粘度およびブレイクダウン (瀬戸・岡部 1963, 松江ら 1998) と餅硬化速度との間にはそれぞれ2カ年とも有意な相関関係は認められず、餅硬化速度に対して最高粘度 (1999年: $r=0.305$ ns, 2000年: $r=-0.071$ ns) とブレイクダウン (1999年: $r=0.037$ ns, 2000年: $r=0.195$ ns) は直接的に関与していないことがわかった。

餅硬化速度の評価は0.25以下, 0.25~0.5, 0.5~1.0, 1.0~2.0, 2.0以上の5段階に区分されている (山下1996)。餅硬化速度は1.0以上では、餅加工の際に丸もちにした時に形くずれしやすいなどの問題となることが餅加工業者の経験から指摘されている。そこでこの値に注目して第2図で示した餅硬化速度と糊化開始温度との関係をみると、餅硬化速度が1.0以上と著しく遅くなって加工適性が劣った餅はいずれも糊化開始温度が62°C以下であった。よってこの糊化開始温度62°Cは硬化速度の優れるもち品種育成・選定のための簡易な選抜技術の指標形質として活用できるとともに、その年の餅加工適性の良否を解析するうえで考慮すべき値と考える。

2. 出穂後20日間の平均気温と餅硬化速度、糊化開始温度との関係

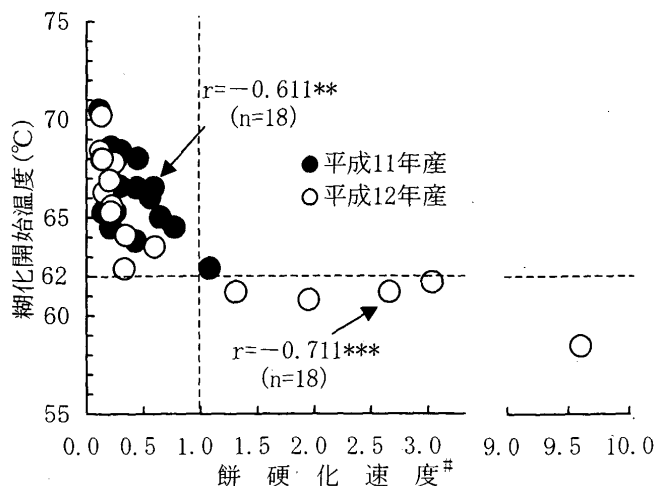
第2表に各品種別の移植時期別、出穂期と出穂後20日間の平均気温 (登熟温度) を示した。各品種とも移植時期が遅れるにしたがい出穂期は遅くなった。登熟温度は生産年次によって異なる傾向を示し、2000年は出穂期と登熟温度の間には強い有意な負の相関関係が認められ ($r=-0.842^{***}$)、一般的に観察される移植時期が遅れることによる出穂期の遅れに起因する登熟温度の低下が認められた。一方、1999年は一般的な傾向に反して、出穂期と登熟温度の間には有意な負の相関関係が認められず ($r=-0.268$ ns)、例えば、晩生種ヒヨクモチの6月10日植の出穂期は9月3日で、極早生種いでゆもちの4月20日植の出穂期7月3日に比べて2カ月も遅かったにもかかわらず

第1表 品種別の餅硬化速度[#]と糊化開始温度との相関係数 (r)。

	品 種 名					
	いでゆもち	ヒデコモチ	はつもち	ハクトモチ	ひみこもち	ヒヨクモチ
r (n=12)	- 0.560+	- 0.883***	- 0.820**	- 0.808**	- 0.716**	- 0.774**

[#] 第1図を参照。

+, **, ***は10%, 1%, 0.1%水準でそれぞれ有意であることを示す。



第2図 餅硬化速度#と糊化開始温度との関係。

第1図を参照。

, *は1%, 0.1%水準でそれぞれ有意であることを示す。

わらず、登熟温度は2℃程度高いというように、出穂期と登熟温度との間には何ら関係は認められなかった。

第3表に品種別の餅硬化速度と登熟温度との相関係数を示した。いずれの品種においても餅硬化速度と登熟温度の間には強い有意な負の相関関係が認められ、品種別にみても餅硬化速度が速いほど登熟温度も高いことを示した。次に品種をこみにして餅硬化速度と登熟温度との関係を生産年別にみた場合、2カ年とも有意な負の相関関係が認められ、餅硬化速度が速いもち米品種ほど登熟温度が高く経過したことを示した(第3図)。さらに、糊化開始温度と登熟温度との関係をみると、この2群間には強い有意な正の相関関係が認められ、登熟温度が高いほど糊化開始温度が高くなったことを示した(第4図)。本研究で得られた登熟温度が高いほど糊化開始温度が高く、餅硬化速度も速いという結果は、柳瀬ら(1982)の報告と一致するものであった。

次に硬化速度からみた登熟温度を検討すると、登熟温度

第2表 品種別、移植時期別の出穂期、登熟温度†。

品種名	移植時期 (月・日)	出穂期(月・日)		登熟温度(°C)	
		1999年	2000年	1999年	2000年
いでゆもち	4.20	7.3	7.5	24.2	27.0
	6.10	8.7	8.3	26.6	27.2
	7.10	8.24	8.21	25.5	26.7
ヒデコモチ	4.20	7.12	7.12	25.9	28.0
	6.10	8.12	8.9	25.9	27.4
	7.10	8.31	8.31	25.8	24.6
はつもち	4.20	7.27	7.29	27.4	27.3
	6.10	8.22	8.17	25.2	27.2
	7.10	9.4	9.2	26.1	24.0
ハクトモチ	4.20	7.31	7.30	27.5	27.2
	6.10	8.26	8.24	25.7	26.3
	7.10	9.7	9.5	25.7	23.3
ひみこもち	4.20	8.9	8.7	26.4	27.3
	6.10	9.2	8.31	26.1	24.6
	7.10	9.14	9.15	24.5	21.4
ヒヨクモチ	4.20	8.10	8.11	26.2	27.4
	6.10	9.3	9.2	26.1	24.0
	7.10	9.15	9.16	24.1	21.0

† 登熟温度は出穂期後20日間の平均気温。

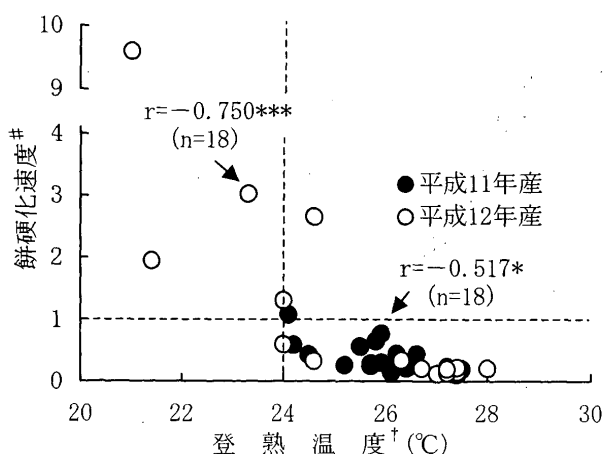
第3表 品種別の餅硬化速度#と登熟温度†との相関係数(r)。

品 種 名					
いでゆもち	ヒデコモチ	はつもち	ハクトモチ	ひみこもち	ヒヨクモチ
r (n=12) - 0.779** - 0.774** - 0.880*** - 0.877*** - 0.921*** - 0.880***					

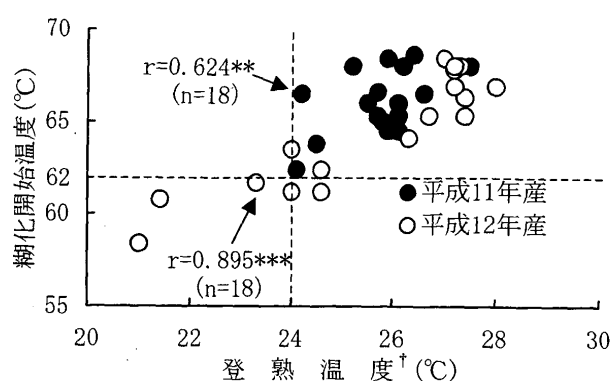
第1図を参照。

† 登熟温度は出穂期後20日間の平均気温。

, *は1%, 0.1%水準でそれぞれ有意であることを示す。



第3図 登熟温度†と餅硬化速度#との関係。
 † 登熟温度は出穂後20日間の平均気温。
 # 第1図を参照。
 *, ***は5%, 0.1%水準でそれぞれ有意であることを示す。



第4図 登熟温度†と糊化開始温度との関係。
 † 登熟温度は出穂後20日間の平均気温。
 , *は1%, 0.1%水準でそれぞれ有意であることを示す。

第4表 6月10日植における品種・生産年次別の餅硬化速度#と糊化開始温度の分散分析。

要因	硬化速度				糊化開始温度		
	自由度	平方和	平均平方	F値	平方和	平均平方	F値
品種 (C)	5	0.85	0.17	146.03**	64.75	12.95	38.27**
生産年次 (Y)	1	0.03	0.03	26.41**	9.13	9.13	26.98**
(C × Y)	5	1.62	0.32	277.09**	20.12	4.02	11.89**
誤差	120	0.01	0.001		4.06	0.34	

第1図を参照。
 **は1%水準でそれぞれ有意であることを示す。

が概ね24℃以下になると糊化開始温度が62℃以下となつて餅硬化速度が1.0以上と著しく遅くなつて餅の加工適性が劣った。よつてこの登熟温度は今後、硬化速度の優れる高品質もち米生産の視点から登熟温度を考慮した移植時期の策定に活用できると考えられる。

Asaokaら(1985a), Umemotoら(1999)は高い温度条件下で生育したもち米は低い温度条件下で生育したものに比べて、デンプンの主成分であるアミロペクチンの長鎖が多くなり、短鎖が減少することを明らかにしている。岡本ら(2001)は餅硬化速度の速い品種はアミロペクチンの短鎖の比率が低く、長鎖の比率が高いことを報告している。これらのことから、登熟温度が高いほど糊化開始温度が高くなり、硬化速度が速くなった要因としては、登熟温度が高くなることによってアミロペクチンの構造上、長鎖の比率が高くなったことによるものと考えられる。

3. 餅硬化速度の分散分析と生産年次間および品種間の分散成分

6月10日植の標準栽培における餅硬化速度と糊化開始温度についての分散分析の結果を第4表に示した。餅硬化速度と糊化開始温度とも品種および生産年次において1%

第5表 1999年と2000年の早期、標準、晩期栽培におけるもち6品種の餅硬化速度#の分散分析と生産年次間および品種間の分散成分。

要因	硬化速度			平均平方の分散成分
	自由度	平均平方	分散成分	
全体	35			
年次	5	7.13**	0.882	$\delta^2 + 6\delta_{\gamma}^2$
品種	5	2.84ns	0.167	$\delta^2 + 6\delta_{\epsilon}^2$
誤差	25	1.84		δ^2

第1図を参照。
 **は1%水準で有意であり、nsは有意差がないことを示す。
 生産年次間と品種間の分散成分は平均平方の分散成分から推定した(δ_{γ}^2 :生産年次間の分散成分, δ_{ϵ}^2 :品種間の分散成分, δ^2 :誤差の分散成分)。

水準で有意な差が認められたが、品種と生産年次との交互作用も有意であった。このことから、餅硬化速度と糊化開始温度とも品種間差は認められるものの、品種間差が生産年次によって異なることを示している。このことは前述したように、出穂期の早晩と登熟温度との関係において

赤間・有坂 (1992) は、餅硬化速度は登熟温度の影響をより大きく受けるものの、品種特性などの要因も関与していることを指摘している。そこで、登熟温度の違いが硬化速度に及ぼす影響と品種の違いによる硬化速度の差の比較検討を行った。つまり、登熟温度を生産年次別の移植時期に置き換えて、この試験を行った2カ年の早期、標準、晚期栽培を含めた各品種における生産年次間および品種間の繰り返しのない二元配置による分散分析の結果と分散成分から推定した生産年次間と品種間の分散成分の値 (スネデカー・コ克蘭 1974) を第5表に示した。生産年次における餅硬化速度のF値は有意であったが、品種のF値は有意でなく、生産年次間に有意な差が認められるものの、品種間に有意な差は認められなかった。生産年次間と品種間の分散成分の値をみると、生産年次間の分散成分の方が品種間の分散成分より大きかった。この結果から餅硬化速度は、品種間差よりも生産年次、すなわち登熟温度の影響を大きくうけることが示唆された。

引用文献

- 赤間芳洋・有坂将美 1992. もち米. 榎欽也監修, 日本の稲育種 スーパーライスへの挑戦. 農業技術協会, 東京. 202-208.
- Asaoka, M., K. Okuno and H. Fuwa 1985a. Effect of environmental temperature at the milky stage on amylose content and fine

structure of amylopectin of waxy and nonwaxy endosperm starch of rice (*Oryza sativa* L.). Agric. Biol. Chem. 49:373-379.

- Asaoka, M., K. Okuno, T. Sugimoto and H. Fuwa 1985b. Developmental changes in the structure of endosperm starch of rice (*Oryza sativa* L.). Agric. Biol. Chem. 49:1973-1978.
- 松江勇次・吉野稔・原田皓二 1989. 北部九州における水稻品種のアミログラム特性, N, Mg, K 含量と食味との関係. 日作九支報 56:43-44.
- 岡本和之・小林和幸・平澤秀雄・梅本貴之 2001. アミロベクチン鎖長分布と餅の硬化性の関連. 日作紀 70 (別1):152-153.
- 斎藤昭三 1987. 米の加工-新潟における米研究を中心として-. 農林水産省農業研究センター編, 稲と米 生産から食卓まで. 農林水産技術情報協会, 東京. 108-112.
- 瀬戸良一・岡部勇 1963. 北海道産米の品質に関する研究. 第1報 北海道産米の理化学的性状について. 北海道立農試集報 11:59-67.
- スネデカー, G.R.・W.G. コ克蘭 1974. 統計的方法 原書第6版. 畑村又好・奥野忠一・津村善郎訳. 岩波書店, 東京. 267-275.
- Umamoto, T., Y. Nakamura, H. Sato and K. Terashima 1999. Differences in amylopectin structure between two rice varieties on relation to the effects of temperature during grain-filling. Starch: 58-62.
- 山下浩 1996. もち. 山本隆一・堀末登・池田良一共編. イネ育種マニュアル. 養賢堂, 東京. 70-73.
- 柳瀬肇・遠藤勲・竹生新治郎 1982. もち米の品質, 加工適性に関する研究. 第2報 国内産もち米の貯蔵と加工適性. 食総研報 39:1-14.

Estimation of Hardening Speed of "Mochi" of Glutinous Rice from the Gelatinization Temperature, an Amylographic Characteristic, and the Correlation of the Hardening Speed with Gelatinization Temperature and Air Temperature During the Ripening Period: Yuji MATSUE*, Yosuke UCHIMURA and Hirokazu SATO (*Fukuoka Agr. Res. Cent., Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan*)

Abstract: We examined the correlation of hardening speed of "mochi" (rice cake) of glutinous rice with the gelatinization temperature, an amylographic characteristic, and air temperature during the ripening period, in six glutinous rice cultivars. The hardening speed of "mochi" showed a strong negative correlation with the gelatinization temperature in all cultivars examined. Thus, it is possible to use gelatinization temperature as an indicator of the hardening speed of "mochi". When the gelatinization temperature was lower than 62°C, the hardening speed of "mochi" was as low as 1.0, which is not suitable for "mochi" processing. Therefore, the gelatinization temperature of 62°C was suggested to be useful as an indicator for selecting glutinous rice cultivars superior in "mochi" hardening speed. Air temperature during the ripening period showed a strong negative correlation with the hardening speed of "mochi", and a strong positive correlation with the gelatinization temperature. When the air temperature during the ripening period was lower than 24°C, the hardening speed of "mochi" was very slow. The hardening speed varied with the year more widely than with the cultivar, suggesting that the hardening speed of "mochi" is affected more largely by the air temperature during the ripening period than by genetic background.

Key words: Air temperature during the ripening period, Gelatinization temperature, Glutinous rice cultivar, Hardening speed, Mochi (Rice cake), Paddy rice.