

גישות חדשות בפיתוח ושימוש בתרבויות חידקים לתחמיצים

צבי וינברג, המעבדה לשימור מספוא ומוצרי לוואי, מינהל המחקר החקלאי, מכון וולקני

מבוא

שימור צמחי מספוא בהחמצה מבוסס על תסיסה אנאירובית שבה מתפתחים חידקי חומצת חלב שהופכים את הסוכרים המסיסים לחומצות אורגניות, בעיקר חומצת-חלב (לאקטית); כתוצאה מכך ה-pH יורד והצמחים נשמרים. אם כן, התפתחות נאותה של זני חידקי חומצת חלב הינה קריטית לתהליך החמצה מוצלח.

חידקי חומצת-חלב נפוצים על פני צמחים, אך הם מהווים רק פחות מאחוז מסך האוכלוסיות המיקרוביאלית. תהליך התסיסה הספונטנית שבו מספרים קטנים של חידקי חומצת-חלב הופכים לאוכלוסיה המיקרוביאלית השלטת הוא מורכב ותלוי במטען המיקרוביאלי על הצמח, הרכב הצמח (הימצאות סוכרים שמהווים את הסובסטרט לתסיסה) ותנאים סביבתיים כגון טמפרטורה וקרינה. אחרי הקציר וקיצוץ הצמחים חל גידול משמעותי במספרם של חידקי חומצת-חלב. יתכן שהדבר קשור בזליגת חומרים מזינים מתוך התא לפני השטח. לעתים קורה שהתפתחות חידקי חומצת-חלב בתחמיץ היא איטית ואינה מספקת. הסיבות לכך אינן ברורות דיין, אך יתכן שהתופעה קשורה בתנאי הסביבה (טמפרטורה, קרינה). במצב זה ההחמצה מעוכבת ונגרמים הפסדים בגלל פעילות מיקרואורגניזמים (מק"א) בלתי רצויים. ניתן לשפר את תהליך ההחמצה ולהקטין את ההפסדים בעזרת תוספות שונות (כימיות וביולוגיות), במיוחד כאשר התנאים אינם מיטביים. כאן יש להדגיש, שהתוספות לא יכולות לפצות על תחמיץ באיכות ירודה שהוכן בממשק רשלני, אלא רק לשפר את ההחמצה

בתנאים תת-מיטביים. תוספת תרבות חידקים בעת ההחמצה עשויה להבטיח החמצה נאותה גם במצב שבו אין התפתחות מספקת על חידקי חומצת-חלב. בארצות אחדות משתמשים בתרבויות כדי להבטיח החמצה טובה בכל מקרה. בנוסף, תרבויות מסוימות גם משפרות את ביצועי בעלי-החיים שמאובסים בתחמיץ המטופל. לתרבויות החידקים עשויים להיות יתרונות ע"פ התוספות הכימיות כיוון שהן בטיחותיות, נוחות לשימוש, לא קורוזיביות למיכון, אינן מזהמות את הסביבה ונחשבות לתוספות טבעיות.

הקטעים הבאים מסכמים את שלבי הפיתוח של תרבויות חידקים לתחמיצים והבעיות הכרוכות בכך.

הדור הקודם של תרבויות חידקים לתחמיצים

כבר בתחילת המאה חשבו על הרעיון להשמש בתרבויות חידקי חומצת-חלב כדי לשפר את תהליך ההחמצה, כי הן תואמות את התהליך. הצפיות היו שהתרבויות ישתלטו על תסיסת ההחמצה ותייצרנה במהירות חומצת-חלב בתחמיץ וכך הוא ייוצב עם הפסדי תסיסה מועריים. טכניקות של ייבוש בהקפאה ואנקפסולציה שיפרו את פעילות התרבויות. כדי להבין את ההבדלים בין תרבויות שונות לתחמיצים כדאי לזכור, שבתסיסה של חידקי חומצת-חלב מבחינים בין תסיסה הומופרמנטטיבית ותסיסה הטרופרמנטטיבית. בתסיסה הומופרמנטטיבית נוצרת רק חומצת-חלב, בעוד שבתסיסה הטרופרמנטטיבית נוצרים בנוסף לחומצת-חלב גם תוצרים אחרים כגון חומצת-חומץ, אתנול ופחמן דו-חמצני. תסיסה הטרופרמנטטיבית נחשבה לפחות יעילה כיוון שחומר מזין אובד כגון, וחומצת-חומץ יותר חלשה מחומצת-חלב. כפי

מפרסומי מינהל המחקר החקלאי, מכון וולקני, סדרה ה' 1997 מס' 1333.

תחמיצי דגניים בעת החשיפה לאויר. יש לזכור, שחלקים של תחמיץ משקי (ליד הקירות ומתחת לכיסוי הפלסטי) חשופים תמיד לחדירת אויר במידה מסויימת; בעת הכריה וההאבסה התחמיץ נחשף לאויר במידה רבה יותר. אז מתחדשת פעילות של שמרים ופטריית-עובש שגורמת להפסדים, להתחממות ולקלקול התחמיץ. התברר שתוספת תרביות חידיקי חומצת-חלב הומופרמנטטיבית דוקא מעודדת התפתחות שמרים ועובשים בזמן החשיפה לאויר. זה קורה בעיקר בתחמיצי חיטה, תירס וסורגום, אך לא בתחמיצי קטניות. סוברים שהסיבה לתופעה הזאת נעוצה בכך, שבתסיסה הומופרמנטטיבית לא נוצרות די חומצות-שומן נדיפות, כדוגמת חומצת-חומץ או חמאה; חומצות אלה נוצרות במידה מסויימת בתסיסת החמצה טבעית (ללא תרביות) והן מעכבות שמרים ועובשים. תחמיצי קטניות מכילים כנראה חומרים טבעיים המעכבים פטריות (סאפונינים), ולכן שם אין בעיה להשתמש בתרביות חידיקי חומצת-חלב הומופרמנטטיביים.

כיווני מחקר בפיתוח תרביות חידיקים חדשות

כיון שתהליך ההחמצה הוא מורכב וכולל פעולות גומלין שונות בין הצמח המוחמץ, המטען המיקרוביאלי והתנאים הסביבתיים, השימוש בתרביות לתחמיצים אינו כה פשוט כפי שסברו עוד לפני כעשור שנים. סקירת הספרות העוסקת בנושא מגלה את הכיוונים הבאים בפיתוח תרביות חידיקים לתחמיצים:

יצירת התאמה טובה יותר בין זני התרבית המוספת ובין התחמיץ. התאמה כזאת תיתכן על ידי שימוש בזנים של חידיקי חומצת-חלב שבודדו מצמחי מספוא ואשר היו יעילים בהחמצת אותו סוג של מספוא, ופחות יעילים בהחמצת סוגי מספוא אחרים.

במחקרים רבים מושם דגש על מגיעת הקלקול של התחמיצים בזמן חשיפתם לאויר. דוגמה לכך מהווה הזן *L. pentosus* שגם בודד מחיטה בארץ. זן זה מסוגל להתסיס סוכרי

שנראה בהמשך, כדאי שבתחמיץ תיווצרנה במידה מסויימת חומצות-שומן נדיפות.

בתחילה, התרביות לתחמיצים הכילו רק זן בודד של חידיק הומופרמנטטיבי, בדרך כלל *Lactobacillus plantarum*, כיון שהוא שכיח בתחמיצים ומייצר בעילות חומצת-חלב.

כיון שהתוצאות לא תמיד השביעו רצון, פיתחו תרביות רב-זניות שהכילו חידיקי חומצת-חלב הומופרמנטטיביים נוספים, שפעילים בשלבים שונים של תסיסת החמצה. דוגמאות הן זנים של *Enterococcus faecium*, *Pediococcus acidilactici*, ועוד. התרביות האלה כאשר הן מוספות בריכוזים של 10^5 תאים לגרם ירק, הן מצליחות להפוך לאוכלוסית המק"א השלטת בתחמיץ. בדרך כלל מוסיפים את החידיקים כתרחיף בעת קיצוץ ירק המספוא, לפני הכנסתו לבור התחמיץ. השפעתן מתבטאת בירידה מהירה של ה-pH, יצירה מהירה ומוגברת של חומצת-חלב, הקטנת ריכוזי חומצת-חומץ, צמצום פירוק החלבון והקטנה של 1-2% בהפסדי הח"י, בהשוואה לתסיסה הטורפרמנטטיבית.

חסרונותיהן של התרביות הנ"ל

תוספת תרבית חידיקי חומצת-חלב הומופרמנטטיביות לתחמיצים לא תמיד מביאה לתוצאות רצויות, וזאת בגלל כמה גורמים (Weinberg and Muck, 1996): 1. התרבית המוספת לא הצליחה להתנחל בתחמיץ ולהשתלט על התסיסה, כיון שהזנים שלה לא התאימו לירק המוחמץ; 2. לעתים התנאים להחמצה מיטביים ולא ניתן להבחין בהשפעת התרבית המוספת; 3. פגיעה בתרביות על ידי פאגים (וירוסים); 4. חוסר התאמה של הזנים המוספים לירק המוחמץ, או לשיטת ההחמצה ותנאי הסביבה (למשל, למידת חדירת אויר לתחמיץ); 5. טיפול ואחסון לקויים בתרביות (טמפרטורה, לחות, תפוגת מועד אחרון לשימוש, ערבוב לא מספיק עם המספוא, וכו').

אחת הבעיות שמתרחשות לעתים בעקבות השימוש בתרביות כאלה קשורה בקלקול

חידקי חומצת-חלב נבדק על ידי מספר קבוצות מחקר בעולם. למשל, שיבוט גנים המקודדים פעילות אנזימטית לפירוק דופן התא הצמחי (צלולאזות, קסילאנאזות).

השפעת תרבויות חידקי חומצת חלב על ביצועי הבקר

בנוסף לשיפור תהליך ההחמצה, מחקרים שונים מצביעים על כך, שלזנים מסויימים של חידקי חומצת-חלב המוספים כתרבית לתחמיצים יש השפעה חיובית על ביצועי בקר וצאן (אכילה מוגברת, גדילה מהירה יותר וייצור חלב מוגבר). סקירה של הספרות העלתה, שמדובר בתופעות ששכיחותן 25%–40 מהמקרים שטופלו בתרביות והעליה בתפוקת בעלי-החיים מסתכמת בין 1%–3. חלק גדול מהתצפיות נערך בצפון אירלנד ובבריטניה עם תחמיצים של עשבי מספוא שטופלו בזן *L. plantarum* MTDI. הסיבות להשפעה המבורכת הזאת אינן ברורות די צרכן. ההשפעה חורגת מהצפוי מהשיפור באיכות השימור של התחמיצים על ידי התרבית המוספת. יתר על כן, היא נצפית לפעמים גם כאשר לתרבית לא היתה השפעה על איכות השימור. לעתים נלווה לתופעה שיפור בנעילות של התחמיץ המטופל, אך עובדה זאת מפתיעה, כיון שלחידקי חומצת-חלב אין יכולת לעיכול דופן-תא צמחי. הסברות שמועלות בקשר למנגנון תופעה זאת הן: יתכן שהתרביות האלה מעכבות כבר בתחמיץ אוכלוסיות מק"א מזיקות ובכך משפרות את איכות המספוא המשומר. אכן, זנים מסויימים של חידקי חומצת-חלב מפרישים בקטריוצינים שמעכבים אוכלוסיות מק"א מתחרות, ויתכן שהתופעה נעוצה בכך. אפשרות אחרת היא אפקט פרוביוטי של הזנים האלה: כאשר הם מגיעים לכרס מעלי-הגירה הם משנים את שיווי המשקל בין אוכלוסיות המק"א בכרס לטובת חידקים שמשוגלים לעכל את המספוא ביתר יעילות, וכך משפרים את הנעילות ובעקבותיה את ביצועי הבהמות. בהקשר זה כדאי לזכור, שלמיני מזונות לבני-אדם, המבוססים על תסיסת חידקי חומצת-

פנטוזות ותוצרי התסיסה הינם חומצת-חלב וחומצת-חומץ. כאמור, חומצת-חומץ מעכבת שמרים ופטריות. אם נזכור שדופן התא של חיטה עשיר יחסית בהמיצלולוז שעובר פירוק חלקי בזמן ההחמצה ומשחרר פנטוזות, נבין כיצד הזן הזה עשוי להיות יעיל בהחמצת חיטה וגם בשימור התחמיץ בזמן חשיפה לאויר. תוצאות הקדמיות עם החידק הזה במעבדתנו מצביעות על פוטנציאל בשיפור עמידות תחמיצי חיטה בחשיפה לאויר. דוגמה נוספת מהווה הכללתו של זן החידק *P. pentosaceus* בתרביות המיועדות לתחמיצי חיטה, שפועל בצורה דומה.

במסגרת שיפור העמידות האירובית חושבים על שימוש בזני חידקי חומצת-חלב הטרופורמנטיביים שייצרו במהלך תסיסת ההחמצה חומצות-שומן נדיפות שיעכבו שמרים ועובשים. דוגמה לחידק כזה הוא *L. buchnerii* שמייצר מלבד חומצת-חלב גם חומצת-חומץ בנוכחות אויר. בתסיסה כזאת צפוי אבדן מסוים של ח"י, אך התועלת משימור משופר בעת החשיפה לאויר עשויה לעלות על ההפסדים האלה. חידק זה נבחן עתה במעבדות שונות בעולם.

כיוון אחר הוא שימוש בחידקים שאינם חידקי חומצת-חלב. לדוגמה, חידק חומצה פרופיונית (שכמוהו משמשים בתעשיית הגבינות הקשות). תוצאות נסיוניות מצביעות על כך, שתרבית כזאת שיפרה את העמידות האירובית של תחמיצים רק אם בזמן ההחמצה ה-pH ירד באיטיות; אך ברוב המקרים תרבית זאת אינה יעילה, כי החידק הזה אינו מתקיים בתנאים חומציים. דוגמה אחרת מהווה הכללתם של חידקים שונים (*Bacillus subtilis*, *Serratia rubidaea*) המפרישים חומרים שונים (שלא אופיינו עדיין במלואם) שמעכבים שמרים ופטריות-עובש, והיא די יעילה.

מלבד הכיוונים הנ"ל נערכו גם נסיונות להשתמש בזנים של חידקי חומצת-חלב המפרישים בקטריוצינים שמעכבים חידקים פתוגניים בתחמיץ (ליסטריות, למשל). נסיונות אלה לא עלו יפה עד כה. גם הינדוס גנטי של

דגנים (חיטה, תירס וסורגום) יש להשתמש בתרביות המכילות גם זנים שיגנו על התחמיץ מפני קלקול בשלב החשיפה לאויר. קיימות תרביות מסחריות אחדות כאלה, אך מומלץ לבדקן בטרם שימוש שגרת.

נראה שלזנים מסוימים של חידיקי הומצת-חלב יש אפקט פרוביוטי על בעלי-החיים המניב שיפור בתפוקתם, בדומה לאפקט שמיחוס לזנים אחרים במזון לבני אדם. בנושא זה כדאי להשקיע מאמץ מחקרי, כדי לאפשר למצות את הפוטנציאל המבורך שטמון בתופעה הזאת.

ספרות מאוזכרת

1. Marteau, P. and Rambaud, J.C. 1993. Potential of using lactic acid bacteria for therapy and immunodulation in man. FEMS Microbiology Reviews 12:207-220.
 2. Weinberg, Z.G. and Muck, R.E. 1996. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. FEMS Microbiology Reviews 19: 53-68.



חלב, כדוגמת יוגורט, גם מייחסים תכונות בריאות וזה מחזק את הכלליות של התופעה הפרוביוטית (Marteau and Rambaud, 1993).

סיכום

בפיתוח תרביות חידיקים לתחמיצים צריך להתאים את זני החידיקים המוספים לתנאי ההחמצה ולביומסה המוחמצת. התועלת הצפויה מתרביות אלה תתבטא בהאצת תהליך ההחמצה וצמצום הפסדי התסיסה, שימור יעיל בעת חשיפה לאויר והגברת התפוקה של בעלי-החיים שמאביסים בתחמיץ.

בתנאי הארץ, הנסיון שהצטבר במעבדתנו ובשטח מלמד, שבתחמיצי קטניות תרביות של חידיקי הומצת-חלב הומופרמנטיביים משפרות את תהליך ההחמצה ומקטינות הפסדי תסיסה ללא חשש של קלקול אירובי. ביחס לתחמיצי

מערימת הצל ואצ מכוון מוצרני זו ההתמחות שלנו

מכלול השרותים שאנו מספקים:

- ייעוץ, תכנון, יישום ופיקוח בביצוע פרוייקטים בענף הרפת
- מכון חליבה, מרכז מזון, סככות, מבנים, מחלבה ביתית
- ניתוח מקצועי וכלכלי של הענף - תוך איבחון מגבלות ניהוליות וממשקיות
- השקעות
- הזנה
- תכנון במיגזר המושבי
- תכנון פרוייקטים בחוויל
- כח אדם



רב-רפת איך לאורך כל הדרך!

לפרטים: שוקה אלימה: 052-755405, 08-9372889 פקס: 08-9453120
 אלון קמה: 052-539026, 08-8580324

רב-רפת
 יועצים ושירותים לרפת המודרנית