

# תוספים ביולוגיים לשיפור החמצת מספוא

סקירה

צבי וינברג, גלעד אשבל, המעבדה לשימור מספוא, מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי\*

ההחמצה, הוא המטען ההתחלתי של החידקים הרצויים לתהליך ההחמצה. מטען התחלתי רב – יקצר את משך התרבותם, ולהיפך. השאיפה היא – להגיע לתחמיץ יציב בזמן הקצר ביותר. בזמן כרית התחמיץ, כאשר הוא נחשף לאוויר, עלולים להיגרם הפסדים בו; שכן אז קיימת האפשרות, ששמרים ופטריית שאינם כה רגישים ל-pH נמוך – יתפתחו, יגרמו הפסדים, והעובשים עלולים גם לייצר רעלנים (אפלאטוכסנינים).

כדי לשפר את תהליך ההחמצה, להקטין הפסדי תסיסה ולשפר את עמידות התחמיץ בחשיפתו לאוויר – אפשר להשתמש בתכשירים כימיים שונים, בעיקר חומצות מינרליות ואורגניות ואמוניה, המוספים לירק בזמן ההחמצה. תפקידם – לדאק פעילות מיקרוביולוגית שאינה רצויה, בעיקר זו של שמרים ועובשים. השימוש בהם לא תמיד נוח. ועוד: בעולם מדועים יותר ויותר לבעיות איקולוגיה ובטיחות. לכן יש נטייה להפחית בשימוש בחמרים כימיים, ולהשתמש יותר במוצרים "טבעיים".

**החידקים והאנזימים יכולים להשפיע מאוד, בצורה חיובית, על תהליכי ההחמצה.**

## חידקים

כדי להקטין את התלות במטען החידקים הטבעי ולוותר על התוספים הכימיים – פותחו תרבויות חידקים לייצור התחמיצים. תרבויות אלה מורכבות, בדרך-כלל, מזנים מובחרים של חידקי חומצת החלב. תפקיד תרבות החידקים הוא ליהפך במהירות לאוכלוסייה המיקרוביולוגית השלטת, ולייצר חומצת חלב – מהר, הרבה וביעילות; ובכך, להוריד את ה-pH ולמנוע הפסדים בהחמצה.

עם חידקי חומצת החלב נמנות ארבע קבוצות (genera): סטרפטוקוקים, לאקטונוסטוקים, לאקטובציליים ופידיוקוקים. הקבוצות נבדלות זו מזו במורפולוגיה המיקרוסקופית ובאופי הפעילות הביוכימית שלהן. אחת הנקודות החשובות ביותר היא, האם החידקים הם הומופרימנטטיביים או הטרופרימנטטיביים. הומופרימנטטיביים הם כאלה, היכולים להפוך גלוקוז לחומצת חלב בלבד בזמן התסיסה; ואילו הטרופרימנטטיביים יכולים לייצר, בנוסף, גם גז פחמן דו-חמצני. חומצת חומץ ומוצרי תסיסה אחרים. החידקים ההומופרימנטטיביים מהווים מחמצת יותר יעילה, בהתאם לנוסחאות התהליכים הבאות: הומופרימנטטיבי: גלוקוז – חומצת חלב (שתי מולקולות); הטרופרימנטטיבי: גלוקוז – חומצת חלב וחומצת חומץ, או אתנול.

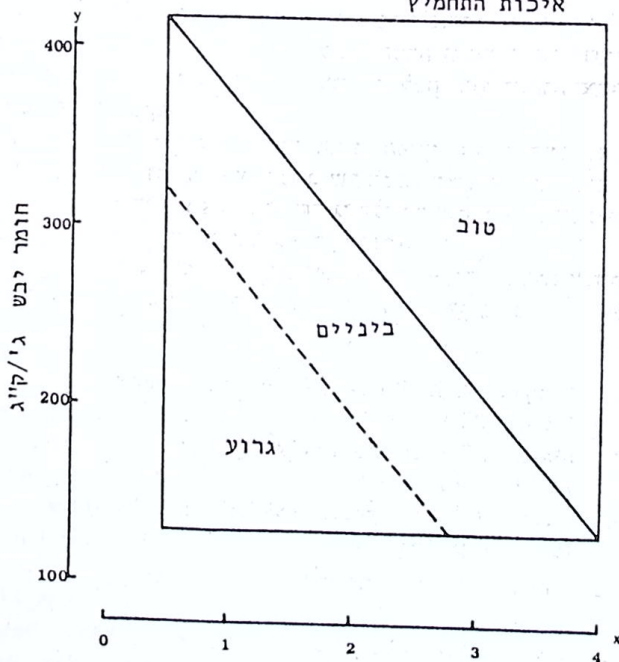
ו- $\text{CO}_2$  (החלק שהופך לגז מבטא הפסד חומר יבש).

מספר חידקי חומצת החלב האפיפייטיים, כלומר אלה הנמצאים על ירק המספוא באופן טבעי, עלול להיות מועט. עם שינוי התנאים בבור התחמיץ (לאנאירוביים ולחמיצות) – מתרבים חידקי חומצת החלב ונעשים לאוכלוסייה המיקרוביולוגית השלטת. יש לזכור, שהתסיסה בזמן ההחמצה היא תהליך שבו מתחלפות בהדרגה אוכלוסיות חידקים בהתאם לתנאים השוררים בתחמיץ. כאשר ה-pH עדיין גבוה, יהיו הסטרפטוקוקים והלאקטונוסטוקים הפעילים ביותר. כאשר ה-pH יורד בהדרגה – יתחלפו אלה בלאקטובציליים; ולבסוף, ב-pH נמוך מאוד, יפעלו הפידיוקוקים (דיאגרמה 2). הדבר נובע מרגישותן השונה של קבוצות החידקים ל-pH נמוך.

החמצת מספוא מבוססת על תסיסה בתנאים אנאירוביים, שבה הופכים חידקי חומצת החלב את הסוכרים המסיסים לחומצת חלב (לקטית). ה-pH יורד וירק המספוא הלח נשמר. בשלבים הראשונים של ההחמצה עדיין כלוא אוויר (חמצן) בין חלקיקי הירק, דבר המאפשר את המשך נשימת הצמחים וכן פעילות מיקרוביולוגית אירובית. הגורמים הפסד של חומר מזון מהתחמיץ. במשך הזמן החמצן נצרך, גדל שיעור הפחמן הדו-חמצני, האווירה הופכת לאנאירובית, והתהליכים הבלתי רצויים האלה נחלשים ונפסקים.

מהירות ההחמצה והתייצבות התהליכים בתחמיץ – תלויות בגורמים רבים. אחד הגורמים הקובעים את קצב ההחמצה הוא היחס בין הסוכרים לכושר ההתרסה (buffer capacity) של הצמח. כושר ההתרסה הוא פרמטר להתנגדות הצמח לירידת ה-pH; ככל שהצמח מכיל יותר חלבון ופחות סוכרים – כושר ההתרסה רב יותר וההחמצה אטית יותר. גם חומצות אורגניות שונות כגון מאלית, טרטריט או ציטריט, הנמצאות בצמח באופן טבעי, מגדילות את כושר ההתרסה. גורם אחר המשפיע על כושר ההחמצה הוא שיעור החומר היבש בירק. לכל סוג מספוא שיעור מיטבי של חומר יבש. שבו ההחמצה הטובה ביותר. אם הירק לח מדי – ישתלטו על תהליכי התסיסה חידקי כלורסטרדיה המייצרים חומצת חמאה וגם גורמים הפסדי חומר יבש (דיאגרמה 1). גורם חשוב נוסף, הקובע במידה רבה את הצלחת

איכות התחמיץ



היחס סוכר/כושר התרסה

**דיאגרמה 1.** היחסים בין תכולת החומר היבש, סוכרים וכושר ההתרסה של ירק מספוא, והשפעתם על טיב התחמיץ.

\* פירסום של מינהל המחקר החקלאי. סדרה ה' 1990, מס' 2341.



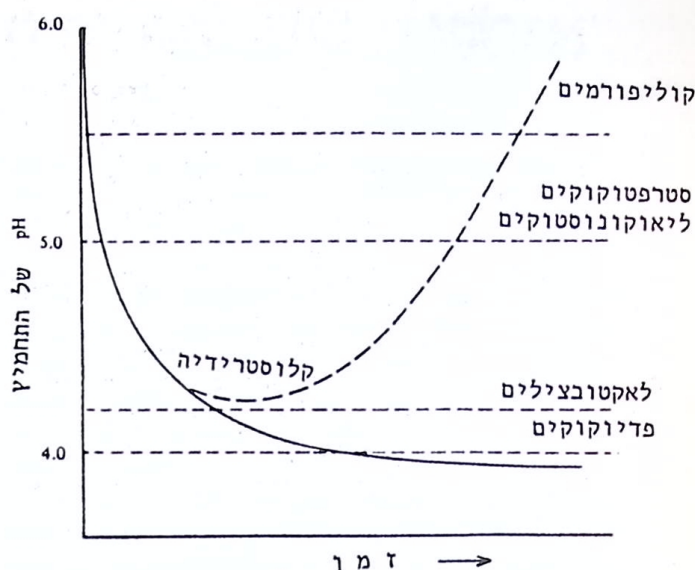
המפרקים את דופן התא הצמחי או מפרקים עמילן. התפקידים שמייח-סים לאנזימים הם שניים: (1) על-ידי פירוק הפחמימות המורכבות מתקבלים סוכרים זמינים, הנחוצים לתסיסת ההחמצה. זה חשוב ביי-חוד כאשר ירק המספוא עני בסוכרים זמינים. (2) על-ידי שבירה חלקית של דופן התא — תשתפר נעכלות התחמיץ. וזה ישפיע לטובה על הנאכלות ועל ביצועי הבקר. במחקרים שונים בודקים את השפעות האנזימים צלולאזה, פקטינאזה, המיצלולאזות שונות ועמילאזה. האנ-זימים מפרקי דופן התא מופקים מפטריות שמגדלים על מצע המכיל סובסטרט, המשרה את ייצור האנזים. הפטרייה *Trichoderma reesei* היא מקור מצוין לצלולאזה; ואילו *Aspergillus* מקור להמיצל-ולאזות ולפקטינאזות. מוסיפים את האנזימים בריכוזים קטנים של 0.02% לערך ממשקל הירק הטרי. יש לזכור, שפירוק ליגנין גם היה משפר באופן משמעותי את הנעכלות. אך קשה להפיק ליגנינאזות באופן מסחרי. ועוד: מטבען הן אוכסידאזות (החייבות לחמצן את הטבעות הפנוליות של הליגנין כדי לגרום את פירוקו), ועובדה זו אינה מתאימה עם התנאים האנאירוביים של התחמיץ. בעבודה שנעשתה בקולורדו (5) נמצא, שהשילוב המתאים ביותר של אנזימים היה של המיצלולאזות, פקטינאזות וצלולאזות; שני האנזימים הראשונים מפר-קים את הדופן הראשוני של התא הצמחי ומאפשרים לצלולאזה לפעול על התקבץ הפנימי יותר של הליגנוצלולוז. שילוב מוצלח להחמצה יוכל להיות — של תרבית חידקים ואנזימים; האנזימים מבטיחים אספקת סוכר רצופה לחידקים, ואלה מתסיסים אותו ומייצרים במהי-רות ריכוזים גדולים של חומצת חלב.

## סיכום

האפשרויות הגלומות בתוספות הביולוגיות לייצור התחמיצים הן גדולות מאוד, והתועלת שייצרני התחמיצים עשויים להפיק מהן היא גדולה. ללא ספק, החידקים והאנזימים יכולים להשפיע מאוד, בצורה חיובית, על תהליכי ההחמצה. בארה"ב ובאירופה מושקע מאמץ עצום בפיתוח מוצרים אלה, והשימוש בהם הולך ומתרחב לתועלתם של החקלאים. יכול להיות, שתרבית חידקים שפותחה מזנים באיזור אקלים ממוזג (כמו זה השורר בצפון אירופה ובצפון ארה"ב) לא תפעל באותה יעילות בתנאי האקלים הסובטרופי השוררים בארץ, ויש לפתח תרביות חידקים שבודדו ממספוא מקומי.

## ספרות

1. Bolsen, K., Fung, D; Ilg, H., Laytimi, A., Hart, Renee, Chain, V. and Nuzback, Lisa (1987). In: Cattleman's Day 1987. Report no. 514, Agric. Exp. Station. Kansas State University, Manhattan, KS. pp. 107—120.
2. Muck, R.E. (1989). Transactions of the ASAE 32: 1153—1158.
3. Pahlow, G. (1989). In: Second Forage Symposium Proceedings. Des Moines. Iowa, USA, May 1989.
4. Weinberg, Z.G., Ashbell, G. and Azrieli, A. (1988). J. of Appl. Bacteriol. 64: 1—8.
5. Weinberg, Z.G., Szakacs, G., Henk, Linda, Linden, J.C., Wu, Mei, Tengerdy, R.P. and Johnson, D. (1990): The use of lactic acid bacterial inoculant in combination with enzymes to improve silage quality. Submitted for publication.
6. Woolford, M.K. (1984). In: The Silage Fermentation. Marcel Dekker Inc., New York, NY. pp. 44, 91.



דיאגרמה 2. השינויים באוכלוסיות המיקרוביולוגיות, המתרחשים בזמן תסיסת ההחמצה. שתי הדיאגרמות נלקחו מ-(6).

כדי להבטיח רצף פעילות בזמן ההחמצה — מפתחים את תרביות החידקים לייצור התחמיצים מכמה זנים של חידקי חומצת החלב. התרביות מכילות בדרך-כלל זנים של *Streptococcus faecium*, *Pediococcus* (1), *Lactobacillus plantarum*. התרביות פותחו מזני חידקי חומצת החלב, שבודדו מירק המספוא הטרי שהוא סביבתם הטבעית. תהליך ייצור החידקים כולל את גידולם במצע נוזלי בתנאים סטריליים. הם מופיעים כאבקה לאחר סירכוז וייבוש בהקפאה. לעתים מכילות האבקות גם סוכר, כדי לתת דחיפה ראשונית לתסיסה ולמנוע הלם אוסמוטי (המוצר מכונה sweet & dry).

לשימוש בתרביות חידקים בתהליך ההחמצה, לעומת שימוש בתכ-שירים כימיים, יתרונות רבים. הם נוחים מאוד בשימוש, לא קורוזי-ביים, אינם מזדהמים את הסביבה, אינם מהווים סיכון לאדם ולבהמה ומחירים אינו גבוה. בעצם, אלה מיקרואורגניזמים הנמצאים באופן טבעי על-גבי הירק ובתחמיץ, והתרביות פותחו — כאמור — מבידוד הזנים המובחרים מהצמחים.

המחקרים של השנים האחרונות מצביעים על כדאיות השימוש בתרביות אלה בייחוד במקרים שבהם ירק המספוא הוא קשה-החמצה, כגון ירק קטניות. בעבודה שנעשתה במעבדתנו (4) נמצא, שתרבית חידקי חומצת חלב הורידה את ה-pH מהר יותר בתחמיץ אספסת טרייה ומוקמלת ובתחמיץ בקיה. תוצאות דומות התקבלו בעבודה שנעשתה בקולורדו, על תחמיץ אספסת טרייה ומוקמלת (5). מחקרים אחדים מצביעים על השיפור בביצועי הפרות ועלייה בתנובת החלב — בעקבות השימוש בתרביות חידקים, אולי הודות לשיפור טעימות התחמיצים והגברת הנאכלות (1). בארה"ב רווחת הדעה, שבכל מקרה כדאי להוסיף תרבית חידקים לתחמיץ, כדי להבטיח החמצה נאותה, ולא להסתכן במטען החידקים הטבעי, העלול להיות מועט. ההמלצה היא — להוסיף את תרביות החידקים בריכוז של  $10^5$  —  $10^6$  חידקים לגרם ירק, כדי להבטיח שחידקי התרבית ייהפכו במהירות לאוכלוסייה השלטת (3). אם ירק המספוא מכיל מספר גדול של חידקים אפיוטיים כאלה, יעילות התרבית המוספת תהיה פחותה (2). בדרך-כלל התרביות מומסות במי ברז ומותזות על הירק המקוצץ לפני הכנסתו לבור.

## אנזימים

השלב הנוסף של פיתוח תכשירים ביולוגיים לייצור התחמיצים הוא — שימוש באנזימים. בדרך-כלל חושבים על שימוש באנזימים