

パンの物理的性状に及ぼすもち米粉添加の影響 (2)

—酵素によるパンの品質改善効果—

奥田弘枝, J. G. PONTE Jr.*

(2002年10月3日 受理)

The Effect of Glutinous Rice Flour on the Properties of Bread (2)

Hiroe OKUDA and J. G. PONTE Jr.*

Abstract

The first report was an examination of the effects on baking quality for bread when glutinous rice flour was added to the ingredients. It was possible to make bread with a good flavor and a glutinous rice flour-oriented texture by adding glutinous rice flour. But when the effects on bread with the proportion of glutinous rice flour increased from 5% to 20% were examined, the loaf volume and loaf specific volume decreased markedly as the added volume of glutinous rice flour increased. So in order to improve the loaf volume and loaf specific volume, four kinds of amylase enzymes were added to the ingredients in our trials.

As mentioned in the first report, the maximum amount of glutinous rice flour that could be added to wheat flour in the ingredients for bread turned out to be 10%. So by adding amylase to the bread with 15% glutinous rice flour added to the ingredients, we tried to improve the baking quality of the bread and got the results below.

- 1) Bread with 15% glutinous rice flour and 0.02% amylase, which was produced by *Aspergillus oryzae*, added to the ingredients was the best in all points of baking quality for bread, the effects on bread quality and eating quality.
- 2) The better baking qualities for bread were a lower start temperature of gelatinization and a lower temperature of highest viscosity. And the larger breakdown dough showed better quality for bread than the control sample.
- 3) A better baking quality for bread was a lower volume of reducing sugar. The maximum reducing sugar turned out to be approximately 35%.

* Department of Grain Science and Industry, Kansas State University

I 緒 言

前報¹⁾では、もち米粉を添加した場合の物理的性状や製パン性に対する影響について報告した。もち米粉を添加することによって、もち米粉特有のモチモチとした触感と、香ばしい風味を特徴としたパン作りが可能となったが、パンの体積及び、比容積の改善が問題点として残された。

小麦粉に対して5~20%のもち米粉を置換添加した場合、もち米粉の添加量が増えるに従い、パンの体積や比容積の低下が著しかった¹⁾。そこで膨化剤の面から、これらの改善を試みたが、パンの膨張は促進されなかった。

パンの体積及び比容積の改善には、酵素が効果的であるという報告²⁾があることから、アミラーゼ系の酵素の添加を試みたのでその結果を報告する。

II 実 験 方 法

1. 基本材料と酵素

基本材料は前報¹⁾と同様のものを使用した。今回用いた酵素と添加割合は表1に示した。グルコチーム#20000は、*Rhizopus delemar* (クモノスカビ)の産生するグルコアミラーゼを精製、粉末化したもので、成分組成は、グルコアミラーゼ50%、食品素材(デキストリン)50%であった。グルコチームDBは、*Aspergillus sp.* (麹カビ属)が産生するアミラーゼで、グルコアミラーゼ25%、食品素材(デキストリン)75%のものであった。グルコチームSPは、*Rhizopus delemar* (クモノスカビ)の産生するグルコアミラーゼを精製、粉末化したもので、グルコアミラーゼ50%、食品素材(乳糖)50%であった。また、デナチームSA-7は、*Aspergillus oryzae* (麹カビ)が産生する α -アミラーゼを精製、粉末化したもので、 α -アミラーゼ33%、食品素材(コーンスターチ)67%であった。これらの酵素はいずれもナガセ生化学工業(株)製のものを使用した。また、これらの酵素の種類の違いのみならず添加量の違いによる製パン性や物理的性状への影響をみるため、小麦粉ともち米粉の全量に対して0.02%~0.09%の添加を試みた。

なお、酵素は、実験結果の図表中では記号(表1の記号)によって表記した。

2. 試料パンの調製

試料パンの調製方法は前報¹⁾の方法によった。

3. 測定方法

パン生地は、前報¹⁾と同様にビスコグラフ (BURABEN 株式会社製) によってその性状を測定した。

製パン性についても、前報¹⁾の方法により、物理的性状の測定は、(株)山電製のクリープメーター (RE3305) を使用した。

パンの品質評価は、日本パン科学会による方法とし、パップローフ採点表³⁾を用いた。

Ⅲ 結果と考察

1. 酵素の種類と製パン性

小麦粉にもち米粉を置換添加した場合、添加量が増えるに従い、パンの体積や比容積をはじめとする製パン性の低下が著しく、もち米粉の置換添加の限界は10%であった¹⁾。そこで、もち米粉の置換添加の割合をまず15%として、これに酵素を加えることによって、製パン性や、パンの品質改善を試みた。

酵素は4種類のアミラーゼ系を用いることにした。小麦粉の約70%はでんぷんで占められており、パンの生地物性や老化に関与しており、イーストの栄養源としても重要な役割を果たしている。従って、でんぷんに作用するアミラーゼは製パン性への影響が非常に大きいのではないかと考えられる。また、アミラーゼの種類や添加量によっても作用が異なるものと考えられる。

酵素の種類によっては、多量に用いるとパンの品質を損うことがあることから、添加量はナガセ生化学工業(株)の基礎データに基づき、小麦粉ともち米粉の全量に対して0.02%と0.05%とした。4種類の酵素との組み合わせは8種類にし(表1)、これらをA1~D2の記号で表記した。

これらの酵素による製パン性や、物理的性状への影響は表2に示した。ほとんどの測定項目

表1 酵素の種類と添加量

酵素の種類	添加量	記号による表記
グルコチーム #20000	0.02%	A1
	0.05%	A2
グルコチームDB	0.02%	B1
	0.05%	B2
グルコチーム SP	0.02%	C1
	0.05%	C2
デナチーム SA-7	0.02%	D1
	0.05%	D2

表2 酵素の種類と添加量の違いによる製パン性

酵素の種類と添加量	測定項目							
	重量 (g)	体積 (cm ³)	比重 (g/cm ³)	比容積 (cm ³ /g)	硬さ (N/m ²)	ガム性 (N/m ²)	凝集性	付着性 (J/m ³)
コントロール	404	2,275	0.18	5.63	254	210.0	0.827	16.56
	398	2,045	0.19	5.14	301	258.0	0.857	19.55
	406	2,065	0.20	5.09	321	257.8	0.803	16.87
	平均	400	2,100	0.19	5.24	292	241.9	0.829
A1 (表1の記号表記による, 以下同じ)	402	1,570	0.26	3.91	1,284	852.5	0.664	124.50
	409	1,790	0.23	4.37	375	262.3	0.700	100.44
	410	1,575	0.26	3.84	1,181	731.9	0.620	133.90
	平均	407	1,645	0.25	4.04	947	615.6	0.661
A2	397	1,220	0.33	3.07	1,168	711.5	0.609	49.75
	399	1,170	0.34	2.93	336	165.3	0.492	25.60
	396	1,030	0.38	2.60	349	174.1	0.499	29.69
	平均	397	1,140	0.35	2.87	618	350.3	0.533
B1	407	1,675	0.24	4.11	680	471.4	0.693	106.80
	414	1,530	0.27	3.69	1,030	709.4	0.689	115.30
	411	1,520	0.27	3.70	1,054	707.2	0.671	148.50
	平均	411	1,575	0.26	3.83	921	629.3	0.684
B2	408	1,485	0.27	3.64	642	442.0	0.689	114.25
	411	1,720	0.24	4.19	854	588.3	0.689	112.47
	410	1,575	0.26	3.84	871	583.1	0.670	105.20
	平均	409	1,593	0.26	3.89	789	537.8	0.682
C1	411	1,495	0.28	3.64	1,507	965.8	0.641	135.70
	410	1,705	0.24	4.16	977	688.7	0.691	90.53
	407	1,715	0.24	4.22	416	309.8	0.745	100.84
	平均	409	1,638	0.25	4.01	967	654.8	0.692
C2	410	1,690	0.24	4.13	853	577.9	0.677	94.61
	408	1,740	0.23	4.26	419	298.8	0.713	29.72
	410	1,915	0.21	4.68	411	302.6	0.686	62.87
	平均	409	1,782	0.23	4.35	561	393.1	0.692
D1	408	2,030	0.20	4.98	147	112.0	0.762	45.16
	408	1,930	0.21	4.73	267	205.0	0.768	54.04
	404	1,910	0.21	4.72	315	233.2	0.740	37.44
	平均	407	1,957	0.21	4.81	243	183.4	0.757
D2	407	1,780	0.23	4.37	704	476.9	0.677	80.10
	404	1,915	0.21	4.74	250	189.3	0.757	59.57
	408	1,975	0.21	4.85	326	238.4	0.731	81.05
	平均	406	1,890	0.22	4.65	427	301.5	0.722

において D1 がコントロールの値に最も近く、逆に、A2 はコントロールとの差が最も大きかった。パンの比重の面からみると、コントロールに近いのは D1, D2, C2 の順であった。D1 はコントロールより約10%、値が高かったに過ぎなかったが、A2 はコントロールの約2倍、高い値であった。A1, B1, B2 および C1 は余り差がみられず、いずれもコントロールの約1.4倍であった。

理想的な比容積は 4.5~5.0 (cm³/g) の範囲にあると言われているが、コントロールの体積が 2,100 (cm³)、比容積が 5.24 (cm³/g) に対して、これに最も近いのは D1 の体積 1,957 (cm³)、比容積 4.81 (cm³/g)、次いで D2 の体積 1,890 (cm³)、比容積 4.65 (cm³/g)、さらに C2 の体積 1,782 (cm³)、比容積 4.35 (cm³/g) の順であった。最も低い値は A2 の体積 1,140 (cm³)、比容積 2.87 (cm³/g) であった。これらの数値から、理想的な比容積の範囲にあるのは D1 と D2 であり、比重値からみても製パン性は良好と言える。

硬さ、ガム性は、D1 はコントロールの約80%であった。凝集性は90%でコントロールよりも、むしろ軟らかく、物性値の面からも D1 が良好であった。もち米粉を添加した場合、付着性の値が高く、モチモチ感のある触感を特徴とするパンになるが、D1 はコントロールの約2倍の値であった。A2 は製パン性が最も悪く、物性値ではコントロールとの差が最も大きかった。これらのことから、8種類の組み合わせの酵素の中で最も製パン性が良いのは D1 の *Aspergillus oryzae* (麹カビ) を起源とするデナチーム SA-7 (0.02%) であり、最も悪いのは A2 の *Rhizopus delemar* (クモノスカビ) を起源とするグルコチーム #20000 (0.05%) であった。

パンの品質評価の面から、8種類の酵素の組み合わせについて比較してみた(表3)。

D1 は100点満点中97点の評価で8種類中最も高い得点であったが、A2 は50点と8種類中最も低く、製パン性や物性値の結果と一致した。B2 は製パン性の面では余り良好な結果が得られな

表3 酵素添加パンの品質評価

酵素の種類と添加量	評 価 項 目									
	体積 (10)	表皮色 (10)	形均整 (5)	皮質 (5)	内相色 (10)	すだち (10)	感触 (15)	香り (10)	味 (25)	合計 (100)
A1 (表1の記号表記による、以下同じ)	8	5	3	3	7	7	10	9	23	75
A2	3	5	2	2	7	3	7	6	15	50
B1	8	7	3	3	9	8	10	9	21	78
B2	8	5	3	4	9	9	12	9	22	81
C1	7	6	2	2	9	6	7	8	20	67
C2	8	6	3	3	9	6	8	9	21	73
D1	10	9	5	5	10	9	15	10	24	97
D2	8	7	4	3	9	8	9	9	21	78

かったが(表2), パンの品質評価は81点で, D1に次ぐ高い評価であった。B2は特にクラム(内相)のきめが非常に細かく, これは他の酵素に比べて最も優れた点であった。品質評価の面で他に特徴がみられたものを挙げてみると, D1は多少, 他に比べてクラムのきめが大きかったが, パンの触感が非常に軟らかく, 香りが高く, 甘みがあり優れたパンと言える。評価成績の最も悪かったA2は, パンの中央部が大きく窪み, 食パンの形を成しておらず, パンへの添加は有効とは言えない。C1・C2はクラムのすだちがA1について評価が低く, 触感も悪く, 濃い発酵様の風味があって, 総合点ではC1が67点, C2が73点と低いことからパンへの添加は好ましくないと考えられた。

以上のことから, Dについては酵素の添加割合は0.05%よりも0.02%と少ない方が製パン性が良好であった。そこで, さらに添加割合を減らした実験を試みた。逆にBについては添加割合が多い方が製パン性が良好であったので, さらに添加割合を増やした。また, A・Cに用いた酵素はパンには好ましくない酵素と判断して, 以後の実験から除くことにした。

2. 酵素の添加量の違いによる製パン性

Aspergillus sp. (麹カビ属)を起源とするグルコチームDBと, *Aspergillus oryzae* (麹カビ)を起源とするデナチームSA-7を用いて, 添加量の面からパンの品質改善を試みた。酵素の種類と添加量はE1~F2の記号で示した(表4)。

グルコチームDBを0.05%から約2倍の0.09%に増やした場合(E3), クラムのすだちが大きく不均一になった。前述の様にこの酵素は, 他の酵素に比べてクラムのきめが非常に細かいのが優れた点であったが, この特徴が生かされておらず, 添加量の限界を越えていると判断し, 添加量0.05%(E1)と0.07%(E2)について製パン性と物性値への影響をみた(表5)。

グルコチームDBの添加量を0.05%(E1)から約1.5倍の0.07%(E2)に増やした場合, 比重はコントロールの約1.3倍, 比容積は約80%で, 0.05%(E1)添加よりも1.5倍(E2)に増やした

表4 酵素の種類と添加量

酵素	添加量	記号による表記
グルコチームDB	0.05%	E1
	0.07%	E2
	0.09%	E3
デナチームSA-7	0.02%	F1
	0.01%	F2

方が製パン性が良好であった。物性値は0.07% (E2) に増加した場合、パンの硬さとガム性はコントロールの約2倍、凝集性は約90%で、いずれも0.05% (E1) 添加よりも良好な値であった(表5)。また、添加量の多い方がクラムのきめが非常に細かく均一であり、品質評価の全ての評価項目で点数が高く、合計点は90点 (E2) であったが、添加量の少ない0.05% (E1) の合計点は81点であった(表6)。いずれの面においても添加量の多い0.07% (E2) の方が高い評価が

表5 酵素の種類と添加量の違いによる製パン性

酵素の種類と添加量	測定項目							
	重量 (g)	体積 (cm ³)	比重 (g/cm ³)	比容積 (cm ³ /g)	硬さ (N/m ²)	ガム性 (N/m ²)	凝集性	付着性 (J/m ³)
コントロール	404	2,275	0.18	5.63	254	210.0	0.827	18.56
	398	2,045	0.19	5.14	301	258.0	0.857	17.55
	406	2,065	0.20	5.09	321	257.8	0.803	16.87
	平均	400	2,100	0.19	5.24	292	241.9	0.829
E1 (表4の記号による 表記, 以下同じ)	408	1,485	0.27	3.64	642	442.0	0.689	94.25
	411	1,720	0.24	4.19	854	588.3	0.689	92.47
	410	1,575	0.26	3.84	871	583.1	0.670	145.20
	平均	409	1,593	0.26	3.89	789	537.8	0.682
E2	409	1,815	0.23	4.44	336	242.3	0.721	35.45
	405	1,625	0.25	4.01	806	555.2	0.689	43.91
	407	1,545	0.26	3.80	866	616.5	0.712	71.34
	平均	407	1,662	0.25	4.08	669	471.3	0.707
F1	410	1,810	0.23	4.42	323	245.1	0.727	51.73
	406	1,710	0.24	4.21	268	202.5	0.756	42.59
	406	1,800	0.23	4.44	279	215.0	0.771	39.02
	平均	407	1,773	0.23	4.36	290	220.8	0.751
F2	408	2,030	0.20	4.98	147	112.0	0.762	45.16
	408	1,930	0.21	4.73	267	205.0	0.768	54.04
	404	1,910	0.21	4.72	315	233.2	0.740	37.44
	平均	407	1,957	0.21	4.81	243	183.4	0.757

表6 酵素添加パンの品質評価

酵素の種類と添加量	評価項目									
	体積 (10)	表皮色 (10)	形均整 (5)	皮質 (5)	内相色 (10)	すだち (10)	感触 (15)	香り (10)	味 (25)	合計 (100)
E1 (表4の記号による 表記, 以下同じ)	8	5	3	4	9	9	12	9	22	81
E2	9	8	4	4	10	10	14	9	22	90
F1	8	8	4	4	10	6	11	10	22	83
F2	10	9	5	5	10	9	15	10	24	97

得られた。以上のことから、グルコチーム DB のパンへの添加は0.07% (E2) が適当であると言える。

デナチーム SA-7については、添加量を0.02% (F1) とその半量の0.01% (F2) に減少した場合の製パン性への影響を調べた。0.02%添加 (F1) した場合の比重は、コントロールの1.2倍、比容積が80%で、E1~F2の中では最もコントロールに近い値であった (表5)。硬さはコントロールとほぼ同じ値であり、ガム性は約90%であった。付着性はコントロールの2.5倍であったがE1~F2の中ではF1・F2がコントロールに最も近かった。0.01%添加 (F2) した場合、比重はコントロールの約1.1倍、比容積は90%であった。硬さとガム性は約80%、凝集性は90%で、付着性は約2.6倍あった。0.02%添加 (F1)、0.01%添加 (F2) とともに硬さ、ガム性はコントロールよりも値が低く、E1やE2の約1/3で非常に軟らかいのが特徴であった。パンの品質評価も、内相色と香り以外の全ての評価項目で0.02%添加 (F1) よりも、0.01%添加 (F2) の方が点数が高かった。特に触感やクラムのすだちは0.01%添加 (F2) の方が優れており、形均整や体積も良好で、合計点は0.02%添加 (F1) が83点、0.01%添加 (F2) が97点であった。デナチーム SA-7の特徴であるパンの触感が非常に軟らかく、香りがあり、甘みが強いという点においても0.01%添加 (F2) の方が優れていた。以上のことからデナチーム SA-7の場合は0.01%添加が適していると言える。

3. 酵素添加による糊化特性

もち米粉を置換添加した場合のパンの品質改善にアミラーゼ系の酵素の添加を試み、麴カビを起源とするグルコチーム DB (0.07%) とデナチーム SA-7 (0.01%) は良い結果が得られたが、クモノスカビを起源とするグルコチーム #20000 (0.05%) ではパンの品質改善は認められなかった。そこで、その原因がどこにあるのか、もち米粉15%置換添加パンに上記の3種類の酵素を添加し、でんぷんの糊化特性の面から探ることにした。

パンの生地構造は、グルテンたんぱく質が膜状構造を作り、その膜の中にでんぷん粒を抱えこむことによって形成される。パン生地の温度が74℃以上になると、グルテン膜は変性し、でんぷん粒は膨潤し、互いに相互作用しながら、半固形のしっかりした構造体に変化してゆく。糖脂質は膨潤したでんぷん粒と凝固したグルテン膜の間に複合物として形成され、気泡を密封する^{4,5,6,7,8,9)}。もち米粉を置換添加したことにより、グルテンたんぱく質とでんぷん粒の割合が変化したことと、でんぷんに作用する酵素の添加によりでんぷん粒が分解されることが、パン生地の糊化特性とパンの構造体に影響を及ぼしたのではないかと考えられる。そこで、パン生地の糊化特性をビスコグラフを用いて検討した。小麦粉のみのコントロールと、もち米粉15%置換添加したもの、さらにこの生地にも3種類の酵素を添加したものを試料とした (表7)。なお、

表7 酵素の種類と添加量

酵素の種類	添加量	製パン性の 良い順位	記号による表記
コントロール		1	C
もち米粉15%置換添加		4	G
もち米粉15%置換添加+グルコチーム #20000	0.05%添加	5	H
もち米粉15%置換添加+グルコチーム DB	0.07%添加	3	I
もち米粉15%置換添加+デナチーム SA-7	0.02%添加	2	J

これらの試料は以後、表7の記号で示す。

でんぷんの糊化開始温度はH>G>I>J>Cの順に高かった(表8)。一方、これ迄の実験データから、製パン性が優れていたのはC>J>I>G>Hの順であったことから、糊化開始温度が高いものほど製パン性が悪いことが分かった。米粉でんぷんの糊化開始温度は、小麦粉でんぷんの糊化開始温度よりも高いと報告されているが¹⁰⁾、表8から、もち米粉を添加したパン生地(G)についても糊化開始温度(61.8℃)はコントロールの糊化開始温度(56.7℃)よりも高かった。IとJが小麦粉のみのコントロールの糊化開始温度に近かったのは、これらの酵素(グルコチームDB・デナチームSA-7)が、糊化開始温度の上昇に影響するでんぷんを分解した為であろうと考えられる。Hは、酵素グルコアミラーゼの量が影響しており、糊化開始温度(63.5℃)を上昇させたものと考えられる。アミラーゼ活性は、充分な量の発酵可能な糖を確保するだけでなく、オープンで焼成中でんぷん粒に作用し、酵素の種類や量によって糊化開始温度が変化し、焼き上がったパンの品質に影響を与えるものと考えられる。

最高粘度時の温度は、H>G>I・J>Cの順に高く、製パン性の悪いものほど高いことが分かった(表8・表7)。前述の様に製パン性の悪いものほど糊化開始温度が高いことから、それに伴って、最高粘度の時点で高温になったのではないかと考えられる。

最高粘度は、小麦粉のみのコントロールが約507 B.U.であったのに対し、もち米粉15%添加したGが355 B.U.で、H~Jのもち米粉を添加したものはいずれもコントロールよりも低い値であった(表8)。最も最高粘度の低いHはコントロールの約20%の値であった。

最低粘度は、コントロールが約377 B.U.に対し、もち米粉15%添加したGは約293 B.U.であり、もち米粉を添加したもの(H~J)はいずれも低かった(表8)。

最終粘度、ブレイクダウン、コンシステンシーのいずれの値も、もち米粉を添加したものは(G~J)、コントロールよりも低かった(表8)。

これらの数値からパンの品質との関係を分析してみると、最高粘度はC>J>G>I>Hの順に

表8 酵素の種類と添加量の違いによる糊化特性

酵素の種類と添加量	測定項目						
	糊化開始 温度 (°C)	最高粘度時 温度 (°C)	最高粘度 (B.U.)	最低粘度 (B.U.)	最終粘度 (B.U.)	ブレイク ダウン (B.U.)	コンシス テンシー (B.U.)
C コントロール (表7の記号による 表記, 以下同じ)	56.5	87.0	490	360	690	130	330
	56.5	86.5	520	370	670	150	320
	57.0	87.0	510	400	690	110	290
	平均	56.7	86.8	507	377	690	130
G	58.0	88.7	325	260	500	65	240
	68.0	91.0	340	300	540	40	240
	59.5	90.0	400	320	565	80	245
	平均	61.8	89.9	355	293	535	62
H	62.5	91.0	110	40	90	70	50
	70.0	105.0	95	40	80	55	40
	58.0	88.0	130	50	110	80	60
	平均	63.5	94.7	112	43	93	68
I	58.0	87.0	130	70	170	60	100
	59.5	87.0	120	82	170	38	88
	58.0	87.0	135	70	180	65	110
	平均	58.5	87.0	128	74	173	54
J	58.0	87.0	400	300	570	100	270
	59.0	87.0	370	290	560	80	270
	58.0	87.0	300	230	440	70	210
	平均	58.3	87.0	357	273	523	84

高く、製パン性の良し悪しよりも、むしろ、酵素の種類により違いがあるのではないかと考えられる。小麦粉のみのコントロールよりも、もち米粉を15%置換添加したG~Jの最高粘度が低く、もち米粉に本来含まれている α -アミラーゼに、さらにアミラーゼ系の酵素を加えることによって(H~J)、粘度低下に働いたものと考えられる。HとIの最高粘度が他よりも著しく低く、Jの約1/3であったのは、Hのグルコチーム#20000とIのグルコチームDBのグルコアミラーゼであり、JのデナチームSA-7の α -アミラーゼよりも、強力にでんぷんを分解し、液化させた為であろうと考えられる^{11,12,13}。

最高粘度とブレイクダウンは同じ傾向を示し、両者の間には非常に高い相関関係が認められたとする報告があるが¹⁴、今回のもち米粉を置換添加し、酵素を加えたものでは、一部には相関が認められたものの、全ての試料に関連性があるとは言い難い。しかし、コントロールとJは、最高粘度から最低粘度の値を引いたブレイクダウンが共に高く、1位と2位であった(表8)。また、両者は製パン性でも1位と2位を占めており、ブレイクダウンの大きいものほどパンの

品質は良いと考えられる。

もち米粉を置換添加したものは、いずれもコントロールよりもコンシステンシーが低かった。コンシステンシーは $H > I > G > J > C$ の順に低い値であった。これらはでんぷんを分解するアミラーゼの作用によって、でんぷんが変化して、老化を遅らせたのと、もち米粉の特性であるアミロペクチンの作用によるものと考えられる。Hは、コンシステンシーが小さく老化しにくいと考えられるが(表8)、焼成したパンは体積や比容積が小さく、比重が大きいことから(表2のA2)、コンシステンシーの数値だけでは製パン性が良いとは判定し難い。Jのコンシステンシーはコントロールよりもやや値が低いことから、コントロールよりは多少、老化が遅いが、体積や比容積が大きく、比重は小さく、軟らかいことから(表2のD1)、パンとしてはかなり良好と言える。

以上のことから、製パン性の評価には、コンシステンシーと焼成後の比容積、比重やテクスチャーなどを総合的に評価する必要があると考えられる。

図1から、もち米粉(G)ともち米粉に酵素を添加したもの(H・I・J)はいずれの場合も、糊化開始温度と最高粘度時の温度にはあまり影響せず、最高粘度、最低粘度および最終粘度など

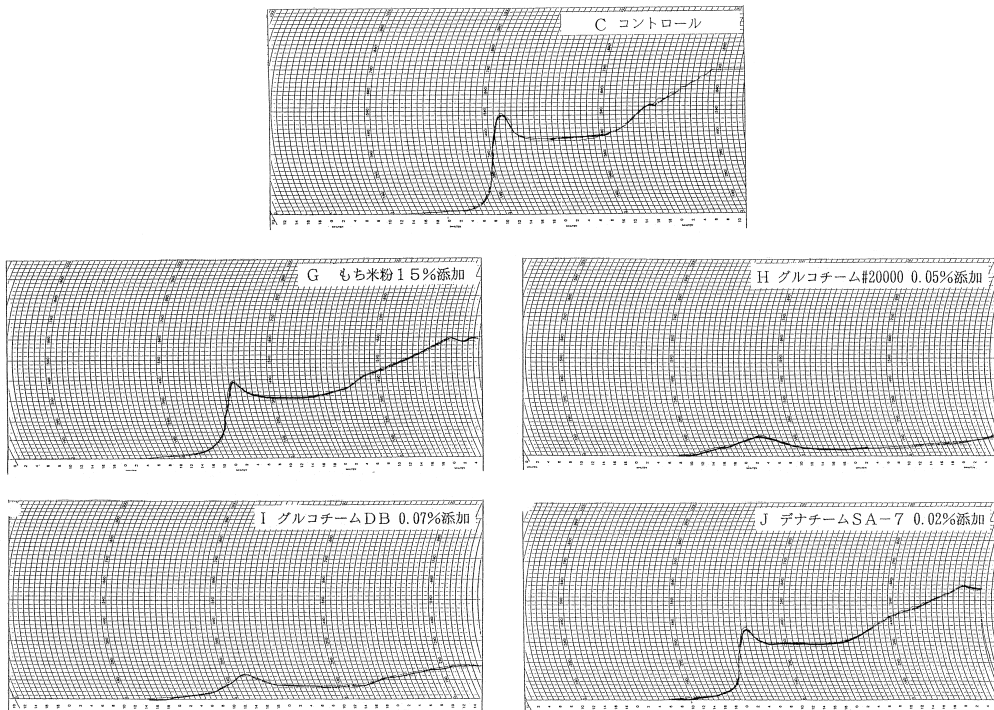


図1 もち米粉・酵素添加の糊化特性 (ビスコグラフ)

の粘度に大きな影響を及ぼすことが分かった。また、総合的にみて、糊化特性がコントロールに最も近いのはJであり、*Aspergillus oryzae* (麹カビ) を起源とするデナチーム SA-7 (0.02%) 添加が製パン性の改善に最も有効であると言える。

αミラーゼの活性によって、ガス発生を高い速度で維持し、パン生地を膨張させ、香ばしい風味を生成し、また、パンの生地にも影響を与え、焼成中にもでんぷんを変化させ、パンの品質に繋がるものと考えられる。

4. 酵素添加による糖化度

パン生地の糊化特性の違いから、酵素を添加することによって、でんぷんの糖化にも影響を及ぼし、生地の粘度や製パン性にも関連性が大きいのではないかと考えられる。そこで生地の糖化度の測定を行った。

還元糖量は、H>G>I>J>Cの順に高く、製パン性の悪いものほど還元糖量が多かった(図2・表7)。H(グルコチーム#20000)とI(グルコチームDB)のグルコアミラーゼを添加することによって、でんぷんはマルトースおよびグルコースに分解される。酵素の量の影響が大きく、還元糖量が過剰になると製パン性は劣るものと考えられる。従って、良く出来た焼成後のパンに含まれる還元糖量の限界は、35%前後であろう。

パン生地の膨張は、ガス発生量、ガスの包蔵性および生地の粘着性の三要因によって影響を受けるが、パン生地中のα-アミラーゼが少ないとでんぷんゲルの粘度が高すぎ、過剰であるとガス包容力がなくなって、形崩れしたパンになると報告されていることから¹⁵⁾、最適量のα-アミラーゼが存在した場合には、製パン性は良好であるが、過剰になるとでんぷんが分解され、ゲルが液化するため、ガス包容力を失い、製パン性が悪くなるものと考えられる。今回の

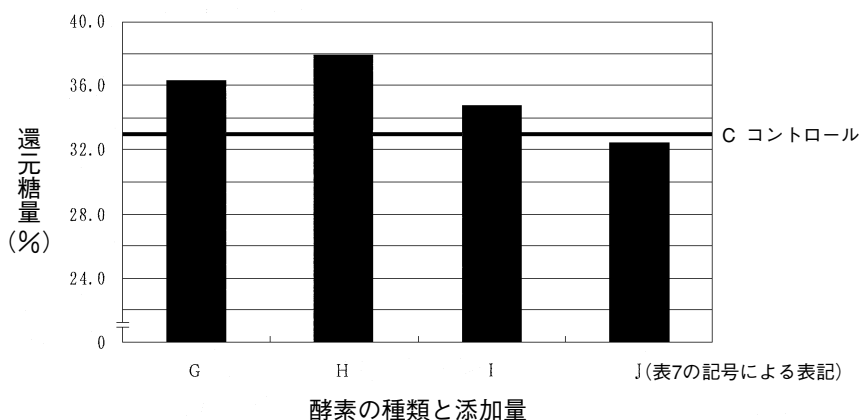


図2 酵素の種類と添加量の違いによる還元糖量

実験では、33%の α -アミラーゼを含有するデナチーム SA-7 を0.02%添加し、還元糖量が32.5%となったものが、製パン性が最も良好であった。

グルコアミラーゼが生地の発酵を極めて促進すると報告されている⁴⁾。しかし、I (グルコチーム DB) を添加した場合は製パン性は改善されたが、H (グルコチーム #20000) はパンの形が悪く、中央部が凹型に窪んだものとなった。これは、H のグルコチーム #20000は、I のグルコチーム DB の2倍のグルコアミラーゼが含有されている為、添加した量は少ないが、還元糖が過剰に生成され、その結果、発酵も過剰になり、気泡内部の圧力が増大し、気泡膜が破れて釜のびが極度に減少し、凹型のパンになったものと考えられる。

還元糖量と糊化特性は必ずしも相関があるとは言えないが、もち米粉置換添加パンの製パン性の改善には適量の α -アミラーゼが最も効果的であることが明らかになった。さらに、前述した様に、風味、香りの面でも α -アミラーゼを添加したものが優れていたことからこれらの結果が裏づけられた。

焼成後のパン (図2のC~J) のすだちの状態を走査型電子顕微鏡で観察した。製パン性の優れたパンのクラムの条件は、①気泡膜が薄く伸展している。②山形食パン (イギリスパン) は気泡の大きさが細かく均一に分散している。③気泡の形は円よりも楕円または縦長の形がよい。④気泡はすべて方向性をもっている等⁴⁾である。Gは②のみ該当していた。気泡の伸展が悪いことや、方向性がないことから、パンの体積や比容積が小さかったことが裏づけられた。体積、比容積が小さく、比重が大きく、非常に硬いパンになったHは①~④のすべてに該当せず、気泡膜が破れ、滑らかさがみられなかった。製パン性が良好であったI、JおよびコントロールのCは①~④のすべてに該当していた。

要 約

もち米粉をパンに添加することによって、膨潤しやすく、焼成後の粘弾性の変化が少なく、老化しにくいパンの作製が可能ではないかと考え、製パン性や物理的性状をはじめとするパンの品質に与える影響、および食味について検討した。その結果、食味は小麦粉のみより良好であったが、パンの品質が劣った。そこでアミラーゼ系の酵素を添加することによって、パンの品質改善を試み、次の様な結果が得られた。

1. もち米粉15%置換添加パンにアミラーゼ酵素を添加した場合、麴カビの *Aspergillus oryzae* から産生したデナチーム SA-7 を0.02%添加したものが、製パン性や物理的性状などのパンの品質に与える影響、および食味等の全ての点で最も良好であった。次いで、同じく麴カビの *Aspergillus sp.* から産生したグルコチーム DB を0.07%添加したものであった。

2. 製パン性が良いものほど、糊化開始温度、最高粘度時の温度が低かった。糊化特性がコントロールに最も近かったのはデナチーム SA-7 を0.02%添加したものであった。最高粘度は、 α -アミラーゼの多いパン生地ほど低く、グルコアミラーゼはさらに低かった。また、ブレークダウンの大きい生地ほど製パン性が良好であった。 α -アミラーゼやグルコアミラーゼが多く存在することによってコンシステンシーが低下し、コンシステンシーが小さいものほど老化しにくいと言える。
3. 製パン性の良いものほど還元糖量が少なかった。還元糖量は、35%前後が良好なパンの限界であった。
4. クラムの組織は、製パン性の良いものほど気泡膜が薄く伸展し、気泡の大きさが細かく均一で、気泡の形が楕円で、方向性があった。

実験にご協力頂いた杉原智子さん、高井佳奈さんに対し厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 奥田弘枝, J. G. Ponte Jr.: 広島女学院大学論集, 第51集, 81-93 (2001)
- 2) 高野博幸, 豊島英親, 小柳 妙, 田中康夫: 食品総合研究所研究報告, 48, 52 (1986)
- 3) 柴田茂久, 中江利昭: 小麦製品の知識, 144, 幸書店, 東京 (1995)
- 4) 田中康夫, 松本 博: 製パンの科学 (1) 製パンプロセスの科学, 202-205, (株)光琳, 東京 (1992)
- 5) 長尾精一郎: 最新の穀物科学と技術, 173, (株)パンニュース社, 東京 (1992)
- 6) Destephanis V. A., Ponte J. G. Jr., Chung F. H., Ruzza N. A.: *Cereal Chem.* 54, 13-24, (1977)
- 7) Wehrli H. P., Pomeranz Y.: *Chem. Phys. Lipids* 3 357-370 (1969)
- 8) Wehrli H. P., Pomeranz Y.: *Cereal Chem.* 47, 160-166 (1970a)
- 9) Wehrli H. P., Pomeranz Y.: *Cereal Chem.* 47, 221-224 (1970b)
- 10) 高野博幸, 山方次郎, 花木 満, 小柳 妙, 田中康夫: 食品総合研究所研究報告, 34, 35 (1979)
- 11) Pomeranz Y., Rubenthaler G. L., Finney K. F.: *Food Technol.* 18, 138-140 (1964)
- 12) Rubenthaler G. L., Finney K. F., Pomeranz Y.: *Food Technol.* 19, 239-241 (1965)
- 13) Shellenberger J. A., MacMasters M. M., Pomeranz Y.: *Bakers Dig.* 40, 32-38 (1966)
- 14) 堀内久弥: ジャパンフードサイエンス, 3, 85 (1969)
- 15) 相沢孝亮, 小野正之, 手塚隆久, 柳田藤治: 酵素利用ハンドブック 105, 地人書館, 東京 (1988)