

מעט מהכימיה שמאחורי הכנת לחם

מלכה יאיון*

בדרך כלל משתמשים בקמח חיטה לאפיית לחם, הודות לריכוז הגבוה של שני סוגי חלבונים: גלוטנין (glutenin) וגליאדין (gliadin) אשר בערבוב עם מים יוצרים "גלוטן". מבנה זה אחראי לקבלת בצק אלסטי ופלטטי בערבוב עם מים. הבצק ישנה את צורתו כתוצאה מהפעלת לחץ, אך יחזור באופן חלקי לצורתו המקורית בעת הסרת לחץ זה. תכונות אלה מאפשרות לו, מצד אחד, להמתח במהלך התפיחה כאשר נפח הפחמן הדו חמצני גדל, ומצד שני להגביל את התפיחה, כדי למנוע קריעה של הבצק במהלך כליאת הגז, וליצור רשת מולקולרית חזקה שאחראית לצורתו של הלחם.

מה הקשר בין המבנה של הבצק לתכונותיו? מולקולות גלוטנין הן גדולות, פרושות ובעלות פיתולים קטנים הנוצרים מקשרי S-S בין החלקים השונים באותה השרשרת; לעומת זאת, מולקולות גליאדין הן קטנות וכדוריות. בגלוטן, מולקולות אלה קשורות זו לזו בקשרי צילוב S-S.

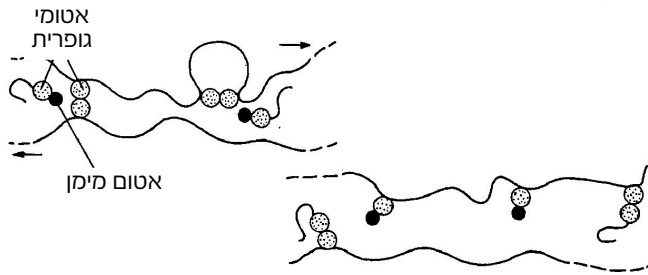
מודל זה יכול להסביר את התכונות של הבצק. כאשר מוסיפים מים לקמח, המולקולות בגלוטן מתחילות להתפרס ולהתקשר למולקולות אחרות וכך הן יוצרות מבנה תלת-ממדי. בתחילה התערובת מתנהגת כנוזל צמיג ודביק, היות שתהליך הפריסה המלווה ביצירת קשרי המימן עם המים אינו מידי, ולכן מומלץ לתת לבצק לנוח על מנת לאפשר למולקולות החלבון והעמילן לשנות את הקונפורמציה.

כשמערבבים גלוטן עם מים, הגלוטן יכול לספוג מים בכמות של פי שניים ממשקלו. מולקולות המים יוצרות קשרי מימן

ה כנת לחם מוכרת ומהווה חלק מהשגרה היום-יומית בחיים של בני האדם זה אלפי שנים, לכן "נבחרה" כדי להמחיש את החיפזון של בני ישראל ביציאת מצרים. "ויאפו את הבצק אשר הוציאו ממצרים עוגות מצות כי לא חמץ, כי גורשו ממצרים ולא יכלו להתמהמה, וגם צידה לא עשו להם". באופן עקרוני, מדובר בערבוב של קמח, מים ושמרים (לא חובה), נשמע פשוט? לגמרי לא! כל אחד מאתנו יודע עד כמה מורכבת הכנת לחם - הכימיה שמאחוריה מובנת רק חלקית. כאן ננסה להציג "על קצה המזלג" את התהליך ברמה המולקולרית, בתקווה שבפעם הבאה שתאפו לחם, תדעו על מה להקפיד כדי שייצא טעים. קמח מורכב מחלבונים, עמילן, ליפידים ואנזימים שונים, כפי שהטבלה הבאה מראה:

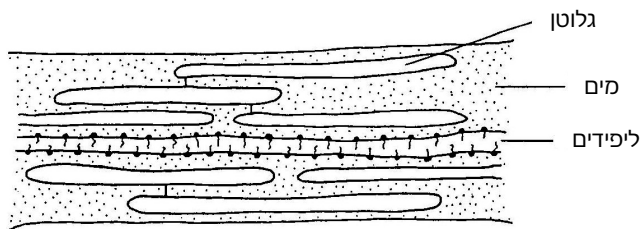
סוג קמח חיטה	הרכב (%)	
	חלבון	פחמימות
מלא	13.3	71
סמולינה (להכנת פסטה)	12.3	73.5
לבן	10.5	76.1
עוגות - לבן	7.5	79.4

*מלכה יאיון, מורה לכימיה בתיכון ע"ש קציר ברחובות.



איור 3 | חלק מקשרי ה-S-S נמתחים ונשברים בנוכחות של קבוצות תיאול SH (הקיימות בציסטאין). קבוצות אלו יכולות להישאר באותו המצב או ליצור קשר S-S בקונפורמציה החדשה.

מחקרים הראו שיש תפקיד גם לליפידים ביצירת בצק שניתן ללישה. הוצע מודל המתאר את מבנה הבצק אשר כולל שכבה בעובי של שתי מולקולות ליפידים המשמשות כחומר סיכה והמאפשרות לבצק לשנות צורה ביתר קלות. קיימים סוגים שונים של גלוטן, אבל יש דמיון במבנה הכימי שלהם. בהשוואת רצפים של חומצות אמינו של גלוטנין ממקורות שונים נמצא שגם קבוצות הציסטאין וגם חומצות האמינו גלוטאמין וסרין תורמות לתכונותיו האלסטיות של הבצק. נמצא שככל שמספר קבוצות הציסטאין וקבוצות הגלוטמין ברצף החלבון גדל, כך מתקבל בצק חזק יותר. כמו כן אסטריפיקציה של קבוצות גלוטאמין יצרה בצק רך במיוחד. הממצאים האלה רומזים שקשרי המימן והקשרים הבייסולפידיים בין השרשרות תורמים לחוזקו של הבצק.



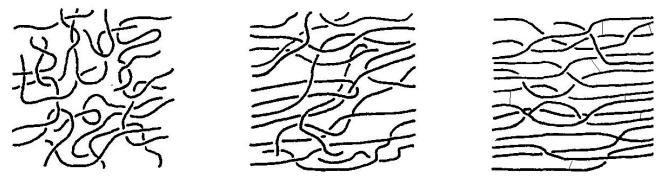
איור 4 | מודל מבנה הבצק הכולל רשתות תלת-קמדית של שרשרות גלוטן הקשורות בקשרי צילוב S-S ושכבה כפולה של ליפידים המפרידה ביניהם.

עוד פרטים מעניינים על בצק

- ככל שהקמח טרי יותר, הוא מחומצן פחות, ולכן הריכוז של קבוצות תיאול SH גדול, הבצק שמתקבל פלסטי מדי ורך ואינו יכול לכלוא בועות גז היטב, לכן מתקבל לחם שטוח וכבד. זו הסיבה שמוסיפים חומרים מחמצנים ב"משפרי אפייה".
- הכנת בצק לפיצה או בייגל דורשת לישה ממושכת יותר על מנת לקבל בצק אלסטי יותר.
- קמח ללחם מכיל ריכוז גבוה יותר של גלוטן מאשר קמח לעוגה.

עם חלקים רבים במולקולות הגלוטן, אך הגלוטן אינו מסיס במים היות שמולקולות המים אינן מפרידות את השרשרות זו מזו הודות לקשרי הצילוב (לכן בעת לעיסה של לחם ההרגשה היא כשל לעיסת גומי).

בעת הלישה והמתיחה של הבצק מולקולות החלבון והעמילן מסתדרות ומתיישרות זו לצד זו ויוצרות מבנה מסודר יותר. תהליך זה מגדיל את מספר הקשרים בין השרשרות המייצבים את המבנה. לפעמים סידור זה נשמר פחות או יותר גם באפייה, וזו הסיבה לכך שבעת בציעת חלה ניתן להתיר את ה"צמה" בכיוונים מוגדרים בהתאם לכיוון השרשרות שנקבע בעת הלישה.



איור 1 | בעת הלישה והמתיחה של הבצק, מולקולות החלבון והעמילן המפותלות (משמאל) מסתדרות ומתיישרות זו לצד זו ויוצרות מבנה מסודר יותר (מימין). תהליך זה מגדיל את מספר הקשרים בין השרשרות המייצבים את המבנה.

לאחר הלישה הבצק פחות פלסטי ויותר אלסטי. לכן הבצק מתכווץ בעת הפסקת הלישה. תהליך זה מתואר ברמה המולקולרית באיור 2 שבו רואים כיצד המולקולות המפותלות מתיישרות בעת הלישה וחוזרות למבנה המפותל בעת הפסקת הלישה.



איור 2 | מולקולות הגלוטן מתיישרות בעת הלישה וחוזרות למבנה המפותל בעת הפסקת הלישה.

בעת הלישה מתרחשים תהליכים כימיים נוספים. חלק מקשרי ה-S-S נמתחים ונשברים בתגובה עם קבוצות תיאול SH (הקיימות בציסטאין) כפי שמתואר באיור 3. קבוצות אלו יכולות להישאר במצב המחזור (SH), או להתחמצן (בנוכחות חמצן שהוסף בעת הלישה) וליצור קשרי S-S בקונפורמציה הפרושה והמסודרת יותר שמתקבלת תוך כדי לישה. אם קבוצות התיול נשארות במצב המחזור, אז מספר קשרי הצילוב יורד וכך האלסטיות קטנה והפלסטיות גדלה. אם קבוצות התיול יוצרות קשרי S-S, אז בנוסף לקשרים אלו, נוצרים קשרים בין השרשראות וכך האלסטיות גדלה והפלסטיות קטנה.

ניתן לצפות באנימציה שממחישה את התהליך [באתר הבא](#).

מקורות:

McGee, H. (1988). On Food and Cooking: The Science and Lore of the Kitchen. New York, NY: Macmillan Publishing Company.

Shewry, P. R., Halford, N. G., Belton, P. S., & Tatham, A. S. (2002). The structure and properties of gluten: an elastic protein from wheat grain. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 357(1418), 133–142.

- בהכנת בצק פריך מוסיפים יותר שמנים או שומנים ופחות מים כדי למנוע היווצרות של רשת תלת-ממדית יציבה.
- גם בעת התפיחה והאפייה נוצרים קשרים רבים בין השרשרות של מולקולות החלבונים והפחמימות, ומתקבל חומר "תרמוסטי" במקום חומר פלסטי ואלסטי. מובן שמתרחשים תהליכים רבים נוספים שאותם לא הזכרנו כגון פירוק מולקולות העמילן, נשימה של השמרים והגדלת נפח הגז בגלל עלייה בטמפרטורה.
- ניתן לבדוד את הגלוטן על ידי שטיפת הבצק תחת מים זורמים. הפחמימות והחלבונים המסיסים במים נשטפים עם המים ונשאר החלבון האלסטי והבלתי מסיס במים הודות לקשרי צילוב S-S הקיימים בין שרשרות החלבון – גלוטן.

נפתחה ההרשמה ללימודי תואר שני בשנת הלימודים תשע"א במסגרת "תוכנית רוטשילד-ויצמן".

ההרשמה תסתיים ביום א', י"ד אדר, 28.2.10. לפרטים נוספים על התוכנית היכנסו:

[לאתר התוכנית](#).