

國立臺灣海洋大學食品科學系碩士班
專題討論書面報告

探討冷凍麵團之麵包品質評估

授課老師：宋文杰老師

黃意真老師

指導教授：張正明老師

學號：11032026

學生：姚函均 (5110)

報告日期：110年12月01日

內容 (40%)	時間掌控 (10%)	表達能力 (30%)	投影片 (10%)	書面資料 (10%)

指導教授簽名：

探討不同條件冷凍麵團之麵包品質評估

姚函均(5110)

01/12/2021

大綱

- 一、前言
- 二、使用反應曲面法優化 RTP 以及 RTB 冷凍麵團之麵包配方
- 三、闡明不同解凍條件下冷凍麵團流變學特性及烘焙特性
- 四、LJP 對冷凍麵團麵包質地、回凝及結構特性的影響
- 五、結論

摘要

冷凍麵團的烘焙技術已在全球運用，麵團製備後，在冷凍狀態下儲存直至烘烤。冷凍保存後，麵包會因老化 (retrogradation) 而逐漸變質，使其品質與新鮮麵包相比差異大。因此，本研究將探討冷凍麵團材料配方、製造流程、解凍條件以及添加海藻多醣 (Laminaria japonica polysaccharides, LJP) 等條件以提高其烘焙性能。使用反應曲面法 (Response surface methodology) 中之中央複合設計，設定每個因素的測試範圍。分析了新鮮、後發後烤 (Ready-to-proof, RTP) 和先發後烤 (Ready-to-bake, RTB) 麵團製備的麵包品質，與 RTB 麵團的麵包相比，新鮮和 RTP 麵團的麵包有較高體積、較高的高度和更低的硬度，表明 RTP 麵團的冷凍穩定性優於 RTB 麵團的穩定性；RTP 和 RTB 麵團配方中，最重要的因素影響麵包品質為糖、水和酵母。從不同解凍方法 (冰箱、常溫、電烤箱和微波解凍) 評估對冷凍麵團品質特性及麵包的影響，使用微波縮短了解凍時間，但導致麵團的溫度分佈不均勻；在冷藏和常溫下解凍的麵團，產生的麵包具有更高的體積，顯示出與活酵母細胞數量的高度線性相關性 ($R^2=0.9957$)；冰箱和常溫解凍生產的麵包質地更柔軟。研究海藻多醣 LJP 在儲存過程中對抗老化性能的影響，在室內儲存期間含有 LJP 的麵包，其烘烤、熱、澱粉老化和微觀結構特性，結果表明，LJP 的加入改善了比容和質地特性；動力學模型表明加入 LJP 降低了速率常數 (k)；LJP 會形成更多的氫鍵並干擾澱粉的再結合和老化在微觀結構中也很明顯，表明 LJP 可以提高新鮮品質並延緩麵包結構的變質，因此，LJP 有可能被用作一種有效的天然添加劑，以提高冷麵糰的儲存穩定性。

一、前言

1 在過去的幾十年中，冷凍麵團被認為是一種有效且日益流行的革命性技術，可用
2 於延長麵包製作行業的麵包麵團的保質期 (Zhang *et al.*, 2007)。然而，其普遍被認為，
3 與新鮮烘焙的產品相比，由冷凍麵團製成的麵包具有不良的品質特性，因為冷凍和冷
4 凍儲存會對麵團結構以及酵母的活力產生負面影響 (Omedi *et al.*, 2019)。麵包品質的
5 下降是一個複雜的過程，包含幾個主要因素，不能用單一的變量來描述。一方面，澱
6 粉重結晶會導致結構更加有序，結晶度增加 (Suwannarong *et al.*, 2020)。另一方面，變
7 質與其他多種原因有關，例如水分遷移和澱粉-麵筋系統的破壞 (Fu *et al.*, 2021)。

8 由於高保水能力，多醣在冷凍麵團麵包中具有很大的潛力，可以最大限度地減少
9 烘焙後儲存過程中晶體生長和水分遷移的負面影響。已經得出結論，多醣可以在硬度
10 降低的情況下增加比容 (Kou *et al.*, 2019)。從海藻中提取的 LJP 是由褐藻膠、岩藻多
11 醣、海藻多醣和不同比例的半乳糖、木糖、葡萄糖醛酸和少量蛋白質組成的天然功能
12 性多醣 (Luo *et al.*, 2011)。

13 冷凍麵團從麵團製作到麵包烘烤，有許多因素導致其品質與新鮮麵包相比較差，
14 因此本篇專題討論目的為探討不同冷凍麵團條件其麵包之最佳品質特性，並使烘焙食
15 品行業做出最佳品質冷凍麵團之麵包。

16 二、 使用響應面法優化 RTP 以及 RTB 冷凍麵團之麵包配方

17 響應面法的實驗設計是根據使用 Design Expert 10 程序的中心複合設計設定的。選
18 擇糖、水、起酥油和酵母作為因子，如 Table 1 所示，實驗以隨機順序進行。麵包的基
19 本成分和配方：麵粉、糖、水、起酥油、酵母。初步烘焙測試為每個因素選擇了最低和
20 最高水平，測試範圍為 0-40 g 糖、45-60 g 水、0-35 g 起酥油和 0.5-4.5 g 酵母。新鮮、
21 RTP 及 RTB 冷凍麵團麵包製程 (Fig. 1)。測定體積、高度、水分含量、硬度及酵母力
22 試驗。

23 以小米粒測量麵包體積，顯示糖和酵母，對新鮮、RTP 和 RTB 麵團麵包體積的影
24 響，與糖和水相似的趨勢，其中新鮮和 RTP 麵團非常相似 (Fig. 2)。在低糖量 (10 g)
25 中，新鮮和 RTP 麵團麵包體積最大，而 RTB 麵團麵包在中水平糖 (20-25 g) 有最大
26 的體積。結果顯示三種冷凍麵團最大與最小體積的麵包配方比較，糖的含量對麵包體積
27 很重要。過多或過少的糖都會抑制酵母的生長，從而導致酵母釋放的二氧化碳氣體減少，
28 使麵包體積變小 (Zhao & Kweon *et al.*, 2021)。配方 #12，用於新鮮、RTP 和 RTB 麵
29 團，得到的麵包體積相對高於其他配方，這表明單一潛在配方，可用於製作具有可接受
30 的冷凍穩定性的三種類型的麵團。比較每種麵團製成的麵包體積的品質表明，RTP 麵
31 團製成的麵包在冷凍穩定性方面優於 RTB 麵團。RTB 麵團在冷凍儲存過程中可能會
32 出現氣泡結構的部分坍塌，這是由於麵筋網狀結構收縮以及麥穀蛋白大聚合體解聚導致
33 麵筋降解 (Lucas *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2014; Öhgren *et al.*, 2016)。三種麵團麵包高度，
34 與麵包體積的三維圖相似 (Fig. 3)。新鮮和 RTP 麵團，在低糖量 (10 克) 有最大的麵
35 包高度，RTB 麵團在中水平糖 (20-25 克)，有最大的麵包高度。新鮮、RTP 和 RTB
36 麵團麵包高度，以配方 #14 顯示出相似相對較高的高度，表明具有優異的冷凍穩定性。
37 對於 RTB 麵團製成的麵包的高度，糖的影響最顯著，其次是酵母和水。作為較佳麵包
38

1 品質的特性，由 RTB 麵團製成的麵包遠不如由新鮮和 RTP 麵團製成的麵包，因為氣
2 泡壁對冷凍應力的抵抗力降低，結構脆弱。在冷凍儲存過程中，RTB 麵團的麥醇溶蛋
3 白的表面活性性能惡化，而增加孔隙率，可能導致烘焙過程中膨脹率降低，麵包體積更
4 小 (Wang *et al.*, 2015)。而 RTP 麵團在發酵過程中仍能保持較厚的麵筋網狀結構並產
5 生大量小氣泡 (Räsänen *et al.*, 1995)。使用質地分析儀分析麵包硬度，與麵包體積和高
6 度相比，麵包硬度表現出不同的趨勢 (Fig. 4)。糖水平的最顯著影響，僅在由新鮮麵團
7 麵包中觀察到，隨著糖水平的增加，硬度增加。此外，糖、水和酵母，對 RTP 和 RTB
8 麵團麵包的硬度沒有顯著影響。新鮮、RTP 和 RTB 麵團麵包的硬度範圍分別為 0.6-
9 8.8、0.6-8.2 和 1.3-11.0 N，新鮮和 RTP 麵團麵包比由 RTB 麵團製成的麵包更軟。

10 體積、高度以及硬度，糖和酵母都是影響麵包品質最顯著的重要因素，綜上所述，
11 RTP 麵團麵包各方面優於 RTB 麵團麵包，關鍵原因為發酵時機在於冷凍儲存前後，麵
12 團結構發生改變，導致麵包品質下降，另外此研究還找到了這三種冷凍麵團麵包各個
13 最適配方。

14 15 三、 闡明不同解凍條件下冷凍麵團流變學特性及烘焙特性

16 以同樣方式製備冷凍麵團，經過五種不同解凍方法分別為，冷藏解凍 (4°C)、室溫
17 解凍 (20°C)、電烤箱解凍 (30°C、85% 相對濕度) 和兩種功率的微波解凍 (100W 和
18 300 W)。之後放入發酵箱 1 小時，然後烘焙，室溫冷卻。測定溫度分佈、熱圖像採集、
19 重量損失、麵包體積、酵母存活力及質地分析

20 在每個解凍過程中，冷凍麵團中心的溫度持續監測記錄，微波解凍時，內部溫度在
21 5 分鐘內升至 0°C，在電烤箱中解凍所需的時間不到 30 分鐘，然而，當麵團樣品在室
22 溫 (≈ 100 分鐘) 和冷藏 (≈ 220 分鐘) 溫度下解凍時，需要較長的解凍時間才能達到
23 0°C (Fig. 5)。在室溫和冷藏溫度下解凍的溫度曲線顯示出在 0°C 處的斜率增加，這可
24 能源於冰到水的相變轉變 (Marini *et al.*, 2014)。在熱譜圖中，溫度範圍顏色表示：黑/藍
25 和白/紅分別是低溫和高溫。在冷藏、常溫和電烤箱溫度下解凍的圖像分別為黑色、深藍
26 色和淺藍色，而在微波解凍的麵團，最高和最低溫度之間的差異相對較大 (100 W 和
27 300 W 功率下分別為 17.5°C 和 26.2°C)，表明溫度分佈不均勻 (Fig. 6)。以公式計算重
28 量損失，測定解凍方法對冷凍麵團失重的影響，如 Fig. 7 所示結果，可以通過以下事
29 實來解釋：在微波處理過程中，麵團中的水分含量更高。另一方面，電烤箱內濕度高的
30 環境阻止了失水，導致失重最低，其次是冰箱和室溫解凍，並且 Boonsumrej *et al.* (2007)
31 也觀察到類似的結果比較變化，他比較了微波爐和冷藏中解凍的冷凍蝦的重量損失。使
32 用質地分析儀，研究解凍方法對冷凍麵團麵包質地特性的影響，參考參數為硬度、內聚
33 性、咀嚼性、彈性和粘性。如 Table 2 所示，在微波解凍可以清楚地觀察到硬度和咀嚼
34 性的最高值。電烤箱中的環境濕度高，解凍方法產生的麵包質地更柔軟且不易咀嚼。然
35 而，根據五種不同解凍方法，沒有觀察到彈性的顯著差異。此外，微波解凍麵團的標準
36 偏差高於其他解凍方法的標準偏差。此結果暗示了不太均勻的麵團特性，可能是由於微
37 波解凍過程中溫度分佈不均勻造成的。麵包品質的關鍵指標之一是麵包體積，尤其是冷
38 凍麵團麵包，其麵包體積往往低於用新鮮麵團製作的麵包 (Lim *et al.*, 2013)。使用雷射

1 3D 掃描系統分析麵包比體積，在冷藏和室溫下解凍的麵團，產生的麵包具有更高的麵
2 包體積 (3.81 和 3.52 mL/g)，其次是在電烤箱 (3.09 mL/g) 和微波 (2.99 和 2.61 mL/g)
3 下，解凍的麵團狀況 (Fig 8a)，因此，與高功率微波解凍相比，當冷凍麵團在冷藏溫度
4 下解凍時，麵包的體積增加了 1.5 倍。麵包的體積取決於酵母的數量 (Ribotta *et al.*,
5 2003)，因此，在解凍後計算冷凍麵團中活酵母細胞的數量，在冷藏和室溫下解凍後，大
6 量酵母細胞存活下來 (Fig 8b)，具體而言，在冰箱中解凍比在室溫下解凍更有效地提高
7 酵母細胞的活力。

8 除微波解凍的麵團外，解凍的麵團在熱成像上表現出均勻的溫度分佈；在冰箱和室
9 溫下解凍有更多的酵母細胞存活下來，從而生產出具有更高比容和更柔軟質地的麵包，
10 因此，此研究中獲得的實驗結果，可以讓烘焙行業更深入地了解各種解凍方法，對冷凍
11 麵團質量屬性的影響，需要進一步的科學研究來縮短冷凍麵團的解凍時間，並最大限度
12 地減少解凍過程中的質量損失。

13 14 四、 LJP 對冷凍麵團麵包質地、老化及結構特性的影響

15 多醣可以抑制支鏈澱粉重結晶 (Belorio *et al.*, 2020; Luo *et al.*, 2017)，延緩水分遷移
16 (Park *et al.*, 2016)，並加強澱粉-麵筋網狀結構 (Sivam *et al.*, 2010)。在過去的幾年中，
17 LJP 已被證明具有豐富的生物學特性，例如抗腫瘤、抗氧化和抗凋亡特性 (Zha *et al.*,
18 2012)。作者假設 LJP 由於其獨特的物理和化學性質，可能在烘焙行業中作為穩定劑顯
19 示出巨大的潛在應用。

20 冷凍麵團麵包基本配方加上不同添加量的 LJP (0、0.5%、1.0%、1.5%、w/w)，混
21 合麵粉。以同樣方式製備冷凍麵團麵包。將麵包儲存於 25°C 櫃子中，用於模擬穩定的
22 室內儲存環境，以添加 0% LJP 作為控制組。測定比容和水分分析、質地分析、通過
23 Avrami 建模的老化動力學以及掃描電子顯微鏡 (Scanning electron microscope, SEM)。

24 如 Table 3 所示添加 LJP 增加了麵包的比容，其中 1% 的添加量最高，觀察到儲
25 存時間導致比容下降趨勢，這主要是由澱粉老化引起的 (Yi *et al.*, 2009)。LJP 可以減少
26 澱粉老化並與麵團系統中的蛋白質相互作用，刺激麵筋聚集和網狀結構形成。Fig. 9 顯
27 示添加 1% 的 LJP 在儲存期間硬度與咀嚼性處於最低水平。麵包老化的過程是一個複
28 雜的現象。在儲存過程中，硬度的增加是麵包變質的主要指標。添加 LJP 對冷凍麵團
29 表現出軟化效果 (Fig. 9a)，儲存過程中麵包的質地可能與澱粉-麵筋網狀結構有關，這
30 歸因於澱粉膨脹和吸水 (Ding *et al.*, 2019)。添加後，具有多羥基結構的 LJP 可以與澱
31 粉和麵筋競爭水形成氫鍵，從而限制澱粉膨脹。Avrami 方程式描述了聚合物結晶過程
32 中晶體生長的規律，廣泛應用於澱粉老化動力學模型的研究，評估質地和麵包老化之間
33 的相關性。如 Table 4 所示，Avrami 指數 (n) 與結晶成核模式有關，而速率常數 (k)
34 表示麵包老化率，線性擬合法的相關係數值 (R^2)，表明結果符合 Avrami 模型，所有
35 樣品中 (n) 值都大於 1，表明在儲存期間結晶成核形成是一致的 (Zhang *et al.*, 2015)，
36 (k) 值越高，麵包越硬，添加 LJP 的 k 值低於控制組，其中 1% 的添加表現出最低。
37 在冷凍麵團麵包中加入 LJP 減少了支鏈澱粉的老化並降低了老化率，這與最近海藻糖
38 作為麵包改良劑的研究一致 (Peng *et al.*, 2017)。掃描電子顯微鏡麵包圖中，顆粒的不同

1 尺寸表示澱粉顆粒，而膜代表麵筋網狀的結構。麵包的微觀結構是由澱粉顆粒和麵筋網
2 狀組成的連續薄膜，其中氣體被截留在澱粉-麵筋網狀結構 (Farbo *et al.*, 2020)。在普通
3 新鮮麵團麵包中，麵筋網狀結構呈現出由多個尺寸的顆粒相連的粗大結構。在 Fig. 10
4 中，麵包結構不連續，有幾個孔，可能是在冷凍過程中形成的晶體，由於水的結晶和重
5 結晶，導致麵筋網狀結構嚴重損壞。添加了 LJP 的冷凍麵團麵包表現出更光滑的膜，
6 其結構中呈現出帶有微小顆粒的連續表面以及麵包中存在更加多孔和均勻的網狀結構
7 (Fig. 10A-D)，與控制組相比，添加 LJP 麵包中的結構對麵筋結構的破壞也更小 (Fig.
8 10E-H)。LJP 改善了冷凍麵團在儲存過程中的結構，其中澱粉顆粒仍然均勻地嵌入麵筋
9 網狀結構中，只有幾個孔。一方面，由於多個親水基團，LJP 具有先前的水結合能力。
10 與之前的研究表明，脂肪酶產生的有效乳化劑可以與親水和疏水基團結合，以加強澱粉
11 -麵筋網狀結構 (Wang *et al.*, 2018) 是一致的，另一方面，微觀結構網狀的強度和穩定
12 性，與澱粉的老化和最終產品的特性 (如比容和硬度) 相關。添加 LJP 的冷凍麵團麵包
13 具有更連續的表面和更厚的外觀，表明 LJP 可以在房間儲存期間保護澱粉-麵筋網狀結
14 構的完整性。

15 添加 LJP 顯著增加了比容、水含量和質地質量，同時降低了儲存過程中的老化動
16 力學，其中 1% 的添加量表現最佳。因此，添加 LJP 在冷凍麵團麵包中具有潛力的開
17 發應用，可改善冷凍麵團在儲存期間造成麵包的變質。

18 五、 結論

19 三篇文獻分別於冷凍麵糰製程及配方、解凍方法以及添加 LJP 分析冷凍麵團麵包
20 之品質特性，透過體積、高度、硬度分析後 RTP 麵團冷凍穩定性優於 RTB 麵團，而其
21 最適配方為 (以麵粉 100%)：10.0% 糖、55.0% 水、25.0% 起酥油和 3.5% 酵母。不同
22 解凍方式分析：連續監測冷凍麵團解凍溫度、冷凍麵團解凍熱圖像、冷凍麵團重量損失
23 率、麵包體積、麵包質地分析以及冷凍麵團酵母存活力後，微波解凍雖在短時間內解凍
24 完成，但在品質特性分析較其他條件差；冷藏及室溫解凍雖解凍速度慢，但在各品質項
25 目分析都較佳。不同添加量之 LJP 冷凍麵團麵包 (0% 為控制組) 分析其比容和水分分
26 析、質地分析、老化動力學以及掃描電子顯微鏡後，添加 LJP 顯著的有較佳的品質，其
27 中 1% 的添加量表現最佳。綜上所述，具有為食品烘焙業應用提供合適的發展潛力。

參考文獻

- Belorio, M., Marcondes, G. & Gómez, M. (2020). Influence of psyllium versus xanthan gum in starch properties. *Food Hydrocolloids*, *105*, 105843.
- Boonsumrej, S., Chaiwanichsiri, S., Tantratian, S., Suzuki, T. & Takai, R. (2007). Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing. *Journal of Food Engineering*, *80*, 292-299.
- Ding, S., Peng, B., Li, Y. & Yang, J. (2019). Evaluation of specific volume, texture, thermal features, water mobility, and inhibitory effect of staling in wheat bread affected by maltitol. *Food Chemistry*, *283*, 123-130.
- Farbo, M. G., Fadda, C., Marceddu, S., Conte, P., Del Caro, A. & Piga, A. (2020). Improving the quality of dough obtained with old durum wheat using hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, *101*, 105467.
- Fu, Yang., Liu, Xia., Xie, Q., Chen, L., Chang, C., Wu, W., Xiao, S. & Wang, X. (2021). Effects of Laminaria japonica polysaccharides on the texture, retrogradation, and structure performances in frozen dough bread. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie- Food Science and Technology*, *151*, 112239.
- Kou, X., Luo, D., Zhang, K., Xu, W., Li, X., Xu, B., Li, P., Han, S. & Liu, J. (2019). Textural and staling characteristics of steamed bread prepared from soft flour added with inulin. *Food Chemistry*, *301*, 125272.
- Lim, J. B., Lee, S. Y., Han, J. S. & Yoo, S. H. (2013). Physical Characterization of Wheat-based Bread Dough during Frozen Storage. *Food Engineering Progress*, *17*, 198-202.
- Lucas, T., Grenier, D., Bornert, M., Challoy, S. & Quellec, S. (2010). Bubble growth and collapse in pre-fermented doughs during freezing, thawing and final proving. *Food Research International*, *43*, 1041-1048.
- Luo, Q., Liu, J., Yan, J., Zhou, Y., Cui, X., & Yang, M. (2011). The effect of Laminaria japonica polysaccharides on the recovery of the male rat reproductive system and mating function damaged by multiple mini-doses of ionizing radiations. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, *31*, 286–294.
- Marini, G. A., Bairy, E. M., Lenzi, M. K., & Corazza, M. L. (2014). Freezing and thawing of processed meat in an industrial freezing tunnel. *Acta Scientiarum. Technology*, *36*, 361-368.
- Öhgren, C., Fabregat, N. & Langton, M. (2016). Quality of bread baked from frozen dough—effects of rye, and sugar content, kneading time and proofing profile. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie- Food Science and Technology*, *68*, 626-633.
- Omedi, J. O., Huang, W., Zhang, B., Li, Z. & Zheng, J. (2019). Advances in present-day frozen dough technology and its improver and novel biotech ingredients development trends—

- A review. *Cereal Chemistry*, 96, 34-56.
- Park, E. Y., Jang, S. B. & Lim, S. T. (2016). Effect of fructo-oligosaccharide and isomalto-oligosaccharide addition on baking quality of frozen dough. *Food Chemistry*, 213, 157-162.
- Peng, B., Li, Y., Ding, S. & Yang, J. (2017). Characterization of textural, rheological, thermal, microstructural, and water mobility in wheat flour dough and bread affected by trehalose. *Food Chemistry*, 233, 369-377.
- Raesänen, J., Haerkoenen, H. & Autio, K. (1995). Freeze-thaw stability of prefermented frozen lean wheat doughs: effect of flour quality and fermentation time. *Cereal Chemistry*, 72, 637-642.
- Ribotta, P. D., León, A. E. & Añón, M. C. (2003). Effects of yeast freezing in frozen dough. *Cereal Chemistry*, 80, 454-458.
- Sivam, A. S., Sun-Waterhouse, D., Quek, S. & Perera, C. O. (2010). Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: A review. *Journal of food Science*, 75, R163-R174.
- Suwannarong, S., Wongsagonup, R. & Suphantharika, M. (2020). Effect of spent brewer's yeast β -D-glucan on properties of wheat flour dough and bread during chilled storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 156, 381-393.
- Wang, P., Chen, H., Mohanad, B., Xu, L., Ning, Y., Xu, J Wu F., Yang, N., Jin, Z. & Xu, X. (2014). Effect of frozen storage on physico-chemistry of wheat gluten proteins: Studies on gluten-, glutenin- and gliadin-rich fractions. *Food Hydrocolloids*, 39, 187-194.
- Wang, P., Jin, Z. & Xu, X. (2015). Physicochemical alterations of wheat gluten proteins upon dough formation and frozen storage—A review from gluten, glutenin and gliadin perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 46, 189-198.
- Wang, X., Pei, D., Teng, Y. & Liang, J. (2018). Effects of enzymes to improve sensory quality of frozen dough bread and analysis on its mechanism. *Journal Of Food Science and Technology*, 55, 389-398.
- Yang, S., Jeong, S. & Lee, S. (2020). Elucidation of rheological properties and baking performance of frozen doughs under different thawing conditions. *Journal of Food Engineering*, 284, 110084.
- Yi, J., & Kerr, W. (2009). Combined effects of freezing rate, storage temperature and time on bread dough and baking properties. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie- Food Science and Technology*, 42, 1474–1483
- Zha, X. Q., Xiao, J. J., Zhang, H. N., Wang, J. H., Pan, L. H., Yang, X. F. & Luo, J. P. (2012). Polysaccharides in *Laminaria japonica* (LP): Extraction, physicochemical properties and their hypolipidemic activities in diet-induced mouse model of atherosclerosis. *Food Chemistry*, 134, 244-252.

- Zhang, C., Zhang, H. & Wang, L. (2007). Effect of carrot (*Daucus carota*) antifreeze proteins on the fermentation capacity of frozen dough. *Food Research International*, 40, 763-769.
- Zhang, H., Sun, B., Zhang, S., Zhu, Y. & Tian, Y. (2015). Inhibition of wheat starch retrogradation by tea derivatives. *Carbohydrate Polymers*, 134, 413-417.
- Zhao, Y. & Kweon, M. (2021). Formula optimization of ready-to-proof and ready-to-bake frozen dough of sweet bread using response surface methodology. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie - Food Science and Technology*, 139, 110581.

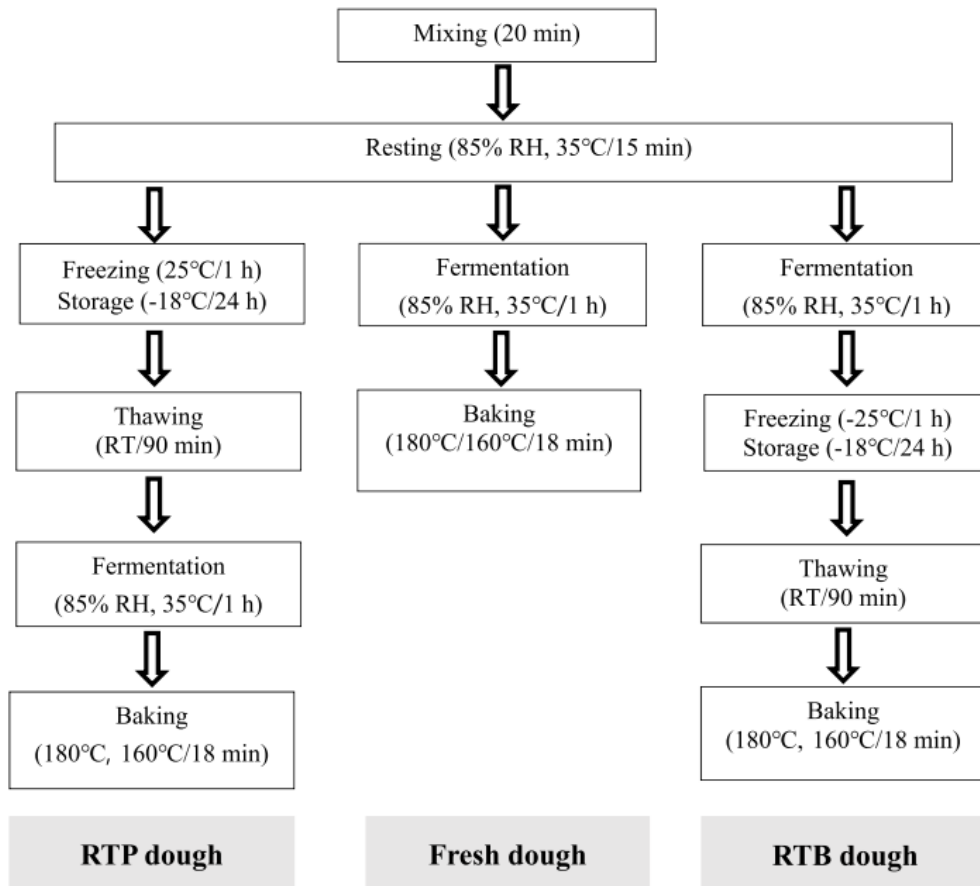


Fig. 1. Process of making fresh, RTP and RTB doughs and baking bread.

(Zhao *et al.*, 2021)

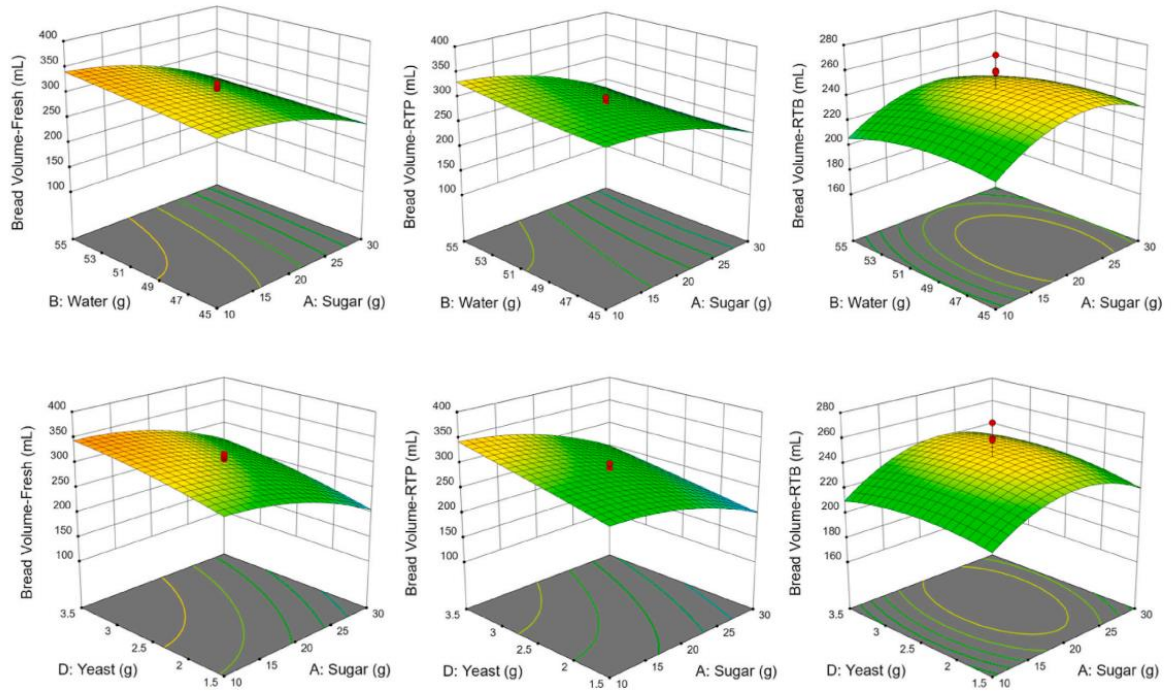


Fig. 2. Response surface plots for the effects of sugar, water, and yeast on the volume of bread made from fresh, RTP, and RTB doughs.

(Zhao *et al.*, 2021)

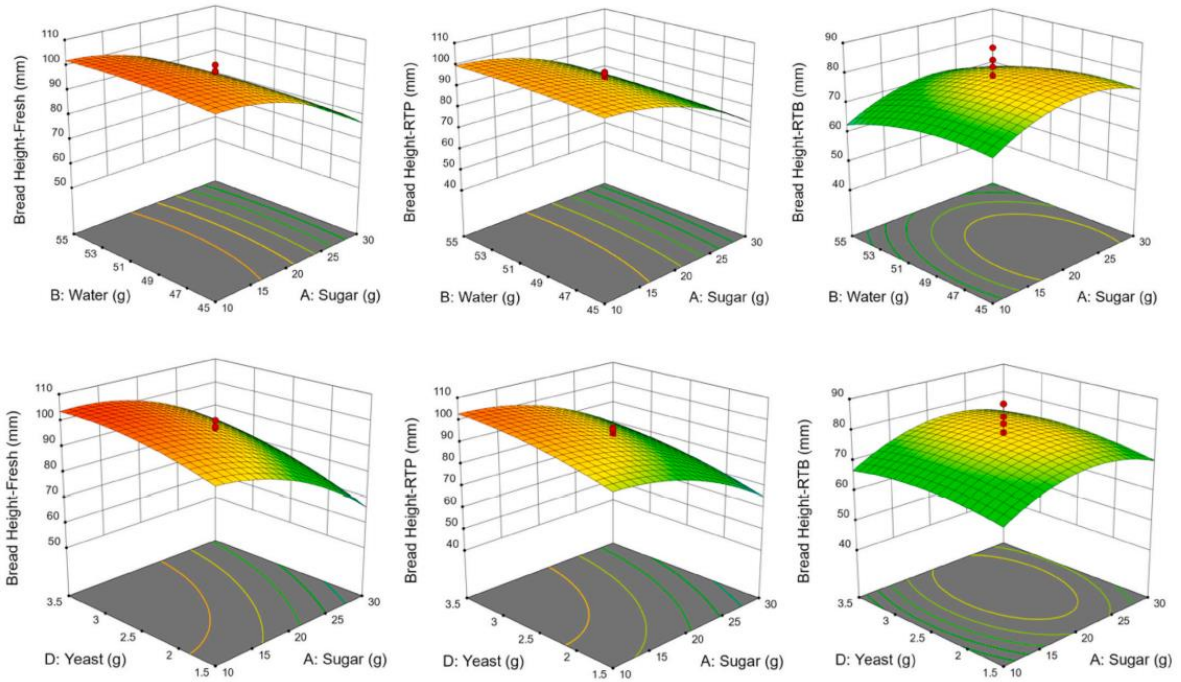


Fig. 3. Response surface plots for the effects of sugar, water, and yeast on the height of bread made from fresh, RTP, and RTB doughs.

(Zhao *et al.*, 2021)

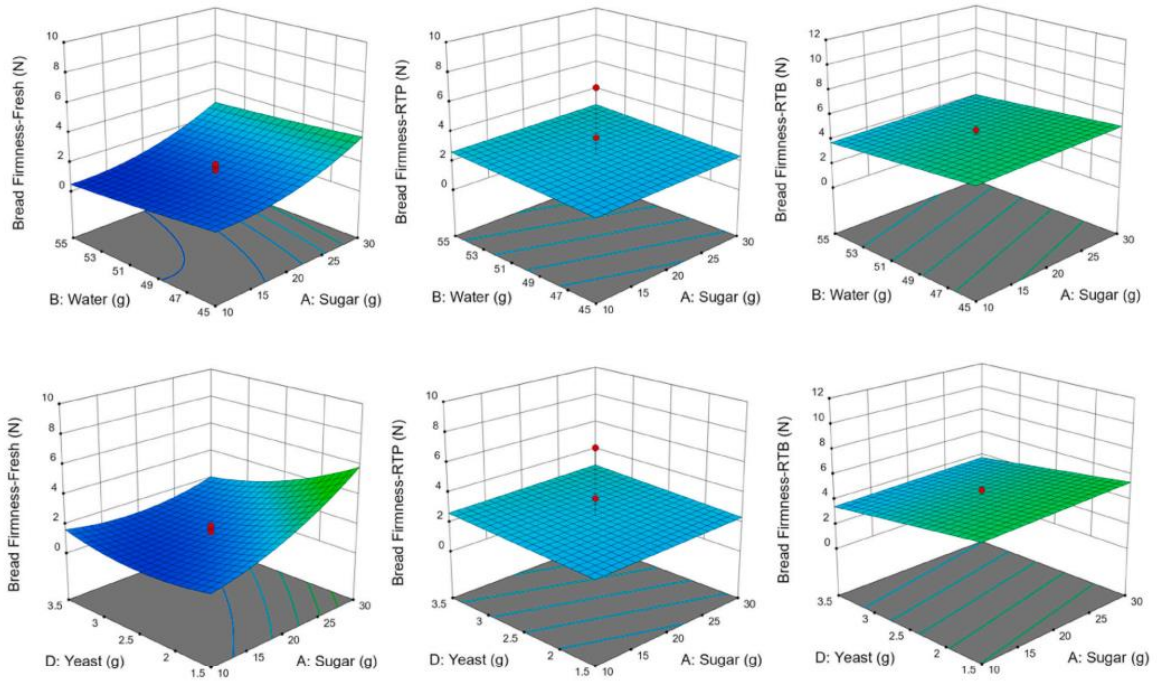


Fig. 4. Response surface plots for the effects of sugar, water, and yeast on the firmness of bread made from fresh, RTP, and RTB doughs.

(Zhao *et al.*, 2021)

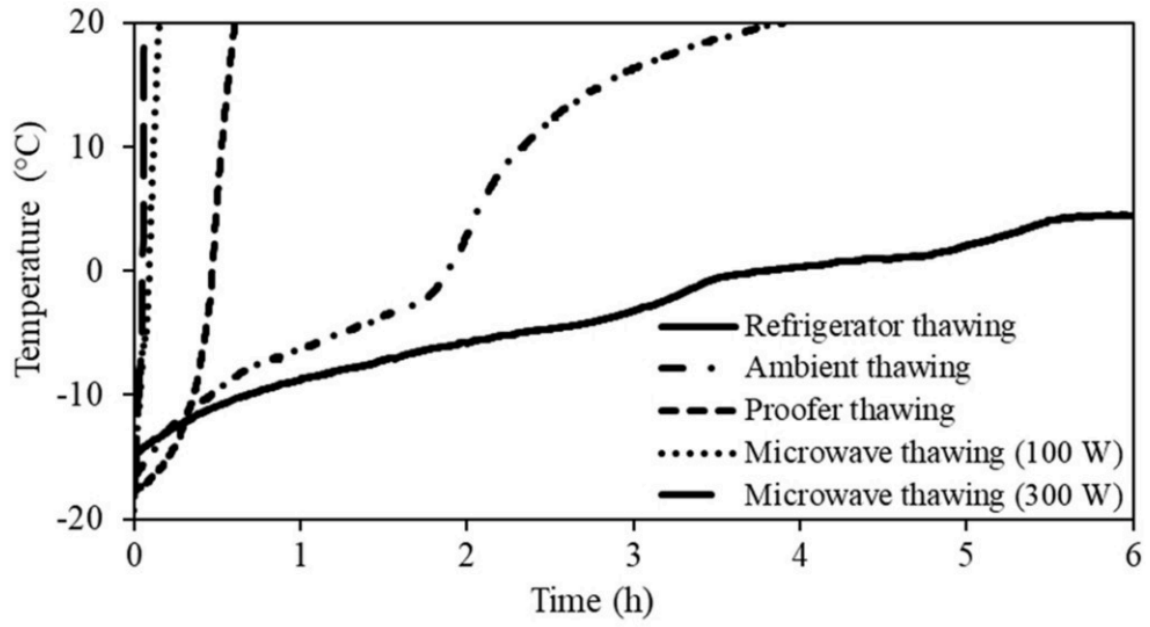


Fig. 5. Temperature profiles of frozen doughs during thawing.

(Yang *et al.*, 2020)

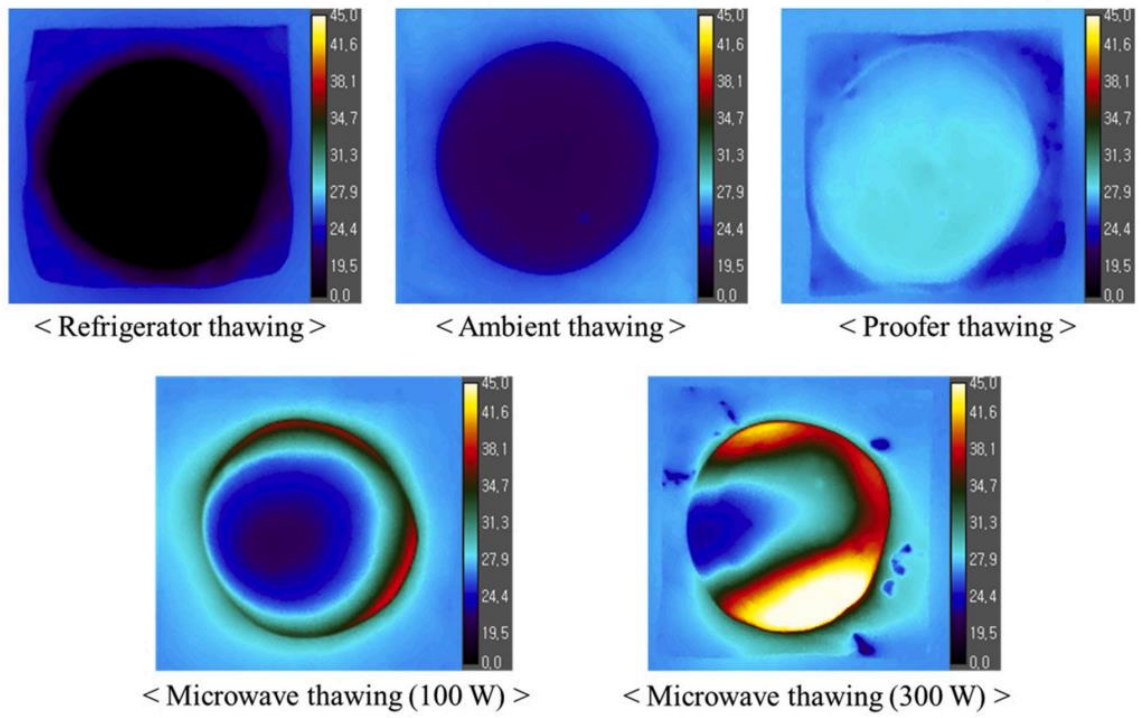


Fig. 6. Thermograms of frozen doughs after thawing.

(Yang *et al.*, 2020)

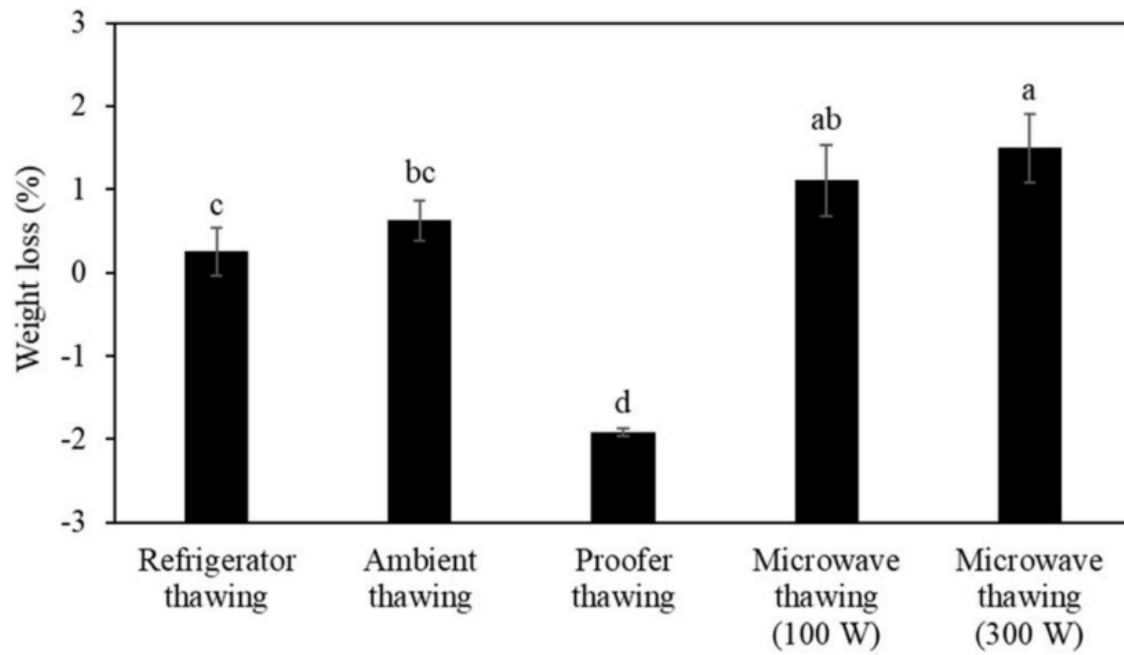


Fig. 7. Effect of thawing methods on the weight loss of frozen doughs (Means with different letters on the bar significantly differ at $p < 0.05$.)

(Yang *et al.*, 2020)

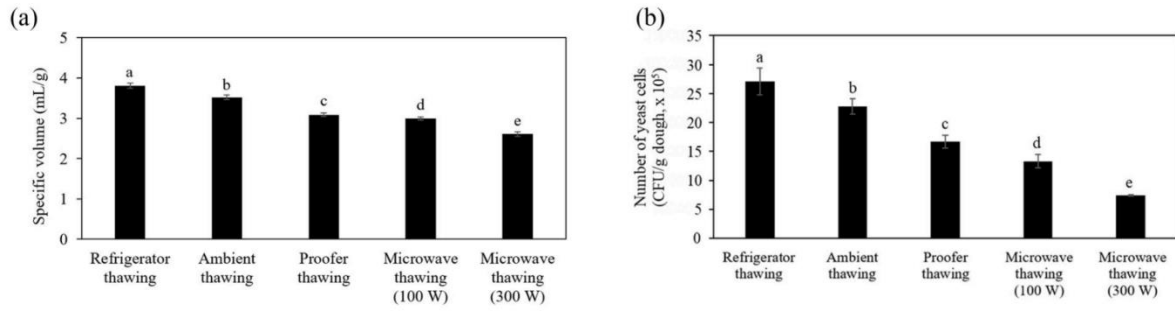


Fig. 8. Specific volume of frozen dough breads depending on thawing methods (a) and the number of viable yeast cells in frozen doughs after thawing (b) (Means with different letters on the bar significantly differ at $p < 0.05$.)

(Yang *et al.*, 2020)

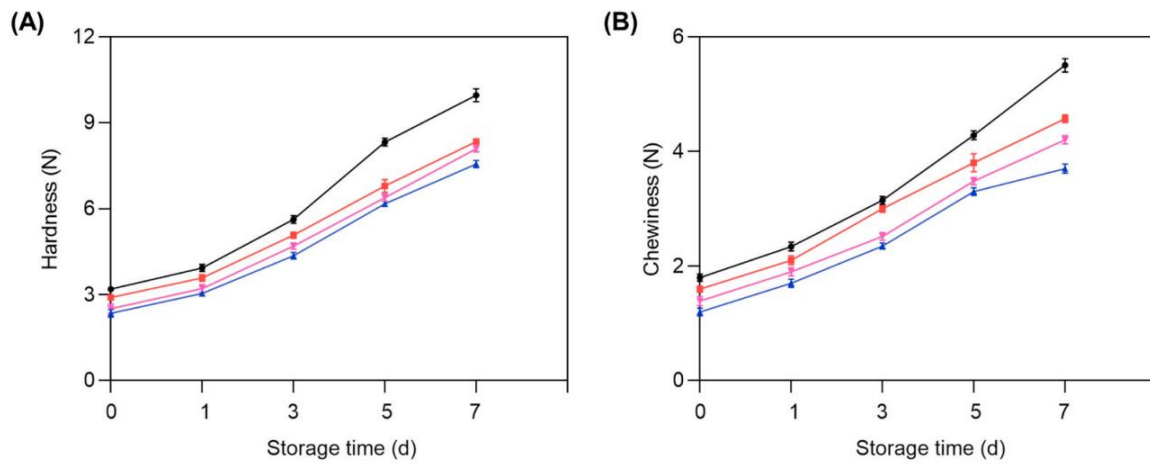


Fig. 9. The texture properties of frozen dough bread with the addition (0, 0.5, 1, 1.5 %) of LJP during 7d room storage. (A) Hardness. (B) Chewiness. LJP: Laminaria japonica polysaccharides. Black lines: 0 % LJP; Red lines: 0.5 % LJP; Blue lines: 1 % LJP; Pink lines: 1.5 % LJP. Samples were tested three times. Data presented were means \pm SD, each with three repetitions. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

(Fu *et al.*, 2021)

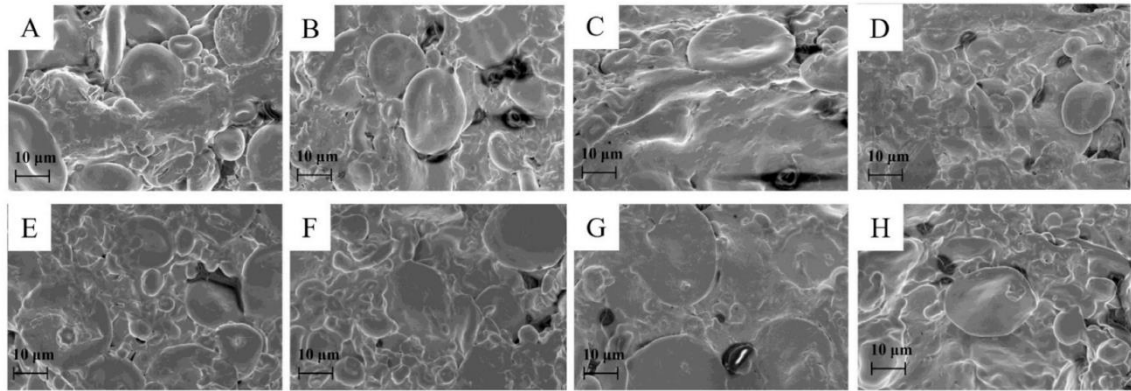


Fig. 10. Effect of LJP on the microstructure of frozen dough bread by SEM. (A) control sample for 0 d, (B) 0.5 % LJP for 0 d, (C) 1 % LJP for 0 d, (D) 1.5 % LJP for 0 d, (E) control sample for 7 d of room storage, (F) 0.5 % LJP for 7 d of room storage, (G) 1 % LJP for 7 d of room storage, (H) 1.5 % LJP for 7 d of room storage.

(Fu *et al.*, 2021)

Table 1 Experimental design in dough formulation with four factors for the preparation of sweet bread.

Standard Order	Run order	Sugar (g)	Water (g)	Shortening (g)	Yeast (g)
1	15	10	45	5	1.5
2	22	30	45	5	1.5
3	10	10	55	5	1.5
4	6	30	55	5	1.5
5	17	10	45	25	1.5
6	16	30	45	25	1.5
7	25	10	55	25	1.5
8	3	30	55	25	1.5
9	19	10	45	5	3.5
10	20	30	45	5	3.5
11	9	10	55	5	3.5
12	2	30	55	5	3.5
13	1	10	45	25	3.5
14	4	30	45	25	3.5
15	13	10	55	25	3.5
16	14	30	55	25	3.5
17	5	0	50	15	3.5
18	18	40	50	15	3.5
19	27	20	40	15	2.5
20	21	20	60	15	2.5
21	24	20	50	0	2.5
22	26	20	50	35	2.5
23	12	20	50	15	0.5
24	7	20	50	15	4.5
25	23	20	50	15	2.5
26	29	20	50	15	2.5
27	28	20	50	15	2.5
28	8	20	50	15	2.5
29	11	20	50	15	2.5
30	30	20	50	15	2.5

(Zhao *et al.*, 2021)

Table 2 Textural parameters of the dough samples thawed by different methods.
 (Means with different letters in the same row differ significantly at $p < 0.05$.)

	Refrigerator thawing	Ambient thawing	Proofer thawing	Microwave thawing (100 W)	Microwave thawing (300 W)
Hardness (N)	1.28 ± 0.05c	1.35 ± 0.05c	0.86 ± 0.04d	1.64 ± 0.16b	2.32 ± 0.07a
Adhesiveness (N·mm)	5.94 ± 0.27a	4.89 ± 0.68a	2.33 ± 0.33b	1.82 ± 1.27b	2.23 ± 1.18b
Springiness	0.80 ± 0.01a	0.85 ± 0.01a	0.85 ± 0.02a	0.83 ± 0.09a	0.72 ± 0.14a
Cohesiveness	0.67 ± 0.01a	0.69 ± 0.02a	0.67 ± 0.02a	0.62 ± 0.08 ab	0.53 ± 0.09b
Chewiness (N·mm)	0.70 ± 0.03 ab	0.81 ± 0.07a	0.49 ± 0.03b	0.85 ± 0.21a	0.86 ± 0.26a

(Yang *et al.*, 2020)

Table 3 The effects of different concentrations of LJP on the specific volume, moisture content, and moisture activity of frozen dough bread during the room storage for 0 and 7 days. Different letters above each column indicate a significant difference at $P < 0.05$. Samples were tested three times with three repetitions. Data presented were means \pm SD. LJP: Laminaria japonica polysaccharides.

LJP (%)	Storage (d)	Specific Volume (mL/g)	Water content (%)	Water Loss (%)
0	0	3.31 ± 0.06^e	38.22 ± 0.12^c	
	7	3.11 ± 0.07^f	35.75 ± 0.09^f	6.46 ± 0.05^a
0.5	0	3.57 ± 0.04^c	38.47 ± 0.08^b	
	7	3.42 ± 0.05^d	36.82 ± 0.10^e	4.29 ± 0.08^b
1	0	3.85 ± 0.05^a	38.98 ± 0.11^a	
	7	3.71 ± 0.06^b	37.68 ± 0.08^d	3.33 ± 0.05^d
1.5	0	3.72 ± 0.07^b	39.18 ± 0.09^a	
	7	3.61 ± 0.06^{bc}	37.66 ± 0.11^d	3.88 ± 0.07^c

(Fu *et al.*, 2021)

Table 4 Effect of LJP on the staling kinetics by Avrami modeling.

k represents the rate constant, and n represents the Avrami exponent that describes the type of crystal growth. LJP: Laminaria japonica polysaccharides.

LJP (%)	Hardness			Chewiness		
	n	k	R ²	n	k	R ²
0	1.503	0.107	0.97	1.1722	0.149	0.97
0.5	1.265	0.099	0.99	1.111	0.136	0.99
1	1.208	0.091	0.98	1.0169	0.118	0.97
1.5	1.230	0.096	0.99	1.0057	0.126	0.96

(Fu *et al.*, 2021)