

ジャム製造に関わる各因子のゲル化に及ぼす影響

田中常雄・榎 賢治・山木一史・田中 彰

Effect of Various Factors on Gelation in the Jam-Making Process

Tsuneo TANAKA, Kenji MAKI, Kazufumi YAMAKI and Akira TANAKA

Effects on jam gelation derived from varying the amount of low-ester pectin and calcium added, pH, Brix, and the time of pectin addition during simmering were investigated with an eye towards improving jam quality. A model experiment was designed and carried out. Data pertaining to the effects of the aforementioned factors was collected and charted on orthogonal table $L_{81}(3^{40})$. Hardness, stickiness (adhesion) and viscosity were also analyzed to develop indices suitable for evaluating gelation.

Experimentation indicated that the quantity of low-ester pectin added, Brix level, time at which pectin is added, and the quantity of added calcium all affect gelation. In addition, the interactions between the quantity of low-ester pectin added and Brix and between the quantity of low-ester pectin and calcium were found to be significant. Finally, hardness and stickiness, but not viscosity, were determined to be suitable properties for establishing gelation benchmarks.

本来、ジャムは糖、ペクチン及び酸の存在下で果実をゲル化させて出来る保存食品である。しかし、消費者の甘味離れからジャムの低糖度化が進み、その性質は多様化している。

著者らは、これまで道産ジャム 47 品目、市販ジャム(道外品・輸入品) 6 品目を集めて品質調査を行った。その際、道産ジャムについてみると、ペクチン含量の多いものが必ずしも高いゼリー強度を示しているとはいえなかった。そのため、ゲル化に関与していると思われる因子について、前報¹⁾の測定結果を用いてゼリー強度と粘着性との相関係数を求めた。粘着性と各因子との相関係数は全体的に低かったが、市販ジャムではゼリー強度と pH、及びペクチン含量との相関係数は約 0.65 と比較的高かった。しかし、道産ジャムの場合、いずれの相関係数も低かった。前報¹⁾の調査対象となった道産ジャムに

は、低糖度化を反映して、ゲル化のために低メトキシルペクチン(以下、LM ペクチン)を添加しているものも多かった。しかし、本来ゲル化に寄与すべき因子との相関係数が低いことから、何らかの原因で期待されるゲル化が阻害されているのではないかと思われた。

そのため、本研究ではモデル実験を行って、ジャムのゲル化に関与する因子を解明し、道産ジャムの品質向上を図ることとした。併せて、ゲル化の指標としてゼリー強度、粘着性及び粘度を測定し、その適否を評価したので報告する。

実験方法

1. ジャムモデルの作製

モデル実験は、表 1 に示す 5 因子 3 水準を条件とし、直交表 $L_{81}(3^{40})$ に割り付けて行った。

表 1 実験計画の因子と水準

因子	ペクチン添加量	pH	可溶性固形分	ペクチン添加時期	乳酸カルシウム添加量
水準	0.0%	3.0	40%	沸騰直後	0.0%
	0.5%	3.5	50%	15分後	0.1%
	1.0%	4.0	60%	30分後	0.2%

ジャムモデルの作製は、図1のように、果実に相当するものとして各pHに調整したMcIlvaineの緩衝液を作製し、11ビーカーに入れた後、グラニュー糖を加えて500gとなるように調整した。最終ゲル化物の歩留まりを、ペクチン添加量と乳酸カルシウム添加量を無視して計算することとして80%と想定し、熱水100mlにペクチンを溶解して前述の緩衝液に混合した。これらの混合物を30分間加熱沸騰させ、ゲル化物を作製して本研究でのジャムモデルとした。

各因子の調整は、下記の要領で行った。

(1) ペクチン添加量

市販のジャム用LMペクチン（低・高濃度ジャム用）を使用し、1.0%添加区では、100mlの熱水にペクチン5.0gを加え、0.5%添加区では、ペクチン2.5gを同様にして溶解した。0.0%添加区では、熱水100mlを添加した。

(2) pH

各pH、すなわち3.0、3.5、4.0に調整したジャムモデルのpHは、直接pHメーターの電極を差し込んで測定した。

(3) 可溶性固形分

可溶性固形分は、40%区では緩衝液300gにグラニュー糖200gを添加した。50%区では緩衝液250gにグラニュー糖250g、60%区では緩衝液200gにグラニュー糖300gを添加した。グラニュー糖は、緩衝液が沸騰してから5分後、15分後、25分後に3分の1ずつ添加した。作製したジャムモデル可溶性固形分をデジタル糖度計を用いて測定した。

(4) ペクチン添加時期

熱水100mlに溶解したペクチンは、緩衝液が沸騰した直後、15分後、及び30分後、すなわち加熱停止直前にそれぞれ添加した。

(5) 乳酸カルシウム添加量

食品添加物用乳酸カルシウムを、0.1%添加区では0.5g（カルシウムとして0.0125%）、0.2%添加区では1.0g（カルシウムとして0.025%）添加した。各量の乳酸カルシウムは、ペクチン添加の前に加熱緩衝液中に添加した。

2. ゼリー強度及び粘着性

ゼリー強度と粘着性は、20°Cの恒温室においてテクスチュロメーター（全研製）を使用し、プランジャーの試料への侵入時の最大応力（ゼリー強度）と、プランジャーが試料から引き抜かれる時の最大応力（粘着性）を測定した。試料はゲル状食品測定専用のプラスチック容器（内径70mm、深さ22mm）に入れ、高感度ひずみ計アームを使用して行った。プランジャーは円筒形ルサイト（直径18mm）を用い、クリアランス7mm、そしゃく速度6回/min、使用電圧5~15V（原則として15V）で測定した。

3. 粘度

粘度は、20°Cの恒温室において、デジタル粘度計（トキメック製・DVL-B II形）を使用して測定した。測定は試料を200mlのトルビーカーに入れ、粘度に応じたローターを用いて行った。回転数は原則として30rpm、計測時間は30秒とした。

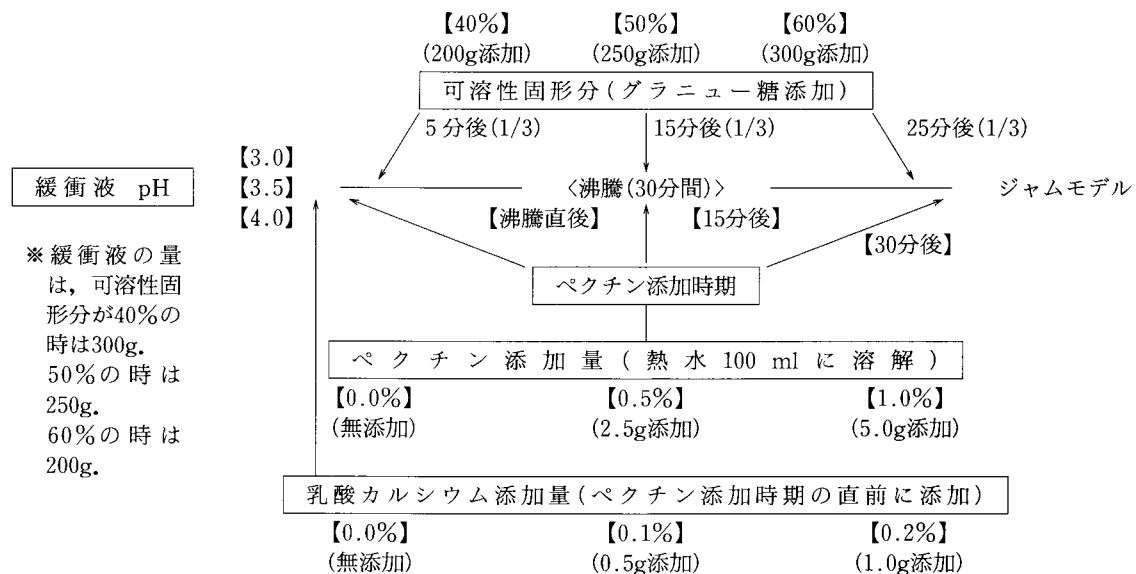


図1 ジャムモデルの作製方法

結果および考察

ジャムのゲル化に關与する因子として、ペクチン添加量、pH、可溶性固形分、ペクチン添加時期、及び乳酸カルシウム添加量を取り上げた。

1. 作製したジャムモデルの評価

作製したジャムモデルのpHの平均は、設定pH3.0区のもの3.3、pH3.5区では3.7、pH4.0区では4.1であった。いずれの試験区も、調整した緩衝液の値よりやや高めを示したのは、乳酸カルシウム添加の影響と思われた。

作製したジャムモデルの可溶性固形分の平均は、設定40%区では47.2%、50%区では57.4%、60%区では66.9%あった。この数値から、ペクチン添加量と乳酸カルシウム添加量を無視して歩留まりを計算すると、70.7~74.7%となる。作製前に想定した歩留まりよりは、5.3~9.3%低かったが、可溶性固形分の上昇は各試験区とも7%前後とほぼ一致していることから、作製したジャムモデルから各因子のゲル化に及ぼす影響を分析することは可能であると判断した。

2. 各因子のゼリー強度への影響

測定したゼリー強度の値は、2.18~116.40 g/cm²の範囲にあった。ゼリー強度の分散分析表を表2に示した。1%有意で、ペクチン添加量とカルシウム添加量の主効果が認められた。また、5%有意で可溶性固形分の主効果、ペクチン添加量と可溶性固形分の交互作用及びペクチン添加量とカルシウム添加量の交互作用が認められた。しかし、pHとペクチン添加時期の主効果は認められなかった。使用したLMペクチンは、pHや糖濃度によら

ずカルシウムなどの2価の陽イオンの存在でゲル化することが知られている。カルシウム添加量の主効果やペクチン添加量とカルシウム添加量の交互作用が認められたのはこのためである。また、ペクチン添加量の分散比が最も高いことから、他の因子に比べてペクチン添加量がゼリー強度に最も高い影響を与えていることが確認された。

以下に、1%有意で認められた効果について、図示して考察した。図2にペクチン添加量の主効果の相違を示した。ペクチン添加量が多いほどゼリー強度は大きくなった。今回、作製したジャムモデルは、設定より低い歩留まりであったことから、1.0%添加区の実際のペクチン含量は計算上1.1%以上あると考えられる。一般的にジャムのペクチン含量は0.5~1.0%前後であることから、硬いジャムを造ろうとする場合、ペクチンは多く添加すべきであるといえる。その効果も、添加量を0.5%か

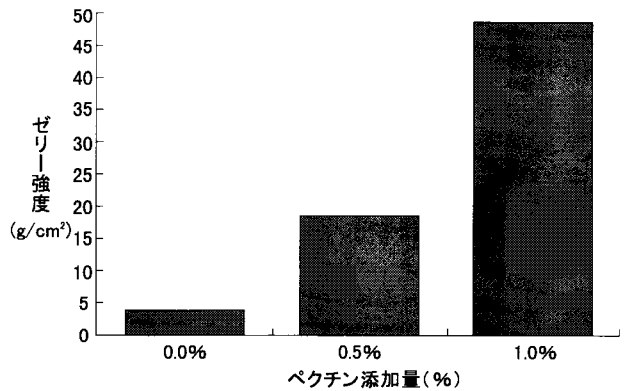


図2 ゼリー強度におけるペクチン添加量の主効果の相違

表2 ゼリー強度の分散分析表

要因	自由度	変動	不偏分散	分散比
ペクチン添加量 (A)	2	27,961.25	13,980.626	60.655**
pH (B)	2	278.95	139.473	0.605
可溶性固形分 (C)	2	1,847.42	923.708	4.007*
ペクチン添加時期 (D)	2	1,268.18	634.092	2.751
カルシウム添加量 (F)	2	5,218.99	2,609.495	11.321**
A・B	4	386.00	96.501	0.419
A・C	4	3,619.15	904.788	3.925*
A・D	4	1,050.55	262.638	1.139
A・F	4	3,413.53	853.383	3.702*
B・C	4	174.60	43.649	0.189
B・D	4	424.56	106.140	0.460
B・F	4	1,794.14	448.535	1.946
C・D	4	1,779.45	444.863	1.930
C・F	4	1,930.82	482.705	2.094
誤差 (D)	34	7,836.85	230.495	
全	80	58,984.45		

** : 1%有意 * : 5%有意

ら1.0%と2倍に増やした時、ゼリー強度は2倍以上の値を示した。

図3にカルシウム添加量の主効果の相違を示した。添加量が0.1%でのゼリー強度が最も高く、0.2%となると逆に低くなっている。これは、ジャム作製中にゲル化してしまうプリセット現象が生じたため、使用したペクチンのカルシウム反応性と大きな関係がある。現在、市販されているLMペクチンは、数種類のグレードに別れており、そのカルシウム反応性も異なっている。LMペクチンはカルシウムイオンによってゲル化するからといって、多く添加するべきではなく、使用するペクチンの性質によって、適正添加量を守る必要のあることが示された。

3. 各因子の粘着性への影響

測定した粘着性の値は、0.84~44.00 gfの範囲にあった。粘着性の分散分析表を表3に示した。1%有意で、

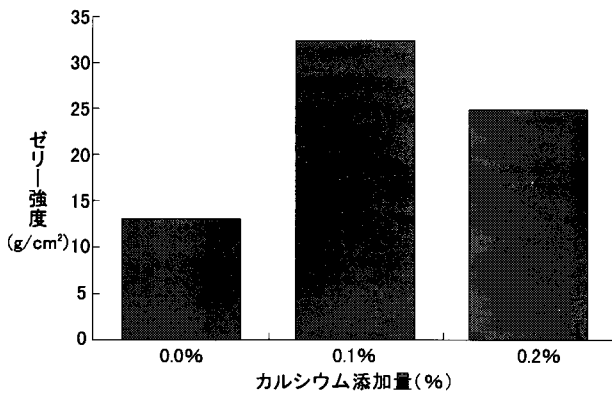


図3 ゼリー強度におけるカルシウム添加量の主効果の相違

ペクチン添加量、可溶性固形分、ペクチン添加時期及びカルシウム添加量の主効果が認められ、ペクチン添加量と可溶性固形分、ペクチン添加量とカルシウム添加量の交互作用も認められた。5%有意では、ペクチン添加量とペクチン添加時期、pHとカルシウム添加量、可溶性固形分とペクチン添加時期、可溶性固形分とカルシウム添加量の交互作用が認められた。また、ゼリー強度同様、ペクチン添加量の分散比が最も高いことから、他の因子に比べてペクチン添加量が粘着性に最も高い影響を与えていることが確認された。

以下に、1%有意で認められた効果について、図示して考察した。図4にペクチン添加量の主効果の相違を示した。この結果はペクチン添加量のゼリー強度と一致した。

図5に可溶性固形分の主効果の相違を示した。可溶性固形分が高くなるほど粘着性は高くなった。表2から同

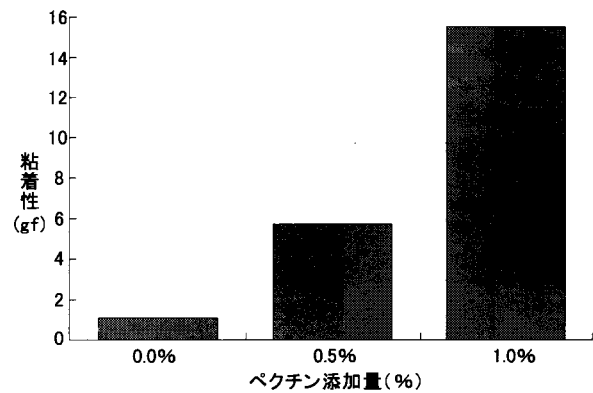


図4 粘着性におけるペクチン添加量の主効果の相違

表3 粘着性の分散分析表

要因	自由度	変動	不偏分散	分散比
ペクチン添加量 (A)	2	2,969.08	1,484.538	154.488**
pH (B)	2	34.38	17.191	1.789
可溶性固形分 (C)	2	543.39	271.696	28.274**
ペクチン添加時期 (D)	2	117.01	58.505	6.088**
カルシウム添加量 (F)	2	827.28	413.639	43.045**
A・B	4	40.39	10.099	1.051
A・C	4	627.82	156.955	16.333**
A・D	4	107.55	26.887	2.798*
A・F	4	672.83	168.208	17.504**
B・C	4	44.64	11.159	1.161
B・D	4	16.59	4.147	0.432
B・F	4	127.03	31.757	3.305*
C・D	4	114.41	28.602	2.976*
C・F	4	145.83	36.457	3.794*
誤差 (D)	34	326.72	9.609	
全	80	6,714.95		

** : 1%有意 * : 5%有意

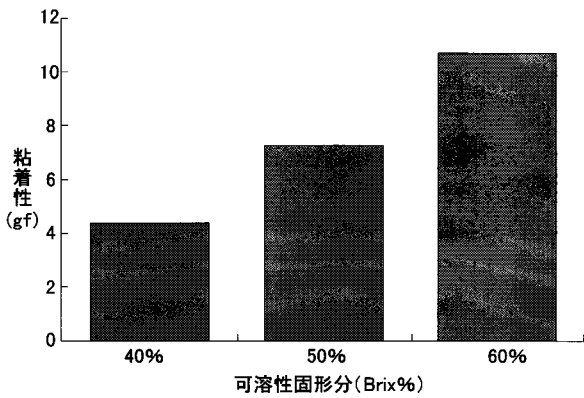


図5 粘着性における可溶性固形分の主効果の相違

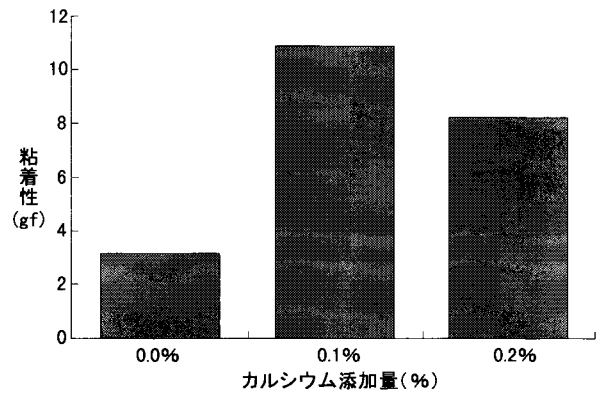


図7 粘着性におけるカルシウム添加量の主効果の相違

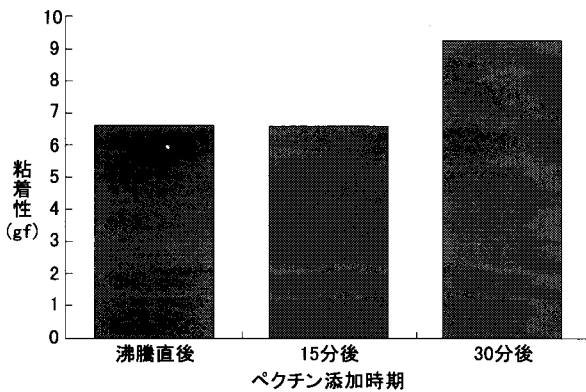


図6 粘着性におけるペクチン添加時期の主効果の相違

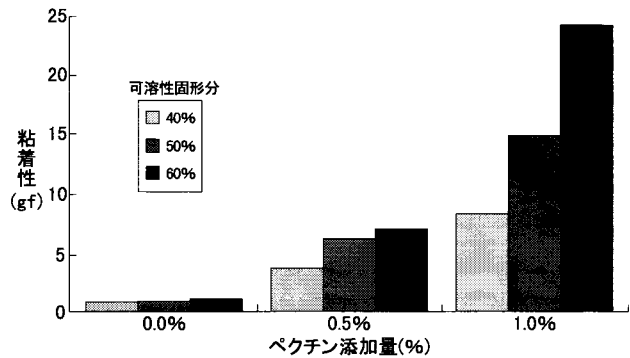


図8 粘着性におけるペクチン添加量と可溶性固形分の交互作用の相違

様の効果はゼリー強度でも5%有意で認められ、その傾向は一致している。

図6にペクチン添加時期の主効果の相違を示した。沸騰直後と15分後に添加したものの粘着性はほぼ同じであったが、30分後すなわち加熱終了直前にペクチン添加したものは、高い粘着性を示した。ペクチンは酸性下で加熱されると加水分解されるといわれている。このことから、ペクチンはできるだけ加熱後期に添加したほうがゲル化に有効ではないかと考えられる。今回のモデル実験では、ペクチン添加時期を考慮して熱水にペクチンを溶解して添加したが、実際にはペクチンを糖に均一に混合し、糖と一緒に3回に分けて添加するケースが多い、その場合も出来るだけ後半に多く添加するよう調節することが望ましいと思われる。

図7にカルシウム添加量の主効果の相違を示した。この結果もカルシウム添加量のゼリー強度と一致した。

図8にペクチン添加量と可溶性固形分の交互作用の相違を示した。ペクチン無添加の場合、可溶性固形分の濃度にかかわらず粘着性は低いが、ペクチン添加量が多くなるに従って、可溶性固形分が多いほど急激に粘着性の

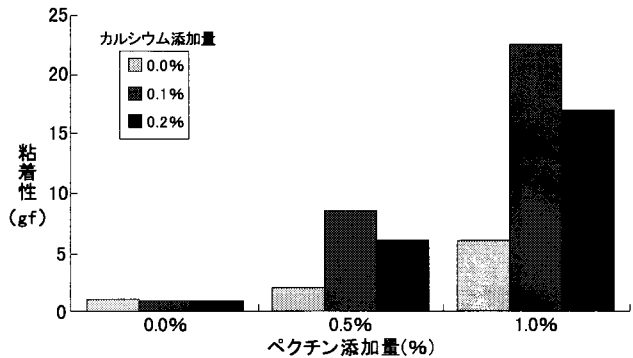


図9 粘着性におけるペクチン添加量とカルシウム添加量の交互作用の相違

値も高くなっている。表2から同様の効果はゼリー強度では5%有意で認められ、その傾向はほぼ一致している。LMペクチンといえども、高糖度になるほど高濃度添加によるゲル化の効果は大きいものと思われた。

図9にペクチン添加量とカルシウム添加量の交互作用の相違を示した。ペクチン無添加の場合、粘着性はカルシウム添加量に係わらずほぼ一定で、ペクチンを0.5%と1.0%添加した時だけ、粘着性はカルシウム添加量の

主効果と同様の傾向を示した。同様の効果はゼリー強度では5%有意で認められ、その傾向は一致している。このことから、カルシウム添加は単独でゲル化に寄与しているのではなく、LMペクチンのゲル化に関与していることが確認された。

4. 各因子の粘度への影響

測定した粘度の値は、0.04~1,494.00 Pa・sの範囲にあった。粘度の分散分析を表4に示した。1%有意で効果が認められたものは皆無だった。5%有意では、ペクチン添加量及び可溶性固形分の主効果、ペクチン添加量と可溶性固形分の交互作用が認められた。これらは、いずれもゼリー強度では1%ないしは5%有意で認められ、粘着性では1%有意で認められている。したがって、粘度を測定する必要はないものと考えられる。

5. ゲル化の指標の評価

ゲル化の指標として、ゼリー強度、粘着性及び粘度を検討した。ゼリー強度、粘着性には1%有意で適切と思われる効果が認められた。しかし、粘度では、分散分析の際の変動が大きく、可溶性固形分60%のものでは、ジャムとは異質のねばねば感を反映すると思われる数値が表れており、ゲル化の指標としては相応しくないと考えられた。

また、各指標間の相関係数を求めてみた。ゼリー強度と粘着性との相関係数は0.916とかなり高かった。しかし、ゼリー強度と粘度との相関係数は0.494、粘着性と粘度との相関係数は0.317と低く、このことから粘度はゲル化の指標としては不適切と思われた。

ゼリー強度と粘着性は一度の測定で同時に得られることから、ゲル化の指標としては、ゼリー強度と粘着性の

双方を補完しながら用いることが適切であると思われる。

要 約

道産ジャムの品質向上を図ることを目的として、ジャムのゲル化に関する因子・水準について検討し、LMペクチンを用いてモデル実験を行った。併せて、ゲル化の指標について評価を行い、以下の結果を得た。

- (1) ペクチン添加量は、ゼリー強度でも粘着性でも1%有意で主効果が認められた。ペクチン濃度1%程度の範囲内では濃度が高いほどゲル化は強化され、他の因子に比べてゲル化に最も大きな影響を与えている。
- (2) カルシウム添加量は、ゼリー強度でも粘着性でも1%有意で主効果が認められた。カルシウムは多過ぎるとプリセットを起こす可能性があるため、添加ペクチンの性質に合わせて適量を添加する必要がある。
- (3) 可溶性固形分は、ゼリー強度では5%有意、粘着性では1%有意で主効果が認められた。可溶性固形分の多いジャムほどゲル化は強化され、ペクチン添加によるゲル化の交互作用も大きい。
- (4) ペクチン添加時期は、粘着性のみに1%有意で主効果が認められた。ペクチン添加時期は加熱後期の方がゲル化に有利である。
- (5) pHは、ゼリー強度でも粘着性でも主効果は認められず、LMペクチン添加によるゲル化には影響を与えない。
- (6) ジャムのゲル化の指標として、ゼリー強度と粘着性は適しているが、粘度は適当ではない。

表4 粘度の分散分析表

要 因	自 由 度	変 動	不 偏 分 散	分 散 比
ペクチン添加量 (A)	2	198,580.30	99,290.151	4.122*
pH (B)	2	47,425.40	23,712.702	0.984
可溶性固形分 (C)	2	180,658.53	90,329.265	3.750*
ペクチン添加時期 (D)	2	33,840.25	16,920.124	0.702
カルシウム添加量 (F)	2	53,070.58	26,535.290	1.101
A・B	4	95,321.48	23,830.369	0.989
A・C	4	319,916.14	79,979.035	3.320*
A・D	4	61,812.99	15,453.247	0.641
A・F	4	124,351.34	31,087.836	1.290
B・C	4	102,104.67	25,526.166	1.060
B・D	4	112,436.37	28,109.092	1.167
B・F	4	83,590.86	20,897.716	0.867
C・D	4	61,170.99	15,292.748	0.635
C・F	4	123,900.43	30,975.109	1.286
誤 差 (D)	34	819,084.03	24,090.707	
全	80	2,417,264.37		

* : 5%有意

文 献

治・山木一史：北海道立食品加工研究センター報告， 2， 113 (1996)。

- 1) 田中常雄・山本勇夫・佐藤千鶴子・田中彰・楨賢