

低温長時間発酵におけるベーグルの調理特性

松 森 慎 悟*

Cooking Properties of Bagel on Low Temperature and Long Time Fermentation

Shingo MATSUMORI*

Abstract

This study examines the cooking properties of bagels fermented using different techniques. We prepared bagels with dough that underwent only secondary fermentation (control), with dough that was first fermented at a low temperature for a long time, and examined the differences between the two types of bagels. Experiment method did shape measurement, the color difference meter, moisture content, texture measurement, amino acid content, and sensory evaluation of the bagels. We found no differences in the weight of the bagels, but fermentation at a low temperature over a long period of time resulted in a bagel with a lower volume, specific loaf volume, outer diameter, and height, and an overall small shape. We also determined that the bagel fermented at a low temperature for a long time was lighter in color than our control. The experimental bagel also had a higher moisture content than the control. Texture measurement showed that the bagel crust and crumb became hard because of fermentation at a low temperature for a long time. The experimental bagel also had a significantly lower amino acid level; our analysis showed that amino acids decrease during fermentation at low temperatures. Neither bagel differed in terms of sensory evaluation. The results of this study suggest that fermentation at a low temperature for a long time can be used to produce bagels whose quality is comparable to that of the control.

キーワード：ベーグル、低温発酵、破断特性、アミノ酸分析、官能評価

1. 諸言

ベーグルは、その形状と焼成前に「茹でる」という操作が加わることが特徴であり、「茹でる」ことにより、クラストが厚くなり、独特の食感が生まれると言われている。さらに、動物性たんぱく質や脂質を使用しないため、ヘル

シーなパンの一種として好まれており、専門店やベーカリーなどでも販売され、身近なパンの一種として食生活の中で定着してきた。また、一般家庭でも作られるようになり、様々なレシピが存在し、発酵工程においては、一次発酵を行わずに二次発酵のみを行うものや一次発酵を

*人間健康学部 健康栄養学科

低温で長時間発酵させるものなどもある。

この発酵工程に関しては、近年パン消費量の増加に伴い、製造工程の合理化が進み、作業の効率化を図るため、高温短時間発酵が主流となっているが、ミキシング後に冷蔵庫で一晩発酵させる低温長時間発酵を取り入れているベーカリーもある。また、家庭でも気軽にパンを作ること多くなり、冷蔵庫を利用して発酵させる製法が用いられている。この低温長時間発酵の特徴として、ミキシング時間の短縮ができることや発酵時間を長くすることでゆっくりと熟成され、美味しさの向上につながるといわれている。低温発酵についての報告は、唐沢ら^{1) 2)}は、低温発酵パンにおける糖添加について、橋本ら³⁾は、低温貯蔵がパン生地に及ぼす影響について、福井ら^{4) 5)}は、低温長時間発酵における製パン条件の検討を行っているが、調理特性に関する報告の数は少なく充分ではない。

そこで本研究では、二次発酵のみを行うベーグル(以下コントロールとする)と一次発酵を低温長時間発酵させたベーグル(以下低温長時間発酵ベーグルとする)を作製し、短時間発酵と低温長時間発酵の違いを調べるために、形状測定、色差測定、水分測定、破断測定、アミノ酸分析、官能評価を行ったので、その結果を報告する。

2. 実験方法

(1) 試料

小麦粉はカメリアの強力粉(株)富澤商店(たんぱく質含量: $11.8 \pm 0.5\%$ 、灰分 $0.37 \pm 0.03\%$)、イーストはインスタントドライイーストで日仏商事(株)製、砂糖は三井製糖(株)製、食塩は(財)塩事業センターのものを用いた。

(2) ベーグルの製法

1) 配合割合

配合割合は料理書^{6) 7)}の配合割合を参考にし、

予備実験を行い、出来上がりの性状や調整のしやすさ等から、小麦粉300g、砂糖18g、食塩7.5g、インスタントドライイースト0.9g、水165gとし、これをコントロールとした。低温長時間発酵を行うベーグルは、過発酵を防ぐためにインスタントドライイーストを0.3gとした。

2) 調整方法

前項の試料をニーダー(ミナト電機工業(株)製)にて30分ミキシングを行い、1個120gに分割した。15分のベンチタイムを経た後に、長さ25cmの棒状にしてからリング状に成形し、38℃、湿度80%にて60分発酵させた。その後、80℃のお湯で片面10秒ずつ茹で、上火180℃、下火160℃のオープン(三幸機械(株)製)で20分焼成した。なお、低温長時間発酵ベーグルは、ミキシング後約5℃の冷蔵庫にて14時間一次発酵を行った後に、生地温度を常温に戻すためにベンチタイムを30分取った。その後の工程は、コントロールと同様に作製した。

(3) 実験方法

1) 形状測定

重量は、スケール(型式KS-245 DRETEC)を用いて測定した。体積は葉種置換法で測定し、比容積は体積を重量で除して計算した。各試料共に3個測定し、その平均値及び標準偏差を算出した。外径及び高さはデジタルノギス(150mm)を用いて、各試料共に3個を3点計測し、その平均値及び標準偏差を算出した。

2) クラストの色差測定

色差計(日本電色工業・株SE6000)を用いて、L*値「明度」、a*値「彩度」、b*値「色相」を1つの試料につき3か所の表層を任意に測定し、その平均値及び標準偏差を算出した。

3) 水分測定

水分含量は、加熱乾燥式水分計(A & D・株MF-50)を用いた。測定試料は厚さ2~3mmの輪切りとし、試料同士が重ならないよう試料皿

に載せ、その上に試料表面の炭化を防ぐためのガラス繊維シートを載せて測定した。測定条件は、測定温度を110℃、試料重量を5gとし、1分間前との水分変化率が0.20%以下になるまで加熱し、その時の値を水分量とした。各試料共に3個を3点計測し、その平均値及び標準偏差を算出した。

4) 破断測定

破断測定は、ベーグルを放射状に6等分して、レオナー(株・山電製 RE2-3305B)を用い、表層上部から圧縮破断を行った。測定条件は、歪率90%、プランジャーは外径3mmの円筒形(No.66)、ロードセル20N、測定速度1mm/secとし、得られた応力-歪曲線より、最初に応力が減少した点をクラストの破断点とし、その値をクラストの硬さとして対応させ、破断点から垂線を下して得られた面積をクラストの破断エネルギーとした。また、内部のクラムは細かい応力変化が継続したため、応力-歪曲線の変化が比較的小さい範囲の歪率60%の応力をクラムの硬さとした。

5) アミノ酸分析

試料5gに10% TCA 溶液を加え、ホモジナイズ後に遠心分離を行いろ過し、1N水酸化ナトリウム溶液及びクエン酸リチウム緩衝液(pH2.98)を加え、0.45μmのフィルターでろ過したものを試料溶液として、アミノ酸分析機(日本電子JLC-500/V2)で測定を行った。試料

100g中に残存する遊離アミノ酸量(mg)で表示した。

6) 官能評価

官能評価は、二点比較法で行い、評価項目は、分析型として「硬さ」、「甘味の強さ」、「旨味の強さ」の3項目、嗜好型として「食感」、「香り」、「総合評価」3項目の計6項目で行った。パネラーは本学年学生91名、性別は女子とし、年齢の構成は、18～22歳である。なお、本調査は、駒沢女子大学・駒沢女子短期大学研究倫理委員会の承認を得て行った。

7) 統計解析方法

試料間については、エクセル統計((株)社会情報サービス製)を用いて、各試料の平均値について対応のないt検定にて比較検討を行った。また、官能評価結果は、二項検定で行った。

3. 実験結果及び考察

(1) 形状測定

形状測定の結果を表1に示した。重量の違いには有意な差がなく、体積は、コントロールが226.1cm³で低温長時間発酵ベーグルが200.5cm³となり、低温長時間発酵ベーグルの方が有意に低値を示した。これは低温長時間発酵により生地温度が低下したため、生地の伸展性が減少し、その後の成形や二次発酵等に影響を及ぼし、体積が低値を示したと考えられた。比容積は、コントロールが2.1で低温長時間発酵ベーグルが

表1. ベーグルの形状特性値

試料	コントロール	低温長時間発酵	P値
重量 (g)	107.8±0.4	107.8±0.5	0.863
体積 (cm ³)	226.1±2.9	200.5±3.8	P<0.01
比容積 (cm ³ /g)	2.1±0.0	1.9±0.0	P<0.01
外径(mm)	100.2±1.7	98.5±3.4	P<0.01
高さ(mm)	38.3±2.1	34.8±2.4	P<0.01

n ≥ 3 mean ± SD

1.9となり、有意な差がみられた。このことから、低温長時間発酵ベーグルはコントロールに比べて重量の値に変化はないが、体積の値が低値となるため、膨らみにくく中身の詰まったベーグルになることがわかった。また、外径及び高さにおいても、低温長時間発酵ベーグルの方が有意に低値を示した。前述したように、低温長時間発酵ベーグルはコントロールより比容積が小さかったため、外径及び高さも低値を示したと考えられ、低温長時間発酵により、生地の伸展性が減少し、膨化に影響したと考えられた。

(2) クラストの色差測定

クラストの色差測定の結果を表2に示した。明度を示すL*値はコントロールが63.6で低温長時間発酵ベーグルが67.3となり、低温長時間発酵ベーグルの方が有意に高値を示した。また、赤みを示すa*値はコントロールが11.4で低温長時間発酵ベーグルが7.4、黄色みを示すb*値はコントロールが37.1で低温長時間発酵ベーグルが34.5と低温長時間発酵ベーグルの方が有意に低値を示した。このことから、クラストの色調は、コントロールの焼き色の方が濃く出ており、低温長時間発酵ベーグルは、焼き色が薄くなることがわかった。低温長時間発酵ベーグルの方が薄くなった原因として、唐沢ら¹⁾は、低温発酵時における生地中の残糖量を検討しており、発酵時間の経過とともに残糖量が減少すると報告している。このことから、14時間の発酵過程

においてイースト中のチマーゼ群によって、生地中の糖分が分解され、残糖量が減少し、アミノカルボニル反応が起こりにくくなったためと考えられた。また、唐沢ら¹⁾は、低温発酵により生地のpHが低下すると報告しており、アミノカルボニル反応は、酸性領域では反応が遅くなるため、本実験においても褐変反応が進みにくかったと考えられた。

(3) 水分測定

水分測定の結果を表2に示した。コントロールは34.1%で低温長時間発酵ベーグルは34.8%となり、低温長時間発酵ベーグルの方が有意に高値を示した。パン生地は、作製行程中に生地表面から水分が蒸発するため、コントロールに比べ低温長時間発酵ベーグルの方が、発酵時間が長いと、水分含量が少ないと予測していたが、実験結果は低温長時間発酵ベーグルの方が、水分含量が多いという結果が得られた。吉野⁸⁾は、低温で長時間発酵させると水和状態がよくなると述べており、低温長時間発酵することで、グルテンの吸水が増したためと考えられるが、水分含量を測定したのは、焼成後1時間であり、ミキシング後や焼成前の時点で違いがあるかなど今後検討する必要がある。

(4) 破断測定

破断測定の結果を表3に示した。クラストでは、最初に応力が減少した点を硬さとし、コントロールが 5.3×10^5 (N/m²)で低温長時間発酵

表2. クラストの色調とベーグルの水分含量

試料	コントロール	低温長時間発酵	P値
L*	63.6±1.6	67.3±4.3	P<0.01
a*	11.4±1.1	7.4±3.0	P<0.01
b*	37.1±1.1	34.5±2.2	P<0.01
水分 (%)	34.1±0.5	34.8±0.6	P<0.05

n ≥ 3 mean ± SD

L* : 明度、a* : 彩度、b* : 色相

表3. ベーグルのクラストの硬さと破断エネルギーおよびクラムの硬さ

試料		コントロール	低温長時間発酵	P値
クラ ス ト	硬さ $\times 10^5$ (N/m ²)	5.3 \pm 0.7	6.1 \pm 0.7	P<0.01
	破断エネルギー $\times 10^4$ (J/m ³)	7.8 \pm 1.6	10.3 \pm 3.4	P<0.01
ク ラ ム	硬さ $\times 10^5$ (N/m ²)	3.7 \pm 0.3	4.3 \pm 0.5	P<0.01

n \geq 3 mean \pm SD

ベーグルは 6.1×10^5 (N/m²)であった。破断エネルギー値はコントロールが 7.8×10^4 (J/m³)で低温長時間発酵ベーグルが 10.3×10^4 (J/m³)となり、低温長時間発酵ベーグルの方が有意に高値を示し、硬くなることがわかった。クラストは、澱粉の糊化とたんぱく質の熱変性によって生じた構成成分の表皮であり、焼成の工程で脱水された結果生じるものである。原ら⁹⁾は、クラストはゆで時間が長いほど破断エネルギーが大きくなったと述べており、呉ら¹⁰⁾は、焼成温度が高くなるほどクラストが厚くなると述べているが、本実験は、茹で時間や焼成を同条件で行っているため、低温長時間発酵後の生地の状態に依存していると推察された。一方、歪率60%の応力をクラムの硬さとしたが、コントロールが 3.7×10^5 (N/m²)で低温長時間発酵ベーグルが 4.3×10^5 (N/m²)であり、有意に高く、クラムに関しても低温長時間発酵ベーグルの方が硬いということがわかった。比容積の結果からも、低温長時間発酵ベーグルはコントロールに比して膨らみが悪く、クラムの中身が詰まったベーグルとなっているため、硬さが増したと考えられた。

(5) アミノ酸分析

アミノ酸含有量を表4に示した。両ベーグルにおいて、遊離アミノ酸含有量の上位は、アスパラギン酸(Asp)、次いでグルタミン酸(Glu)、アラニン(ala)であった。アスパラギン酸(Asp)

含有量は、コントロールが13.7(mg/100g)で低温長時間発酵ベーグルが13.5(mg/100g)であり、有意な差はなかった。グルタミン酸(Glu)含有量は、コントロールが11.6(mg/100g)で低温長時間発酵ベーグルが9.2(mg/100g)であり、低温長時間発酵ベーグルの方が有意に低値を示した。バリン、アルギニン、ロイシン、フェニルアラニン、イソロイシンはやや増加していたが、総アミノ酸量は低温長時間発酵ベーグルの方が有意に低値を示し、低温で長時間発酵することで、アミノ酸量が減少していることがわかった。これは、小麦粉中のたんぱく質がプロテアーゼにより分解され、その一部がイーストの解糖系に利用されるため、発酵時間が長くなるにつれてアミノ酸が減少すると考えられた。

(6) 官能評価

官能評価の結果を図1に示した。分析型では、「硬さ」、「甘みの強さ」、「旨み強さ」、嗜好型では、「食感の好ましさ」、「香りの好ましさ」、「総合評価」について質問し、いずれの項目においても有意な差はえられなかった。このことから、低温長時間発酵ベーグルは、官能評価においてはコントロールとの大きな違いはなく、同程度の品質で作製できることが示唆された。

4. 要約

短時間発酵と低温長時間発酵の違いを調べるために、二次発酵のみを行うベーグルと一次発

表4. ベーグルのアミノ酸含有量

試料	(mg/100ml)		
	コントロール	低温長時間発酵	P値
Asparatic acid	13.7±0.2	13.5±0.2	0.139
Glutamic acid	11.6±0.2	9.2±0.2	P<0.001
Alanine	4.3±0.0	4.0±0.1	P<0.05
Tryptophan	3.4±0.3	3.1±0.2	0.399
Proline	2.7±0.3	1.3±0.3	P<0.01
Valine	2.0±0.3	2.2±0.3	P<0.05
Arginine	1.8±0.0	2.1±0.0	P<0.001
Lysine	1.6±0.2	2.0±0.1	0.056
Serine	1.4±0.0	1.5±0.1	0.234
Leucine	1.2±0.0	1.6±0.1	P<0.01
Glycine	1.1±0.1	1.1±0.0	0.121
Phenylalanine	1.1±0.1	1.4±0.1	P<0.05
Tyrosine	0.8±0.0	0.9±0.1	0.204
Histidine	0.8±0.3	0.8±0.2	0.851
Threonine	0.7±0.0	0.7±0.1	0.658
Isoleucine	0.7±0.1	1.0±0.1	P<0.05
Methionine	0.4±0.0	0.6±0.1	0.087
総アミノ酸量	61.7±0.8	59.6±0.3	P<0.05

n=3 mean±SD

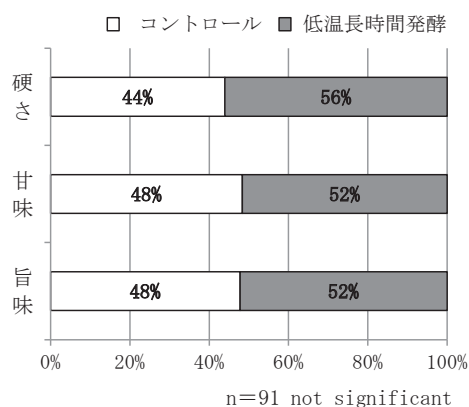


図1-1. ベーグルの分析型官能評価

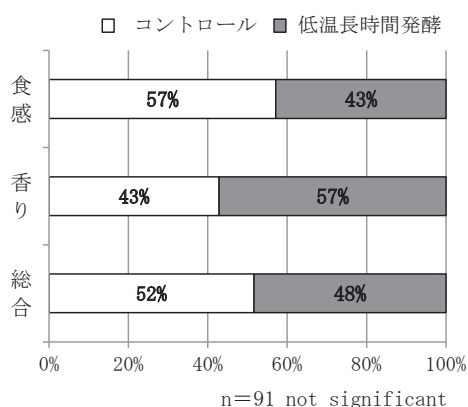


図1-2. ベーグルの嗜好型官能評価

酵を低温長時間発酵させたベーグルを作製し、形状測定、色差測定、水分測定、破断測定、アミノ酸分析、官能評価を行い、以下の結果を得た。

(1) 形状測定の結果より、重量の値に変化は

なかったが、体積、比容積、外径、高さにおいて、低温長時間発酵は低値を示し、小さくなることがわかった。

(2) クラストの色調は、低温長時間発酵の方

が薄く焼きあがることがわかった。これは、低温発酵中の残糖量及びpHの低下により、アミノカルボニル反応が起きにくくなったためと考えられた。

- (3) 水分含量は、低温長時間発酵の方が有意に高値を示し、発酵中にグルテンの水和が進んだことによるものだと考えられた。
- (4) 破断測定の結果より、低温長時間発酵させることでクラスト及びクラムともに硬さが有意に高値を示し、硬くなることがわかった。
- (5) アミノ酸分析の結果より、低温長時間発酵ベーグルの方が、アミノ酸含有量が有意に低値を示し、低温発酵中にアミノ酸量が減少することがわかった。
- (6) 官能評価の結果より、コントロールと低温長時間発酵ベーグルの間には有意な差はみられなかった。

以上の結果から、低温長時間発酵ベーグルは、コントロールと比較すると、やや小ぶりでクラストおよびクラムともに硬くはなるが、官能評価の結果からは有意な差がなかったため同程度の品質で作製できることが示唆された。

5. 謝辞

本研究の遂行に際し、アミノ酸分析をして頂きました日本ハム株式会社中央研究所、官能評価にご協力頂きました本学学生の皆様に深謝申し上げます。

6. 参考文献

- 1) 唐沢恵子、武田紀久子 (1978) 低温発酵パンについて (第2報)、日本家政学会誌、29, 480-484
- 2) 唐沢恵子、武田紀久子 (1980) 低温発酵パンについて (第3報)、日本家政学会誌、31, 13-18
- 3) 橋本潤、稲田和子、園田豊一、松本博 (1979)

低温貯蔵がパン生地に及ぼす影響、日本家政学会誌、30, 154-158

- 4) 福井尚之、蔵重由美子 (1980) 低温・長時間発酵パン製造に関する研究、宇部短期大学学術報告、16, 113-119
- 5) 福井尚之 (1992) 低温長時間発酵法における最適製パン条件の検討、日本食品工業学会誌、39, 348-356
- 6) 高橋雅子 (2008) ゆっくり発酵ベーグル、12-19、株式会社パルコ、東京
- 7) 柴田書店・編 (2009) ベーグルマスターブック、30, 55, 65, 75, 85, 93, 103, 111, 119, 129、株式会社柴田書店、東京
- 8) 吉野精一 (2006) パン「コッの科学」、73、株式会社柴田書店、東京
- 9) 原たつえ、中ノ瀬千尋、高崎房子、梅國智子、大家千恵子 (2004) ベーグルの調理特性、日本調理科学会誌、37, 292-298
- 10) 呉計春、相良泰行、瀬尾康久、森嶋博食 (1996) 食パンの焼成プロセスにおける熱および物質移動特性、日本食品科学工学会誌、43, 1117-1123