

酵母の違いがリッチなパンに与える影響

山田 密穂 (YAMADA Mitsuho)^{1*}, 小泉 昌子 (KOIZUMI Akiko)², 峯木 眞知子 (MINEKI Machiko)^{3,4}

Key Words: 白神こだま酵母, ホシノ天然酵母パン種, パン, 発酵, テクスチャー特性, 官能評価, 走査型電子顕微鏡

NOTE Effect of different yeasts on enriched bread quality

Authors: Mitsuho Yamada^{1*}, Akiko Koizumi², Machiko Mineki^{3,4},

Corresponding author: Mitsuho Yamada¹

Affiliated institutions:

¹Natural Bread School Brezel [1-3-25 Minamiurawa, Minami-ku, Saitama-shi, Saitama, 336-0017, Japan]

²Tamagawa University [6-1-1 Tamagawa gakuen, Machida-shi, Tokyo, 194-8610, Japan]

³Tokyo Kasei University [1-18-1 Kaga, Itabashi-ku, Tokyo, 173-8602, Japan]

⁴Laboratory of Egg Science [2-5-7 Sengawa-Cho, Chofu-shi, Tokyo, 182-0002, Japan]

Key Words: Shirakamikodama yeast, Hoshino natural leaven, Bread, Fermentation, Texture properties, Sensory evaluation, Scanning electron microscopic

Abstract

We are conducting ongoing research on Shirakamikodama yeast (S) and Hoshino natural leaven (H). S and H are the most widely known natural bread yeasts. However, few studies have investigated the characteristics of these yeasts and their effects on bread quality. We previously reported on the quality and flavor characteristics of bread made using these two yeasts. In the present study, we compared the quality and bread-making characteristics of enriched bread prepared using S and H, with instant dry yeast serving as the control (D). We evaluated the weight, volume, water content, color, texture, and structure of the prepared bread. Furthermore, to assess the flavor characteristics and palatability of the resulting bread, sensory evaluations were performed. The specific volume of S bread was intermediate among the three samples. S bread was harder than D bread, but there was no difference compared with H bread. The cohesiveness and adhesiveness of S bread were intermediate among the three samples. In the 7-point scale palatability evaluation, the score was 5.4, placing it in the “like slightly” range. These results suggest that S may be a suitable yeast for preparing enriched bread. H bread had the smallest specific volume of the three samples. H bread was significantly harder than D bread and had the lowest cohesiveness of the three samples. In the visual evaluation, the alveolar cell walls of H bread contained a greater number of small pores and were thinner than those of the other two bread types. In terms of crumb structure, the alveolar cell walls contained numerous cracks, with starch granules and fat-like spherical particles appearing to emerge from some of these cracks. It is thought that these small pores and cracks might be the result of proteases derived from the *kōji* mold in H acting on the cell walls and membranes. The overall evaluation score of the H bread was 5.6, which is within the “like slightly” range. However, given that the specific volume of the H bread was the smallest among the three samples, it may not be suitable for making enriched bread.

* 責任著者: 山田 密穂 (Mitsuho Yamada)¹

¹自然派パン工房ふれっちえる (埼玉県さいたま市南区南浦和 1-3-25)

²玉川大学 (東京都町田市玉川学園 6-1-1)

³東京家政大学 (東京都板橋区加賀 1-18-1)

⁴タマゴのおいしさ研究所 (東京都調布市仙川町 2-5-7)

要旨

市販天然酵母種として広く知られている白神こだま酵母（以下、S）、ホシノ天然酵母パン種（以下、H）について研究を進めている。SとHは市販天然酵母として広く知られているが、酵母の特性や製パンへの影響についての研究は少ない。私たちは、これら酵母を用いた食パンの品質および食味特性についての研究から、Hはリーンなパンに適性があり、Sはリッチなパンに適性がある可能性を示した。本研究では、リッチな配合における各酵母使用パンの品質および食味特性の比較を実施し、Sのリッチなパンへの適性を検証した。対照酵母はインスタントドライイースト（以下、D）とした。体積、重量、比容積、水分含有率、色、テクスチャーを測定し、組織構造を観察した。また、官能評価による食味特性を検討した。S試料の比容積は3試料内で中間の値を示した。テクスチャーでは、D試料よりも有意にかたく、H試料とは違いが見られなかった。凝集性・付着性は中間の値を示した。7段階評点法における嗜好型官能評価の総合評価は5.4の評点で、「やや好ましい」の5点以上の評価を得た。Sは、リッチなパンに適性があると考えられる。H試料は、3試料内で比容積が最も小さかった。テクスチャーでは、D試料よりも有意にかたく、3試料内で最も凝集性が低かった。組織においては、気泡壁が薄く、気泡膜に小孔が多数存在していた。気泡壁面には、複数の亀裂が生じており、でんぷん粒と脂肪と思われる球状物質が露出していた。Hの材料に含まれる麴由来のプロテアーゼが気泡膜・気泡壁面に影響を与えたと考えられた。嗜好型官能評価の総合評価は5.6の評点で、「やや好ましい」の5点以上の評価を得たが、膨化が劣ることから、Hはリッチなパンには適性が低い可能性がある。

1. 緒言

著者らは、市販天然酵母として広く知られている白神こだま酵母（以下、S）およびホシノ天然酵母パン種（以下、H）について研究を進めてきた¹⁻³⁾。Sは1997年に白神山地の腐葉土から発見された野生酵母で⁴⁻⁷⁾、種起こしの必要なしに製パンに利用できる^{4,6)}。Hは、穀物に付着する酵母菌を取り込み、小麦、麴、水と共に培養して乾燥粉末化したスターター⁸⁻¹⁰⁾で、生種起こしをして使用する。著者らは、前報¹⁻³⁾で、S、Hを用いた食パンの品質および食味特性を明らかにした。対照酵母としてインスタントドライイースト（以下、D）を用いた。S、Hはいずれも食パンに適性があったが、Hに含まれる麴由来のアミラーゼ、プロテアーゼがパンのやわらかさや甘味に影響を与えたことが推察された¹⁾。各酵母の単離を行ったところ、いずれも *Saccharomyces cerevisiae* であり²⁾、Hの製品1gあたりの酵母生菌数はSおよびDに比べ約1/10000と少なかった。同一生菌数にそろえた製パン試験では、各試料は同じ発酵時間で同等に膨化した。リーンなパンにおける製パン試験では、Hの体積が大きく、やわらかく、嗜好型官能評価において3試料内で最も高い評点を得て、リーンなパンに適性があることが明らかになった³⁾。本研究では、リッチな配合におけるS、H、D使用パンの品質および食味特性の比較を実施し、S

のリッチなパンへの適性を検証した。本研究が、店舗や家庭製パンにおいて合理的な製造かつ品質の向上に寄与するものと考えられる。

2. 方法

2-1. パン試料作製方法

パンの配合をTable 1に示した。配合は、竹谷¹¹⁾のブリオッシュレシピを参考に決定した。

材料は、強力粉（カメリヤ、(株)日清製粉ウェルナ、東京）、上白糖（スプーン印、三井製糖(株)、東京）、塩（食塩、(公財)塩事業センター、東京）、卵（市販鶏卵、M玉）、バター（北海道よつ葉バター食塩不使用、よつ葉乳業(株)、北海道）、牛乳（お

Table 1 パンの配合 (g)

材 料	試 料		
	D	S	H
強力粉	200	200	200
酵 母	4 (顆粒)	4 (顆粒)	18.7 ¹⁾ (生種)
上白糖	20	20	20
塩	4	4	4
卵	60	60	60
バター	80	80	80
牛 乳	60	60	60
蒸留水	14.7	14.7	0 ²⁾

D：インスタントドライイースト

S：白神こだま酵母

H：ホシノ天然酵母パン種

1) HL (生種) の重量 18.7g は、HN (顆粒) 4g に相当する。

2) HL の水分含有率は 78.6% のため、蒸留水の重量から HL に含まれる水の重量 14.7g を差し引いた。

いしい牛乳, (株) 明治, 東京), 蒸留水を用いた。顆粒の D (スーパーカメリヤドライイースト, (株) 日清製粉ウェルナ, 東京), S (白神こだま酵母ドライ, 秋田十條化成 (株), 秋田) は各 4 g とした。S は, 下坂^{6,7)} に準じ, あらかじめ配合の蒸留水を 35 °C に温め, 酵母を溶かして 5 分おいてから, 酵母以外の材料に加えた。H は顆粒の製品 (以下, HN) を 28 °C の恒温器 (VS-404WH, (株) ベルソス, 広島) で 24 時間保温して生種起こしを行い, できあがった生種 (以下, HL) を 18.7 g 用いた。HL の水分含有率は 78.6% である¹⁾ ことから, H は HL に含まれている水分 14.7 g を調製時の加水量より差し引いた。

パンの調製には, ホームベーカリー (SD-BH1001, パナソニック (株), 東京) を用いた。D 試料と S 試料は食パンコース (全工程 4 時間), H 試料は天然酵母食パンコース (全工程 7 時間) で行った。D は, 機器取扱説明書¹²⁾ 記載の投入指定時刻に加えた。S, HL は 1 回目のねり工程開始前に加えた。

パンは焼成後, 室温 (25 °C) にて 1 時間放冷した。室温になった状態を確認後, 食品用ラップフィルムに包み, ジッパーつきポリエチレン袋に入れた状態で保存した。室温 (25 °C) で 12 時間保存し, 測定用試料とした。

2-2. 測定方法

1) 体積, 重量, 比容積

試料の体積, 重量は, レーザー体積計 (Selnac-Win VM2100, (株) ASTEX, 大阪) により測定した。比容積は, パンの体積を重量で除して求めた。試料は各 5 個調製し, 平均と標準偏差を求めた。

2) 水分含有率

試料の水分含有率は, 内相部 5 g を用いて測定した。赤外線水分計 (FD-600, (株) ケット科学研究所, 東京) により, 110 °C, 80 分間で測定した。試料は各 5 個調製し, 平均と標準偏差を求めた。

3) 色

試料の測色は, 外皮上面および内相部にて行った。外皮上面の中央部と四隅の計 5 点を測定した。内相部は試料を縦に切断し, 2 つの切断面のそれぞれ中央部の計 2 点を測定した。分光測色計 (CM-700d, コニカミノルタジャパン (株), 東京) により, 明度 (L* 値), 色度 (a* 値, b* 値) を測定し, 色差 (ΔE^*) を次式 $\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$ より算出した。

その値をもとに NBS 単位 (米国標準局) により感覚的な色の差を評価した。試料は各 5 個調製し, 平均と標準偏差を求めた。

4) テクスチャー

測定用試料は, 調製した各 5 試料の内相中央部より 2.0 × 2.0 × 2.5 (縦 × 横 × 高さ) cm の大きさに切り出したものを各 3 個用いた。計 15 個を測定し, 平均と標準偏差を求めた。測定には, レオメーター (RE2-33005C, (株) 山電, 東京) を使用した。試料の高さの 90% まで直径 8 mm のアクリル樹脂製円柱プランジャーで 2 回圧縮し, テクスチャー特性値を解析した。ロードセルは 20 N を用い, 測定速度は 10 mm/sec とした¹³⁾。解析は自動解析装置 (CA-3305, (株) 山電, 東京) を用い, かたさ, 凝集性, 付着性を求めた。

5) 組織観察

観察用試料は, 内相中央部を, 単回使用マイクロトーム用刃 (ライカマイクロトーム替刃 818, ライカマイクロシステムズ (株), 東京) を用いて, 1.0 × 1.0 × 0.2 (縦 × 横 × 高さ) cm の大きさに切り出したものとした。

気泡の大きさ, 小孔^{14,15)}, グルテンストランド^{16,17)} の観察は, そのままの状態を試料台に取り付けて行った。卓上走査型電子顕微鏡 (Miniscope TM3030Plus, (株) 日立ハイテク, 東京) を用い, 加速電圧 10 kV, 40 倍で観察した。気泡の長径は, 画像解析・計測ソフトウェア (WinROOF2015, 三谷商事 (株), 東京) により計測した。長短軸比は, 気泡の縦の長さを横の長さで除して求めた。

気泡壁面^{14,15)} の観察には, 二重固定¹⁸⁾ を行った試料を用いた。試料を 2.5% グルタルアルデヒド (TAAB 社製, 日新 EM (株), 東京), 0.1 M リン酸緩衝液 (pH 7.4, 武藤化学 (株), 東京) に浸漬して 5 °C, 2 時間の前固定を行った。洗浄後, 1% オスミウム酸溶液 (TAAB 社製, 日新 EM (株), 東京) による 5 °C, 2 時間の後固定を行い, エタノール系列にて脱水した^{16,17)}。試料を乾燥させ, Au-Pd コーティング (MSP-1S マグネトロンスパッタ装置, (株) 真空デバイス, 茨城) を施した。前述の卓上走査型電子顕微鏡により, 加速電圧 10 kV, 1000 倍で観察した。

6) 官能評価

官能評価には, 試料内相部から 4.5 × 3.5 × 1.5 (縦

×横×高さ) cm に切り出して供した。分析型官能評価および嗜好型官能評価は、7段階評点法により行った。分析型官能評価の項目は、きめ、内相の色、香り、かたさ、弾力、しつとりの度合い、甘味、バター味の8項目とした。評点は、非常に弱い(または粗い、薄い)を1点、どちらでもないを4点、非常に強い(または細かい、濃い)を7点として換算し数値化した。嗜好型官能評価は、総合評価(おいしさ)について行った。評点は、非常に好ましくないを1点、どちらでもないを4点、非常に好ましいを7点として換算し数値化した。

官能評価は、東京家政大学大学院倫理委員会の承認(承認番号:R2-7)のもとに、2020年10月に実施した。対象者に対し事前に、研究の趣旨、個人情報保護方針、安全管理の配慮、同意の撤回ができる旨、途中でやめることができる旨を文書で配布し同意書に署名をいただいた。パネルは、パンが苦手ではない本学学生および教職員15名とした。パネルリストは、年齢20~30歳代の女性であった。

2-3. 統計処理

各測定データの集計には、統計処理ソフト IBM

SPSS Statistics Ver.24 を用いた。有意差検定には、試料を要因とした一元配置分散分析を行った。官能評価は、試料とパネルを要因とした二元配置分散分析を行った。有意差があった場合には、Tukeyの多重比較を行った。有意水準は5% ($p < 0.05$) とした。

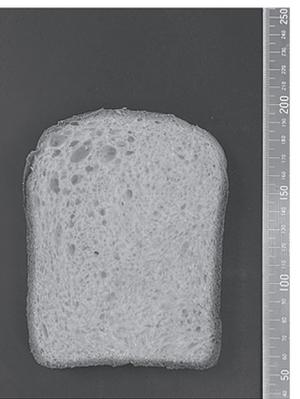
3. 実験結果および考察

3-1. パンの外観・断面の観察、体積、重量、比容積、水分含有率

パンの断面像、体積、重量、比容積および水分含有率を Table 2 に示した。

パンの外観では、外皮において、S 試料は3試料内で最も色が濃く、赤味、黄色味が強く見えた。H 試料は3試料内で最も明るく、黄色味が強く見えた。断面の観察では、D 試料で大きな気泡が多くあった。S 試料の内相は、きめが細かく、気泡は丸形で小さいものが中央部に多く見えた。H 試料の気泡は大きさが不均一で、サイズのばらつきが大きかった。パンの上部に大きな気泡が複数観察できたが、これは、H の材料に含まれる麹菌が生産したと考えられるプロテアーゼによって生地グルテンネットワークが弱化し、製パン工程の発酵、焼成中に気泡の合一が

Table 2 パンの断面、体積、重量、比容積、水分含有率

試料	D	S	H
断面			
体積 (cm ³)	2007.2 ± 221.8 ^a	1634.0 ± 134.9 ^b	1392.9 ± 39.2 ^c
重量 (g)	384.7 ± 6.5 ^b	399.2 ± 2.7 ^a	402.2 ± 2.3 ^a
比容積 (cm ³ /g)	5.21 ± 0.53 ^a	4.09 ± 0.35 ^b	3.47 ± 0.08 ^c
水分含有率 (%)	34.7 ± 0.4 ^{ab}	34.9 ± 0.3 ^a	34.1 ± 0.2 ^b

D: インスタントドライイースト試料

S: 白神こだま酵母試料

H: ホシノ天然酵母パン種試料

1) $n = 5$

2) 値は平均値 ± 標準偏差

3) a-c: 各測定項目の異符号間に有意差あり ($p < 0.05$)

起こった¹⁷⁾と考える。

体積・比容積では、D 試料が大きく、S 試料、H 試料の順に有意に小さかった ($p < 0.05$)。本実験の砂糖添加量は、ドウ発酵試験¹⁾の砂糖添加量と同量であったが、牛乳やバター等の副材料の配合量が多い影響から、ドウ発酵試験の結果と異なるものとなったと考える。

水分含有率では、S 試料が最も高く、H 試料より有意に高かった ($p < 0.05$)。D 試料は中間の値を示し、S 試料、H 試料の値と有意差がなかった。

3-2. パンの色

パンの測色の結果を Table 3 に示した。

外皮上面の L* 値 (明度) において、H 試料、S 試料の値が高く、D 試料が低値であった ($p < 0.05$)。a* 値においては、D 試料が H 試料と S 試料より有意に高く、赤味が強かった。b* 値においては、H 試料が最も高く、黄色味が強かった。D 試料の b* 値が 3 試料内で最も低く、S 試料は中間の値で D 試料、H 試料とは違いが見られなかった。H 試料の L* 値、b* 値の値が高いことは、外観観察の結果と一致していた。H に含まれる麴由来のアミラーゼにより直接、間接につくられたマルトースやグルコースが外皮の着色に寄与した可能性がある¹⁹⁾。また、麴由来のプロテアーゼが生成したアミノ酸が着色に影響した可能性が考えられた¹⁹⁾。

内相においては、L* 値は D 試料が最も低く、S 試料が最も高かった ($p < 0.05$)。H 試料は中間の値で D 試料、S 試料と有意差がなかった。内相の気泡が大きいほど、気泡壁の影により色が暗くなる²⁰⁾

とされる。外観の観察、気泡の長径測定の結果から、D 試料の気泡はサイズが大きかった。このことから、D 試料は気泡壁の影の影響が大きくなり、暗くなつたと推察された。一方、S 試料の気泡サイズは、外観の観察、気泡の長径測定の結果から小さかった。これにより、S 試料の気泡壁の影の影響が小さいことにより、明るくなつたと考えられた。a* 値では、H 試料が最も高く、赤味が強かった。b* 値では、H 試料、S 試料、D 試料の順で値が大きく、H 試料の黄色味が強かった。

色差 (ΔE^* 値) では、外皮上面における D 試料と S 試料の比較は 8.72、D 試料と H 試料の比較は 11.69 で、いずれも、「much (大いに) (6.0~12.0)」²¹⁾ の判定であった。S 試料と H 試料の色差は 3.41 で「appreciable (めだつほどに) (3.0~6.0)」²¹⁾ の判定であった。

内相の ΔE^* 値においては、D 試料と S 試料の比較は 6.49、D 試料と H 試料の比較は 8.39 で、いずれも、「much (大いに) (6.0~12.0)」²¹⁾ と判定された。S 試料と H 試料の ΔE^* 値は 4.98 で、「appreciable (めだつほどに) (3.0~6.0)」²¹⁾ の判定であった。

D, S, H で調製したパンの色は外皮上面、内相において識別できるほどの色の違いがあった。

3-3. パンのテクスチャー

パンのかたさ、凝集性、付着性を Fig.1 に示した。

かたさでは、D 試料が最も低い値を示し、S 試料と H 試料が有意に高い値であった ($p < 0.05$)。パンはローフ比容積の増加につれてやわらかくなるとされる²²⁾。D 試料の比容積は 3 試料内で最も大きかつ

Table 3 パンの外皮および内相の色

部 位	試料	色 相			色差 (ΔE^*)	
		L*	a*	b*	D との色差	S との色差
外皮上面	D	50.67 ± 2.24 ^b	15.26 ± 0.90 ^a	29.86 ± 1.44 ^b	—	—
	S	58.96 ± 3.02 ^a	12.93 ± 0.83 ^b	31.25 ± 2.51 ^{ab}	8.72	—
	H	61.56 ± 1.89 ^a	13.00 ± 0.70 ^b	33.47 ± 1.55 ^a	11.69	3.41
内 相	D	69.45 ± 3.98 ^b	-0.27 ± 0.34 ^b	19.90 ± 1.04 ^c	—	—
	S	74.35 ± 2.64 ^a	-0.08 ± 0.41 ^{ab}	24.15 ± 2.66 ^b	6.49	—
	H	71.30 ± 1.96 ^{ab}	0.25 ± 0.29 ^a	28.07 ± 1.83 ^a	8.39	4.98

D: インスタントドライイースト試料

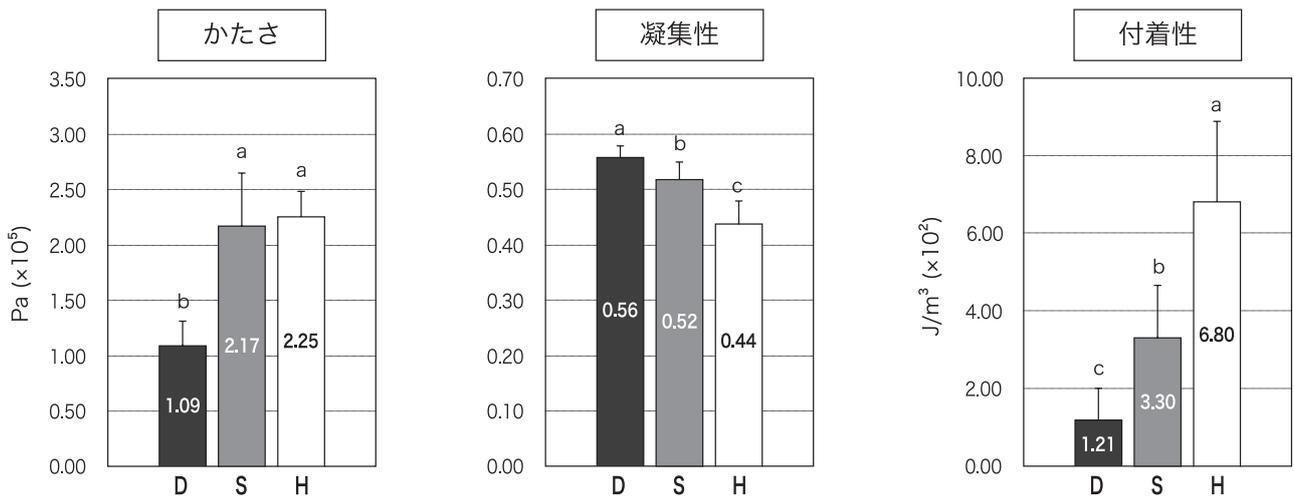
S: 白神こだま酵母試料

H: ホシノ天然酵母パン種試料

1) 外皮上面: $n = 25$, 内相: $n = 10$

2) 値は平均値 ± 標準偏差

3) a-c: 各項目の異符号間に有意差あり ($p < 0.05$)



D: インスタントドライイースト試料
 S: 白神こだま酵母試料
 H: ホシノ天然酵母パン種試料

1) $n = 15$
 2) 値は平均値 \pm 標準偏差
 3) a-c: 各項目の異符号間に有意差あり ($p < 0.05$)

Fig.1 パンのかたさ, 凝集性, 付着性

たため、かたさの値が低くなったものと考えられた。H 試料は、比容積において S 試料よりも小さかったが、かたさにおいて S 試料と H 試料に違いはなかった。H は、材料内に麴を含んでいる。麴菌によって生成されたアミラーゼにはパンをやわらかくする作用があること²³⁾により、かたさに影響を与えたと推察された。また、40 倍の組織構造の観察で観察された小孔が気泡膜のしなやかさに寄与し、かたさに影響を与えた可能性がある^{1, 24)}。

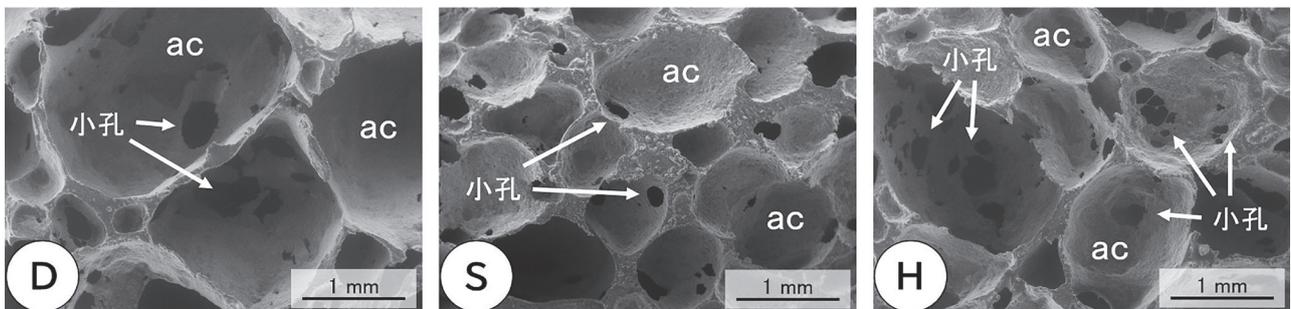
凝集性では、D 試料の値が最も高く、S 試料は中間の値で、H 試料の値が最も低くなった ($p < 0.05$)。これは、材料由来の麴菌によって生成されたプロテアーゼがグルテンのペプチド鎖を切断^{1, 25)}したため、低くなったと考える。付着性では、H 試料の値

が有意に高く、D 試料の値が低く、S 試料は中間の値を示した。

3-4. パンの組織観察

パンの組織構造 (40 倍) を Fig.2 に示した。

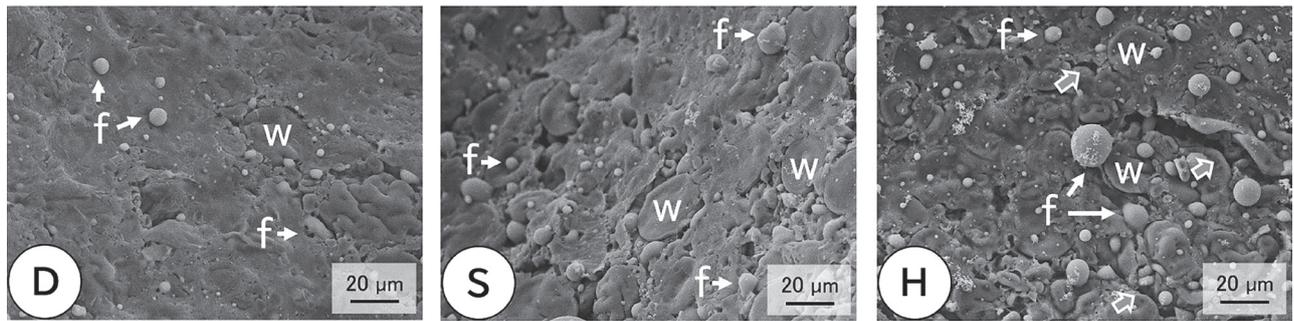
D 試料の組織では、グルテンの網状構造^{16, 17)}が焼成により引き伸ばされ、楕円形の大きな気泡 (ac) が形成されているのが観察できた。気泡を囲むグルテンストランド¹⁷⁾は細長く発達し、連続性があった。気泡の壁面^{14, 15)}はなめらかで、気泡間の壁は薄かった (Fig.2D)。D 試料は、形成された気泡膜が、発酵で発生したガスを漏洩しないように伸張して包み込んでおり²⁴⁾、D 試料の体積が最も大きかったことと一致していた。



D: インスタントドライイースト試料
 S: 白神こだま酵母試料
 H: ホシノ天然酵母パン種試料
 ac: 気泡

1) 試料の内相中央部を $1.0 \times 1.0 \times 0.2$ (縦 \times 横 \times 高さ) cm の大きさに切り出し、そのままの状態です上走査型電子顕微鏡 (Miniscope TM3030Plus) により観察

Fig.2 パン内相の SEM 像



D：インスタントドライイースト試料

S：白神こだま酵母試料

H：ホシノ天然酵母パン種試料

w：気泡壁面に見られる露出した小麦でんぷん粒（大）

f：脂肪と思われる球状物質，やや変形した球状物質，それに付着する網目状構造物質

⇒：H試料の気泡壁面に見られる亀裂

1) 試料の内相中央部を $1.0 \times 1.0 \times 0.2$ (縦×横×高さ) cm の大きさに切り出し，二重固定を行い，Au-Pd コーティングを施して，卓上走査型電子顕微鏡 (Miniscope TM3030Plus) により観察

Fig.3 パン内相の気泡壁面のSEM像

S 試料では，気泡の形は丸く小さいものが多かった。グルテンストランドの伸びは少なく，気泡間の壁は厚かった。気泡の壁面はなめらかでなく，気泡壁面および気泡壁の切断面に凹凸が多く見えた (Fig.2S)。H 試料では，気泡の形，サイズが不均一で，気泡膜に小孔が多数存在していた。気泡壁は薄く，グルテンストランドは細長く伸長していたが，連続性が悪くなっている部分があった (Fig.2H)。H は麴を含んでいるため，麴菌が生成したと考えられるプロテアーゼ¹⁹⁾ が気泡膜に作用して小孔を発現させ¹⁾，グルテンネットワークの伸展性を増大させたと同時に，グルテンの網状構造が弱くなり，連続性が悪くなったと推察する。

各試料の気泡の長径を測定した結果，D 試料が 1.34 ± 0.40 mm，S 試料が 0.69 ± 0.33 mm，H 試料が 0.85 ± 0.40 mm であった。D 試料の長径は，S 試料，H 試料より有意に大きく ($p < 0.05$)，S 試料，H 試料間の値に違いはなかった。気泡の長短軸比では，D 試料は 1.25 ± 1.06 ，S 試料は 1.15 ± 1.32 ，H 試料は 1.14 ± 1.40 で，3 試料間に有意差はなかった。

各試料の気泡壁面の組織構造 (1000 倍) を Fig.3 に示した。

気泡壁面において，D 試料では，グルテン膜がなめらかなシート状に伸展し，その下にある連続したでんぷん粒 (w) を包み込んでいた。また，グルテン膜の表面に脂肪と思われる球状物質 (f) が複数分布していた (Fig.3D)。パン生地中のグルテン膜

は，膨張したパンの骨格を支える構造体の主役である。パン生地の温度が 74°C 以上になるとグルテン膜は変性し，でんぷん粒は膨潤し，お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^{23,26)}。伸展性が高い気泡膜は焼成初期の生地ガス保持力を高め，窯伸びを大きくし，パンのボリュームを増大させる²³⁾。D 試料の気泡壁面の状態から，グルテン膜の伸展性の高いことが推察でき，体積が大きいことと一致していた。S 試料では，でんぷん粒を覆っているグルテン膜が所々に破れ，大小のでんぷん粒と，脂肪と思われる球状物質 (f) が破れた部分から露出していた (Fig.3S)。40 倍の組織構造の観察結果と，S 試料の体積・比容積が小さいことから，気泡内の炭酸ガス量が少ないことが推察された。これにより，焼成時にグルテン膜が十分に伸長することができず，厚くしなやかさがなく，電子顕微鏡試料作製過程において，でんぷん粒と脂肪球が気泡中に飛び出し露出した¹⁶⁾ と考える。H 試料では，グルテン膜がシート状に伸展している部分と，破れている部分があることが観察できた。また，気泡壁面に複数の亀裂が生じていた。それら亀裂とグルテン膜が破損している部分からでんぷん粒がやや浮き出ており，グルテン膜上に大小の脂肪と思われる球状物質 (f) が露出していた (Fig.3H)。H の材料に含まれる麴由来のプロテアーゼの作用によって，気泡壁面に亀裂を生じたと推察された。

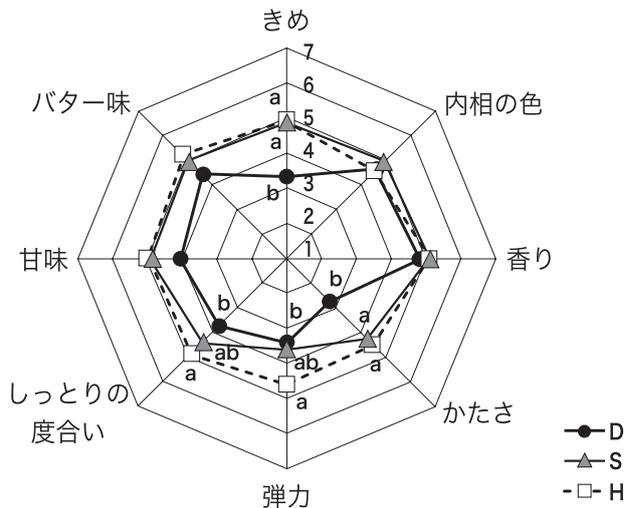
各酵母試料において確認できた脂肪と思われる球

状物質 (f) のうち、幾分変形しているものがあった。庄司・峯木は、固形油脂を配合したパンにおいて同様の脂肪球の存在を報告している¹⁷⁾。また、S 試料、H 試料のグルテン膜上および脂肪と思われる球状物質上に、白い網目状物質が見えた。庄司・峯木は、固形油脂を配合したドウの透過型電子顕微鏡観察においてグルテンストランドの周囲に網目状構造の油脂の存在を確認している¹⁷⁾。しかし、この網目状構造物質は、液状油のドウにおいて見られておらず、パンでも見られない。固形油脂であるバターを多量に含んだ本実験のパンで見られた網目状構造物質は、庄司・峯木が観察した油脂の一部と同様であると考える。D 試料ではこの網目状構造物質が見られなかったが、庄司・峯木の報告¹⁷⁾ で用いた酵母は D と同様のイーストであるため、グルテン膜がよく伸長し、脂肪と思われる球状物質を包み込むことにより、網目状構造物質が観察されなかった可能性がある。網目状構造物質は、S 試料、H 試料において観察されたが、それぞれグルテン膜の状態に違いがあり、それにより脂肪と思われる球状物質の包み込み方が異なるため、網目状構造物質の見え方に違いがあったと考える。酵母の種類により、脂肪と思われる球状物質を取り込む力が異なることにより、気泡膜の伸展性に違いが生じ、D 試料、S 試料、H 試料の順に体積が大きくなったと推察する。

3-5. パンの官能評価

7段階評点法による分析型官能評価を Fig.4 に示した。

内相の色、香り、バター味の項目において、3 試料間で有意な差は識別されなかった。きめにおいて、D 試料は粗く、S 試料、H 試料は細かいとの判定で ($p < 0.05$)、S 試料と H 試料に差はなかった。これは、断面の観察および気泡の長径測定の結果と一致していた。かたさにおいては、D 試料が最も弱く、S 試料、H 試料が強いと評価された。この結果は、テクスチャー測定のかたさの値と一致していた。弾力・しつとりの度合いにおいて、H 試料が最も強いと識別され、D 試料が弱いという評価であった ($p < 0.05$)。S 試料は中間の評点で、H 試料、D 試料と差はなかった。山本は、リッチな配合の山型食パンにおいて、型比容積 4.00 の標準製品に比べ、型比容積 4.38 の製品は、内相の触感が乾き気味で、食感は弾力が少



D: インスタントドライイースト試料
S: 白神こだま酵母試料
H: ホシノ天然酵母パン種試料

- 1) $n = 15$
- 2) 評点: 1:非常に弱い (粗い, 薄い) ~ 7:非常に強い (細かい, 濃い)
- 3) a,b: 項目間において試料間に有意差あり ($p < 0.05$)
- 4) 試料はパンの内相部より $4.5 \times 3.5 \times 1.5$ (縦×横×高さ) cm に切り出したものを使用した

Fig.4 パンの7段階評点法による分析型官能評価

なくパサパサすることを報告している²⁷⁾。本実験において、D 試料の比容積は 5.21 ± 0.53 で大きいことから、山本による型比容積増製品と同様の食感状態となる可能性が考えられた。これにより、D 試料の弾力、およびしつとりの度合いが弱いと識別されたと考える。甘味においては、S 試料、H 試料が D 試料よりも評点が高い傾向があった ($p < 0.1$)。S は、酵母の特徴としてトレハロースが通常の酵母よりも 4-5 倍多いことにより、トレハロースが自然な甘さと、保湿成分をパンに与え、少量の砂糖でも自然な甘さのパンを焼くことができる⁴⁾、とされる。また、H 試料は、材料の麴由来のアミラーゼの作用によって直接、間接につくられたマルトースやグルコースの影響、および、プロテアーゼの作用によるアミノ酸の影響があると考えられる¹⁹⁾。このことから、S 試料と H 試料の甘味の評点がやや高い傾向にあったと推察された。

嗜好型官能評価の総合評価では、H 試料が 5.6 ± 0.7 、S 試料が 5.4 ± 1.0 の評点で、有意差はなく、「やや好ましい」の 5 点以上の評価を得た。D 試料は、 4.5 ± 1.2 の評点で最も低かった ($p < 0.05$) が、「どちらでもない」の 4 点以上の評価を得た。

4. 結論

Sで調製したパンの比容積は、 4.09 ± 0.35 で、3試料内で中間の値を示した。テクスチャーでは、D試料よりも有意にかたく、H試料と差がなかった。凝集性・付着性は3試料内で中間の値を示した。分析型官能評価では、きめが細かいと識別され、弾力・しつとりの度合いが3試料内で中間の評点であった。嗜好型官能評価の総合評価は 5.4 ± 1.0 の評点で、「やや好ましい」の5点以上の評価を得た。S試料の体積は中間の値であることから、型比容積減および型比容積増製品に見られる製品不良²⁷⁾を避けることができ、官能評価で高評価を得た可能性がある。

Sは、リッチなパンに適性があると考えられる。H試料は、3試料内で体積・比容積が最も小さく、テクスチャーのかたさでは、D試料よりも有意に高い値であった ($p < 0.05$)。組織において気泡壁が薄く、気泡膜に小孔が多数存在していたことにより、S試料のかたさとは違いが見られなかった。Hに含まれる麴由来のプロテアーゼが影響を与えたと考えられた。嗜好型官能評価の総合評価は 5.6 ± 0.7 の評点で、「やや好ましい」の5点以上の評価を得たが、膨化が劣ることから、リッチなパンには適性が低い可能性がある。

参考文献

1. 山田密穂, 小泉昌子, 赤石記子, 峯木眞知子: 酵母の違いがパンの品質に与える影響. 日本家政学会誌 **72**(12): 796-807, 2021.
2. 山田密穂, 小泉昌子, 峯木眞知子, 藤森文啓: 2種の天然パン酵母の製パン特性に関する研究. *New Food Industry* **64**(12): 749-759, 2022.
3. Yamada M, Koizumi A, Mineki M: Effect of different yeasts on lean bread quality. *New Food Industry* **66**(9): 533-546, 2024.
4. 大塚せつ子: 白神こだま酵母でパンを焼く. 東京, 農山漁村文化協会, 4-79, 2002.
5. 熊谷昌則, 高橋慶太郎, 高橋砂織: 白神こだま酵母の学校給食用パンへの利用. 秋田県総合食品研究所報告 **3**: 57-63, 2001.
6. 下坂智恵: 白神こだま酵母を用いたパンの調製と膨化に関する研究. 日本調理科学会誌 **44**(3): 223-230, 2011.
7. 下坂智恵: 白神こだま酵母パン生地のかたさに関する研究. 大妻女子大学家政系研究紀要 **47**: 99-103, 2011.
8. 井上好文: ホシノ天然酵母パン種に関する研究レポート. 製パン技術資料 **815**: 1-22, 2015.
9. 井上好文: ホシノ天然酵母パン種に関する研究レポート 2. 製パン技術資料 **828**: 1-31, 2016.
10. 安藤慎一: ホシノ天然酵母パン種について. *Pain* **62**(2): 4-6, 2015.
11. 竹谷光司: プロの理論がよくわかる一からのパン作り. 東京, 旭屋出版, 114-121, 2018.
12. パナソニック (株): ホームベーカリー (家庭用) 品番 SD-BH1001 (1斤タイプ) 取扱説明書. 東京, パナソニック (株), 10-21, 2015.
13. 島村綾, 岡本美冬, 峯木眞知子: 卵殻粉添加による食パンのカルシウム強化および低塩の効果. 日本家政学会第68回大会要旨集 2016: 88, 2016.
14. 高橋真美, 森高初恵: 紅麴色素がパンの組織と色調に及ぼす影響. 日本食品科学工学会誌 **54**(2): 67-74, 2007.
15. 高橋真美, 森高初恵: パンの組織と色調に及ぼす紅麴の影響. 日本調理科学会誌 **42**(4): 225-237, 2009.
16. 峯木眞知子, 田中隆介, 西念幸江, 五百蔵良, 庄司善哉, 他: 泡あり・泡なし清酒酵母の違いが食パンの構造およびおいしさに与える影響. 日本官能評価学会誌 **15**(2): 98-106, 2011.
17. 庄司善哉, 峯木眞知子: 油脂の性状の違いによるパンの組織構造. 秋田大学教育文化学部研究紀要自然科学 **58**: 1-8, 2003.
18. 峯木眞知子, 中村卓, 小竹佐知子: 食品の組織構造とおいしさ. 東京, 幸書房, 8-11, 2025.
19. 前田茂: 第7章 イーストフード. 製パン材料の科学. 田中康夫, 松本博編. 東京, 光琳, 202-206, 1991.
20. Popov-Raljić, J.V, Mastilović, J.S, Laličić-Petronijević, J.G, Popov, V.S: Investigations of bread production with postponed staling applying instrumental measurements of bread crumb color. *Sensors* **9**(11): 8613-8623, 2009.
21. 木村友子: 3. 物理的評価法. 食品の官能評価・鑑別演習. 日本フードスペシャリスト協会編. 東京, 建帛社, 69-94, 1999.
22. 王益平, 森嶋博, 瀬尾康久, 相良泰行, 芋生憲司: 食パンのレオロジーに関する基礎的研究 第2報 かたさおよび製パン条件の影響. 農業機械学会誌 **54**(2): 75-82, 1992.
23. 井上好文: パン入門 改訂版. 東京, 日本食糧新聞社, 7-91, 2016.
24. 木村利昭, 藤井淑子, 和田淑子: 第3章 小麦粉製品. 食品・調理・加工の組織学. 東京, 学窓社, 21-48, 1999.
25. 赤石 (喜多) 記子, 五月女まりえ, 小林愛美, 山下美恵, 長尾慶子: スペルト小麦パンの物性・機能性・嗜好性に及ぼす各種発酵液添加の影響. 日本調理科学会誌 **44**(2): 153-162, 2011.
26. 内藤成弘, 深海新二, 溝上泰之, 狩野広美, 石田信昭, 高野博幸. パンの気泡空隙構造を支える微細グルテン網のSEMによる観察. 食品工業 **47**(4): 53-60, 2004.
27. 山本剛史: 製パンの基本的確認と試作実験 PART2-56 食パンバラエティ (10) リッチな配合の山型食パン 1. 製菓製パン **2018.2**: 251-260, 2018.