

# גישות חדשניות לשיפור איכות ובטיחות החלב ומוצריו

משה שמש

המחלקה לחקר איכות מזון ובטיחותו | מינהל המחקר החקלאי

**על הנזקים והסכנות לבטיחות ואיכות החלב ומוצריו, כאחד מהאתגרים החשובים והמורכבים של ענף החלב •**

נזקים מיקרוביאליים מהווים איום משמעותי לבטיחות ואיכות של החלב ומוצריו נזקים אלו מתבטאים בפירוק של חלבונים, פחמימות ושומנים על ידי אנזימים שחיידקים מפרישים. תופעה זו מאיצה את קלקול מוצרי החלב ומקצרת את חיי המדף שלהם. מאחר שיש בין חיידקים אלה גם מחוללי מחלה באדם, התבססותם במוצרי חלב עלולה לגרום לנזק בריאותי לצרכנים. לכן, התבססות חיידקים והיווצרות קהילות רב-תאיות (ביופילמים) במוצרי חלב או/ו במשטחים הבאים במגע עם המוצרים מהווה בעיית איכות ובטיחות קשה ונחשבת כאחד האתגרים המשמעותיים ביותר של תעשיית החלב כיום (איור 1).

ביופילמים הנוצרים על משטחים הבאים במגע עם החלב כוללים, בין השאר, חיידקי בצילוס. חיידקי הבצילוס מסוגלים להתרבות גם בטמפרטורות המקרר, לייצר אנזימים המפרקים את מרכיבי החלב ואף לייצר רעלנים; תופעות אלו מאיצות את קלקול מוצרי החלב וגורמות לנזק כלכלי. מתברר

התבססות חיידקים והיווצרות קהילות רב תאיות במוצרי חלב ו/או במשטחים הבאים במגע עם המוצרים מהווה בעיית איכות ובטיחות קשה ונחשבת כאחד האתגרים המשמעותיים של תעשיית החלב כיום



איור 1. תיאור סכמתי של בעיית ביופילמים בתעשיית החלב

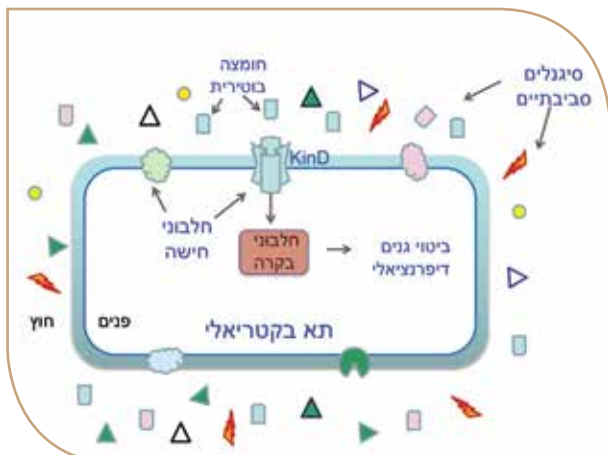


(ב) פיתוח משטחים חדשניים אשר אינם מאפשרים היצמדות והתבססות חיידקים

(ג) שיפור ביעילות הניקוי של המשטחים הבאים במגע עם החלב.

לאחרונה מצאנו שיוני מגנזיום עשויים לעכב את שפעול המסלול להיווצרות הביופילם (המתואר באיור 3) ע"י חיידקי הבצילוס ולפגוע באופן ניכר בהיווצרות הצברים. עיכוב זה הופך את החיידקים להיות חשופים יותר לטיפולים תרמיים בזמן ייצור מוצרי חלב שונים. כמוכן, אנו מגלים שיפור משמעותי במדדים הטכנולוגיים של מוצרי החלב כגון גבינות רכות בעקבות העשרת החלב במגנזיום.

בנוסף, בשיתוף פעולה עם פרופ' בעז פוקרוי מהטכניון, הצלחנו לפתח ציפויים אנטימיקרוביאליים אשר אינם מאפשרים לחיידקים לתקשר עם המשטח ולכן אינם מצליחים ליצור ביופילמים לצורך התבססותם תהליך בניית המשטחים והפגיעה בהיווצרות הביופילם מתואר באופן סכמתי



איור 3. תיאור סכמתי של שפעול המסלול הרגולטורי המוביל להיווצרות צברי הביופילם ע"י חיידקי הבצילוס

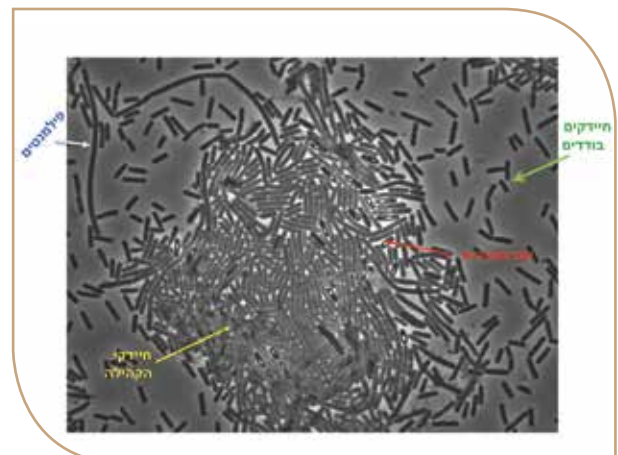
שחיידקים אלו עוברים תהליך ההתמיינות בזמן היווצרות הביופילם, כך שנוצרת אוכלוסייה הטרוגנית המורכבת מסוגי חיידקים שונים, כגון: חיידקים תנועתיים, פילמנטים של חיידקים, צברי חיידקים ואנדוספורות (איור 2). אחת השאלות המרכזיות שנשאלות הינה איך נעשית בחירת המסלול ע"י חיידקים כך שישנה האצה בתהליך של היווצרות הביופילם. במחקר שפורסם לפני מספר שנים, הצלחנו לפענח את המסלול הרגולטורי שמכתיב לחיידקים את כניסתם לתהליך היווצרות הביופילם.

לאחרונה התגלה כי שחיידקי הבצילוס יוצרים צברי ביופילם גם בזמן התרבותם בחלב. גם, אחד המרכיבים שמאותת לחיידקים להתחיל ליצור את הצברים הינו חומצה בוטירית שנוצרת ככל הנראה בזמן הליפוליזה - תהליך פירוק של השומן. הוכח שבנוכחות של חומצה בוטירית ישנה שפעול המסלול הרגולטורי של היווצרות הביופילם אשר מוביל להגברה משמעותית בביטוי הגנים המעורבים בסיתנת המטריקס החוץ-תאי אשר מתבטא ביצירה מוגברת של הצברי הביופילם (איור 3). ככל הנראה חיידקים בצברים עמידים יותר (בהשוואה לתאים בודדים) בפני טיפולים אנטימיקרוביאליים ולכן הם עלולים לשרוד את הטיפול התרמי (פסטור) ולגרום לזיהום מתמשך בזמן ייצור מוצרי החלב.

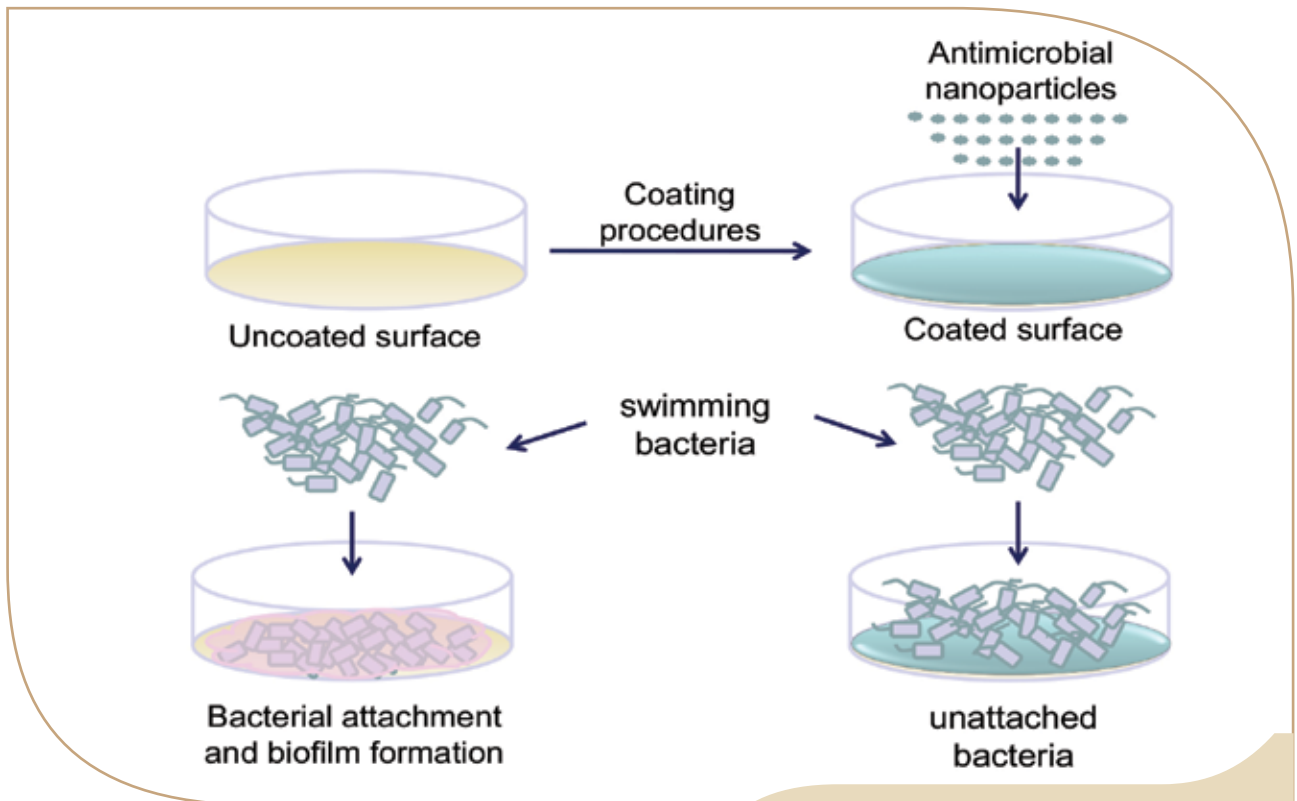
חלבון טרנס-ממברנלי בשם KinD משמש לחישת מולקולות סיגנל כגון חומצה בוטירית לשפעול המסלול אשר מוביל להיווצרות הביופילם.

מניעת היווצרות הביופילם היא הגישה המועדפת לטיפול בבעיה. אך עד עתה לא קיימת טכנולוגיה אשר תמנע לחלוטין היווצרות של ביופילם מבלי לגרום לתופעות לוואי בלתי רצויות. הגישות הקיימות להתמודד עם בעיית הביופילם מבוססות בעיקר על ניקוי וחיטוי יסודיים של מערכות החליבה לפני שהחיידקים מצליחים להתבסס בצורה משמעותית על המשטחים. לכן, יש צורך לפתח טכנולוגיה חדשה המונעת היווצרות הביופילם על ידי חיידקים הרלוונטיים לתעשיית החלב. אנו עובדים בשלושה כיוונים על מנת לפתח גישות חדשניות למניעת היווצרות ביופילמים במעבדתנו:

(א) איתור מולקולות טבעיות המשבשות מנגנון העברת סיגנל להיווצרות הביופילם



איור 2. תמונת מיקרוסקופית אור הממחישה כי אוכלוסיית החיידקים הינה הטרוגנית בזמן היווצרות הביופילם



איור 4. תיאור סכמתי של מניעת היווצרות הביופילם ע"י ציפוי משטחים שבאים במגע עם המזון

באיור 4. בעזרת המשטחים פגענו בצורה משמעותית מאוד ביכולת חיידקי הבצילוס (גרם חיוביים) וחיידקי הפסבדומונס (גרם שליליים) לפתח ביופילמים על המשטח.

בפרויקט נוסף במעבדתנו, בנינו מערכת מודל לבדיקת יעילות של חומרים המשמשים לניקוי מערכות החליבה בארץ (פרויקט זה בוצע בשיתוף פעולה עם מועצת החלב). תוצאותינו מראות שהמערכת מסוגלת להעריך את יעילות ניקוי של החומרים בתנאים המדמים את הסביבה במערכות החליבה שברפתות בארץ. למיטב ידיעתנו, זוהי המערכת הראשונה מסוגה שפותחה בישראל אשר יכולה לתת מענה לצורך הקיים בהערכת יעילות הניקוי של חומרים המשמשים לניקוי מערכות החליבה במשק החלב. ▲

חיידקי הבצילוס מסוגלים להתרבות גם בטמפרטורות המקרר, לייצר אנזימים המפרקים את מרכיבי החלב ואף לייצר רעלנים; תופעות אלו מאיצות את קלקול מוצרי החלב וגורמות לנזק כלכלי