

תחמיצים – תסיסה ראשונית ומשנית והשפעת תוספים על תהליכי ההחמצה והשימור

אשר בראון, תזונאי ש.ח. מהנדסים בע"מ

תקציר

הפיכת ירק לתחמיץ היא תהליך מורכב שגורמים רבים משפיעים עליו. במאמר זה נפרט את שלבי התסיסה השונים ואת הגורמים המשפיעים על יעילות התסיסה ועל שימור הירק. בתחילת המאמר נבחין בין התסיסה האירובית לתסיסה האנאירובית ובין התסיסה הראשונית לתסיסה המשנית. בהמשך נדון בסוגי התוספים השונים הקיימים, על יתרונותיהם וחסרונותיהם.

תהליך ההחמצה

איכות התחמיץ המואבס תלויה בהחלטות מנהליות ובתהליכים המופעלים לפני, במשך, ולאחר תקופת ההחמצה. על מנת לייצר תחמיץ באיכות גבוהה, דרושות החלטות מנהליות נבונות והקפדה מירבית על הפרטים. הגורמים העיקריים המשפיעים על איכות התחמיץ, והקשרים ביניהם, מובאים באיור 1. פרטים כגון מהירות הכנסת הירק לבור, תכולת החומר היבש, אורך הקיצוץ וטיב ההידוק יכולים להשפיע מאד על תהליך ההחמצה ועל פחת התסיסה. תסיסה יעילה תניב בדרך כלל מזון אכיל יותר ובעל נעכלות גבוהה יותר. זה יביא לצריכה מירבית של חומר יבש על ידי בעלי החיים ולשיפור בביצועים. הפיכת הירק לתחמיץ נעשית על ידי דחיסת הירק לבור התחמיץ וסילוק החמצן שבתוכו כך שהחידקים הרצויים ייצרו חומצה משמרת.

תהליך התסיסה

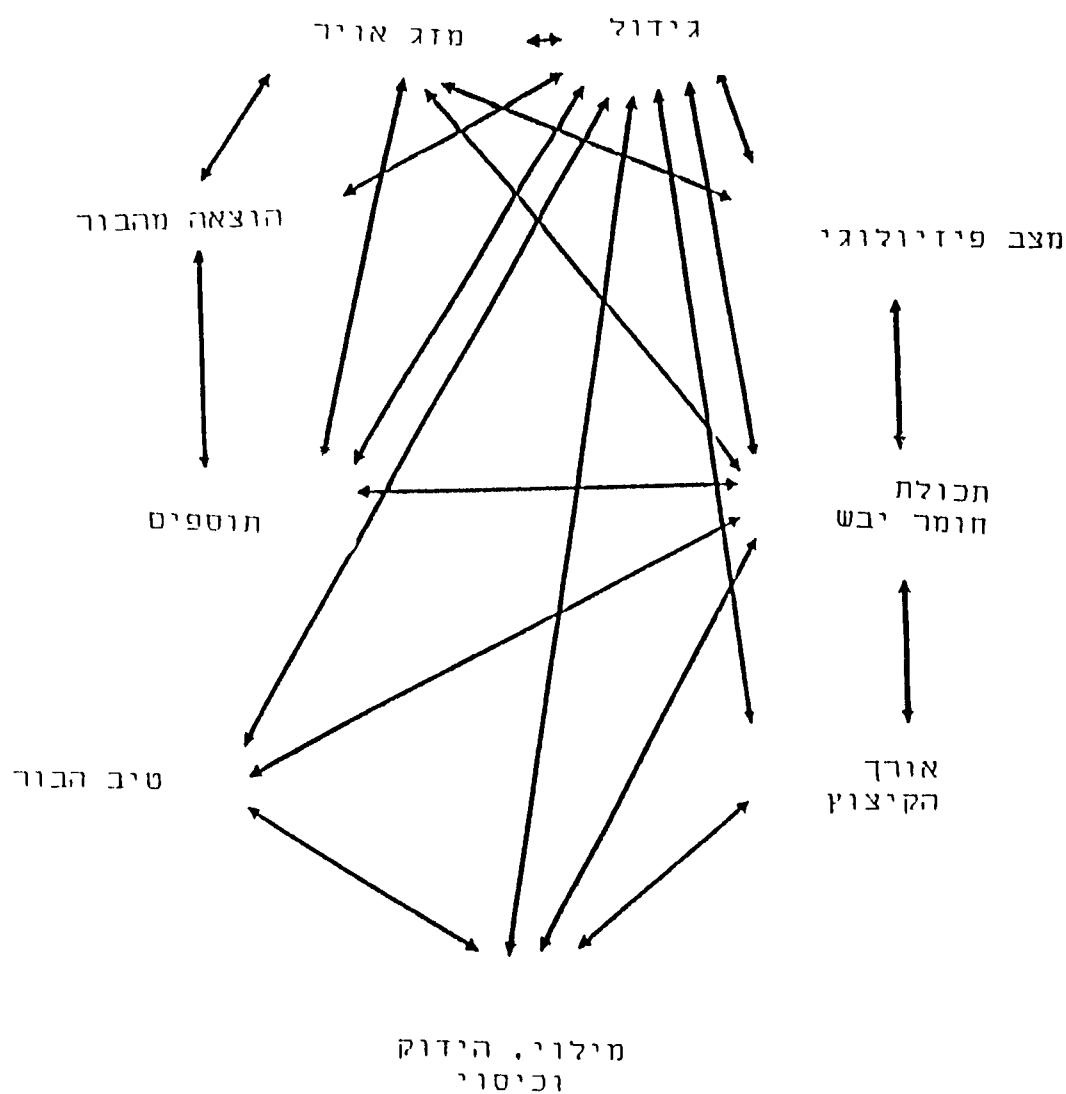
הפיכת הירק לתחמיץ היא תוצאה של פעילותם של חידקים ומיקרואורגניזמים שונים.

- הרצאה שניתנה במסגרת ההתארגנות של משקי "מתמור", יוני/יולי 1993.

תהליך התסיסה מתבצע במספר שלבים:

- תסיסה אירובית (בנוכחות חמצן). בשלב זה, תאי הצמח והחידקים האירוביים הופכים את הסוכרים שבצמח לפחמן דו-חמצני, לחום ולמים. תהליך זה יימשך עד שייגמרו מאגרי החמצן או הפחמימות המסיסות של הצמח.
 - תסיסה אנאירובית (ללא חמצן). בשלב זה מתרבים החידקים האנאירוביים ומתסיסים את הפחמימות המסיסות והופכים אותן לחומצה אצטית, חומצת חלב, אתנול ופחמן דו-חמצני. ייצור החומצות גורם לירידה ב-pH ו"משמר" את הצמח.
 - מצב סטאטי (אך לא קבוע). תחמיץ תמיד נמצא במצב דינמי המושפע ממספר גורמים:
 - א. כמות האוויר החודר לתוך התחמיץ.
 - ב. כמות הסוכרים המסיסים הנותרים בתחמיץ.
 - ג. מספר וסוג האורגניזמים (אירוביים, שמרים ועובשים) הנמצאים על הצמח בעת הכנסתו לבור.
 - ד. הריכוז והסוג של החומצות בתחמיץ.
 - ה. צורת הכריה מחזית הבור.
- התסיסה האירובית גורמת לפחת ואינה מועילה כלל. מטרתנו היא לדחוס את הירק בבור ולכסותו במהירות האפשרית. כך נקטין את כמות החמצן, ונקצר תהליך זה.
- התסיסה האנאירובית גורמת לירידה ב-pH (דרגת חמיצות). ככל שהתסיסה מהירה יותר, כך קטן הפחת במרכיבים השונים של התחמיץ. חומצת החלב היא החומצה היעילה ביותר להורדה מהירה של ה-pH בתחמיץ. ואמנם, התחמיצים הטובים יותר מכילים חומצת חלב כחומצה עיקרית (1).
- כאשר מגיעים לחומציות המתאימה, נפסקים התהליכים ההרסניים, בתנאי שאין חדירת חמצן לתוך התחמיץ, ובתנאי שלא יהיו בתחמיץ

איור 1. גורמים המשפיעים על איכות התחמיץ.



מהבור (אך גם בעת חדירת אוויר או מים לבור הסגור) (2). בשלב זה, עובשים ושמרים שהיו "רדומים" בתוך התחמיץ עקב התנאים החומציים חוזרים לפעילות. התחמיץ מתחמם, ומתפתחים כיסי עובש. "חגיגת" העובשים נעשית כמובן תוך ניצול חומר אורגני של

שמרים המסוגלים לגדול על החומצות שנוצרו בזמן התסיסה וכך להעלות את ה-pH.

התסיסה המשנית

התסיסה המשנית היא תסיסה אירובית המתרחשת בעיקר כאשר מוציאים את התחמיץ

התחמיץ וגרימת פחת נוסף.

תהליך זה נחקר מעט בעבודות האקדמיות. לעומת זאת, שלב זה מהווה מטרה ראשונה וחשובה ליצרני התוספים לתחמיץ, וזאת מהסיבות הבאות:

- לתסיסה המשנית השפעה מכרעת על טעימות התחמיץ.
- כ־50% מהפסדי החומר היבש בתחמיץ נובעים מקלקול אירובי משני (1).
- ככלל, הגורמים העיקריים המקטינים את היציבות בזמן חשיפה לאוויר הם:
- אוכלוסיה גדולה של שמרים, עובשים או חיידקים אירוביים.
- כמות גדולה של פחמימות מסיסות שלא נוצלו להחמצה.
- צמחים שסבלו מעקה בזמן הגידול (בצורת, קרה...).
- זיהום באורגניזמים מהקרע (הכנסת אפר ואדמה לבור).

נקודה מעניינת בנושא זה היא העובדה, כי לרוב תחמיצים שלא תססו טוב יציבים יותר בזמן החשיפה לאוויר. זאת כתוצאה מכך שהם מכילים ריכוזים גבוהים של חומצה בוטירית או חומצה אצטית או כתוצאה מ"שריפת" כל הפחמימות המסיסות בשלבי התסיסה האירובית והאנאירובית. התסיסה ה"אידיאלית" צריכה להיות כזו, שתתבצע בקצב מהיר מספיק כדי למנוע הפסדים בזמן ההחמצה, אך מצד שני תאפשר יציבות בזמן החשיפה לאוויר. נראה כי רק תפעול נכון של מערך התחמיץ, יחד עם שימוש בתוסף יעיל לתחמיץ יכולה להבטיח מינימום הפסדים בשני השלבים גם יחד.

תוספים לתחמיץ

לאחר שהרפתן הגיע לאופטימיזציה של מערך התחמיץ, החל מקביעת מועד הקציר וכלה בכיסוי נאות של הבור, הוא עדיין יכול להוסיף ולשפר את התחמיץ. התחמיץ שאנו מכניסים לבור פעם או פעמיים בשנה מהווה כ־25% מהמנה המואבסת לחולבות במהלך כל השנה. לכן, טיב התחמיץ שנוציא מהבור הוא אחד הגורמים החשובים בקביעת ביצועי הפרות.

פיספוס או תקלה בהכנת התחמיץ עלולים לגרום לביצועים ירודים ולרווחיות נמוכה במהלך כל השנה, ואין ספק כי רצוי לעשות הכל להצלחת התחמיץ.

אחת הדרכים לשיפור התחמיץ, או להקטנת הנזק במקרה של תקלה בהכנתו, היא השימוש בתוסף לתחמיץ. בעולם קיימים כ־200 תוספים שונים המתחלקים ל־4 קטגוריות שונות.

- תוספים בקטריאליים.
- אנזימים.
- חומצות.
- חנקן שאינו חלבוני (חש"ח).

כאן נדון בשלושת הסוגים הנפוצים ביותר.

תוספים בקטריאליים. רוב התוספים לתחמיץ הקיימים מורכבים מתרביות חיות של חיידקי חומצת חלב מסוג Lactobacillus, Streptococcus או Pediococcus. חיידקים אלה מתסיסים סוכרים (בעיקר גלוקוז ופרוקטוז) בצורה יעילה והופכים אותם לחומצת חלב. יצירת חומצת חלב הוא נתיב ההחמצה היעיל ביותר, וגורם להפסדי חומר יבש הנמוכים ביותר.

בבחינת התוספים הבקטריאליים נמצא, שהם גורמים

לזירוז תהליך התסיסה והקטנת ההפסדים, לשיפור נעכלות הסיבים, ולהקטנת הפסדי החלבון.

שינויים אלה מעלים את הערך התזונתי של התחמיץ. כללית, נמצא כי קצב הירידה ב־pH גדל וכי נוצרת יותר חומצת חלב ברוב סוגי התחמיצים.

ההמלצה המקובלת להוספת בקטריות לתחמיץ מבוססת על מספר החיידקים הנמצאים על הצמח בזמן הקציר. ברם, אין להתייחס יתר על המידה לריכוז ולמספר החיידקים בתוסף אלא לפעילות הביולוגית של חיידקים אלה. הנתונים הרלוונטיים הם אלה המוכיחים שיפור בתהליך התסיסה ובביצועי בעלי החיים.

נתונים של חוקרים מחברת Pioneer Hi-Bred שטרם פורסמו מראים בבירור, כי הוספת כמות גדולה של חיידקים מאד יעילים גרמה לתסיסה מהירה מאד – אך הניבה תחמיץ שהתקלקל במהירות רבה כשנחשף לאוויר. רצוי להזכיר כאן

ביכולת הגדילה שלהם בתנאי חום ולחות שונים וביכולתם לשפר את נעכלות הסיבים.

מבחינה מעשית, הבעיה העיקרית של השימוש בתוספים בקטריאליים היא הצורך לפזר אותם בצורה מדויקת בכל נפח הבור. לחידקים המוספים אין יכולת לנוע ולכן הם פעילים רק במקום בו הם מוספים.

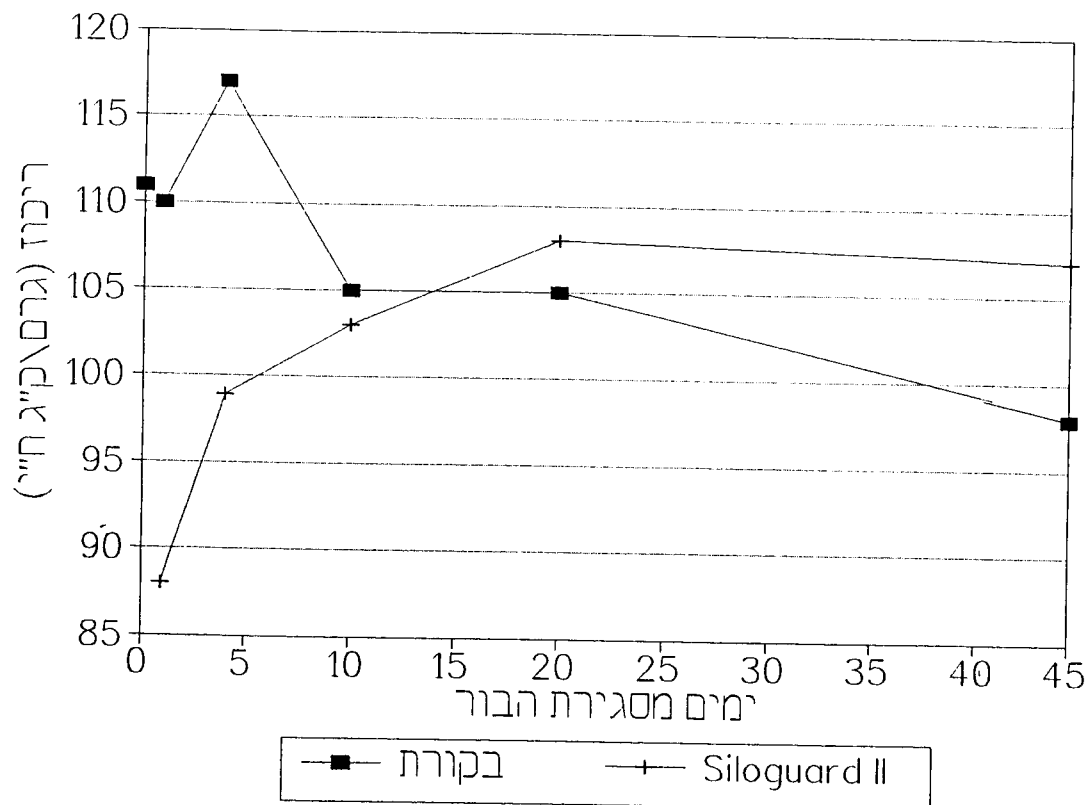
אנוזימים. קיימים שני סוגים של תוספים המבוססים על פעילות אנזימתית. מצד אחד ישנם תוספים המכילים חידקים המייצרים את האנזימים הרצויים, ומצד שני, תוספים המכילים את האנזימים עצמם. יעילות התוספים המכילים חידקים תלויה

כי 50% מהפסדי החומר היבש קורים לאחר גמר התסיסה הראשונית.

השימוש בתוספים אלה המשפיעים רק על התסיסה הראשונית, גורם לשיפור קל בלבד בהפסדי החומר היבש. החידקים המוספים מתסיסים רק סוכרים מסיסים, ולכן לא יניבו שיפור של יותר מ-2% עד 3% בהפסדי החומר היבש.

בנוסף על כך רצוי לזכור, כי קיים שוני רב בין התוספים השונים. גם אם שני מוצרים מכילים סוג זהה של חידק, ביצועיהם לא יהיו בהכרח דומים. מכל סוג חידק קיימים כ-5000 זנים שונים הנבדלים ביניהם בהעדפתם צמחים שונים, ביכולתם להתסיס חומרים שונים,

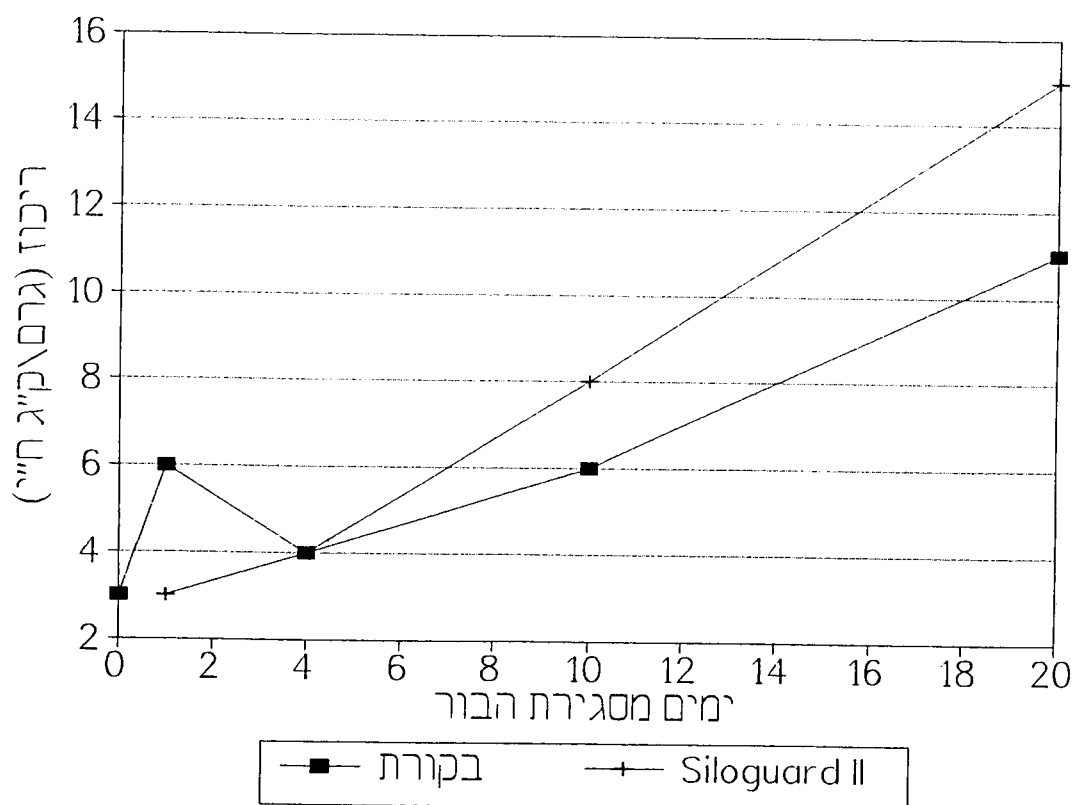
איור 2. ריכוז פחמימות מסיסות בתחמיין.



The effect of Siloguard II on Wheat Silage. Report by Z. Weinberg and G. Ashbell, Volcan Center.

- ביכולתם להתרבות בתוך התחמיץ. יתר על כן, חידקים אלה מניבים גם אנזימים לא רצויים, כגון פרוטאזות, המפרקים חלבון. התוספים המכילים אנזימים הם בעלי רמת פעילות ידועה וקבועה. האנזימים מוספים לתחמיץ על מנת לייצר סוכרים מפירוק של פחמימות מורכבות. סוכרים אלה זמינים לשימוש חידקי חומצת החלב. פעולה נוספת של האנזימים היא פירוק מרכיבי סיב הצמח, כך שצריכת החומר היבש עולה וכך גם קצב פירוק הסיבים בכרס. כאשר מוסיפים אנזימים לתחמיץ, יש לשים לב לנקודות הבאות:
- כמות האנזים שיש להוסיף,
 - כמות הפיזור בתוך התחמיץ,
 - בקרת האיכות על פעילות האנזים,
 - ההשפעה על התסיסה המשנית.
- חנקן שאינו חלבוני.** אמוניה ואוריאה הם מקורות החש"ח הנמצאים בשימוש כתוסף לתחמיץ. מטרת הוספתן היא:
- העלאת תכולת החלבון הכללי בתחמיץ,
 - שיפור העמידות האירובית,
 - עיכוב התפתחות עובשים.
- באופן טבעי, הירק המוכנס לבור נמצא ב־pH של 6 עד 7. לאחר התסיסה האנאירובית יורד

איור 3. ריכוז חומצת חלב בתחמיץ.



The effect of Siloguard II on Wheat Silage. Report by Z. Weinberg and G. Ashbell, Volcani Center.

ה-pH לסביבות 4. לשם כך החידקים הופכים

פחמימות מסיסות לחומצות.

האמוניה בעלת pH בסיסי. לכן, כאשר מוסיפים אמוניה לתחמיץ, עלול ה-pH לעלות עד 9 (1). על מנת להוריד את ה-pH ל-4 החידקים צריכים לייצר כמות גדולה יותר של חומצה, כלומר להפוך הרבה יותר פחמימות מסיסות לחומצות. כמו כן, מתארך משך הזמן הדרוש להורדת ה-pH ולהגעה למצב הסטאטי, וזה גורם לפעילות ממושכת יותר של אורגניזמים לא-רצויים. כתוצאה מהארכת התסיסה האנאירובית, ישנה עליה בהפסדי החומר היבש וגידול של 25% עד 40% בפחת (3).

במאמר נפרד נביא סקירה של מספר רב של ניסויים, המשווים תחמיצים מטופלים בחש"ח עם תחמיצי ביקורת.

צורת הפעולה של Siloguard II

Siloguard II הוא תוסף ייחודי לתחמיץ בכך, שהוא פועל בשני מישורים שונים. Siloguard II מכיל אנוים המפרק פחמימות מורכבות לסוכרים פשוטים הזמינים לחידקי חומצת החלב. האנוים הוכח כיעיל במספר עבודות שבוצעו בארה"ב ובישראל, כאשר נמצאה רמה גבוהה יותר של פחמימות מסיסות, וייצור מהיר יותר של חומצת חלב.

בניסוי שנערך על ידי פרופסור McCullough באוניברסיטת ג'ורג'יה בארה"ב, נמצאה עליה של 13.5% בתכולת הפחמימות המסיסות בתחמיץ.

בניסוי שנערך במכון וולקני, אשבל ווינברג מדווחים על נטיה לתכולה גבוהה יותר של פחמימות מסיסות בתחמיץ שטופל ב-Siloguard II (4). באיור 2 מובא ריכוז הפחמימות המסיסות בתחמיץ ביקורת ובתחמיץ מטופל ב-Siloguard II בימים הראשונים שלאחר סגירת הבור.

כזכור, ייצור מוגבר ומהיר של חומצת חלב הוא המפתח להקטנת הפסדי התסיסה ולשיפור טיב ההחמצה. באיור 3 מובא ריכוז חומצת החלב בתחמיץ ביקורת ובתחמיץ מטופל ב-Siloguard II בימים הראשונים שלאחר סגירת

הבור.

בניסוי שנערך על ידי Bolsen, Harvey and Hinds באוניברסיטת קנזס בארה"ב, נמצאה ירידה של 27% עד 30% בהפסדי החומר היבש של תחמיץ שטופל ב-Siloguard II לעומת תחמיץ הביקורת.

ממצאים המצביעים על נטיה דומה של ירידה בהפסדי החומר היבש נמצאו במחקרים רבים שבוצעו בארה"ב. בניסוי שנעשה בישראל מדווחים החוקרים על תכולת חומר יבש גבוהה יותר ותכולת אפר נמוכה יותר המצביעים על ירידה בהפסדי החומר היבש (4). חלק נוסף מהפחת הנחסך נובע מצימצום החומר המקולקל בקצוות הבור ובשכבה העליונה. עובדה זאת קשורה לעמידות התחמיץ לתנאים אירוביים שתידון בהמשך.

האנוים, המפרק גם מרכיבי סיב, משפר את נעכלות התחמיץ ומעלה את צריכת המזון. בניסוי שנערך בקיבוץ ברור-חיל נמצאה עליה של 7% בצריכת החומר היבש של פרות חולבות, מ-20.05 ק"ג בקבוצת הביקורת ל-21.45 ק"ג בקבוצה שהואבסה במנה שהכילה תחמיץ שטופל ב-Siloguard II (5).

אחת הבעיות העיקריות העלולות להיגרם כתוצאה משימוש באנוימים היא הגברת התסיסה המשנית. האנוימים עלולים ליצור עודפי סוכרים מסיסים המותססים עם החשיפה לאוויר על ידי שמרים ועובשים.

על מנת להתגבר על בעיה זאת Siloguard II מכיל תרכובות גפרית. תרכובות אלה, בבואן במגע עם התחמיץ, הופכות לגז CO_2 . גז זה מעקב את גדילתן הן של פטריות עובש והן של שמרים. עקב כך נמנעת התפתחות אורגניזמים אלה הן בשכבה העליונה של הבור והן בשוליו. כמו כן, נמנעת כמעט לחלוטין התחממות חתך הכרייה, וייצור ה- CO_2 קטן מאד בזמן החשיפה לאוויר. אלה תופעות מובהקות של התסיסה המשנית. ממצאים אלה אומתו בניסוי שנערך במכון וולקני (4).

רצוי לזכור, כי התסיסה המשנית יכולה לגרום לכ-50% מהפסדי החומר היבש (1), והקטנתה מביאה לחסכון גדול בפחת. כמו כן כדאי לזכור,

ספרות

1. Mahanna W.C. 1993. Silage fermentation and additive use in North America. Proceedings from the National Silage Production Conference. Syracuse. New York.
2. Muck R.E. 1993. Ensiling and its effect on crop quality. Proceedings from the National Silage Production Conference. Syracuse. New York.
3. Bolsen K.K., Sonon R.N., Dalke B., Pope R., Riley J.G. and Laytimi A. 1992. Evaluation of inoculant and NPN silage additive: A summary of 26 trials and 65 farm-scale silages. Report of progress 651. Kansas State University.
4. Weinberg Z. and Ashbell G. 1992. The effect of Siloguard II on wheat silage. Report submitted to International Stock Food Corporation. Feed conservation laboratory, the Volcani Center, Bet Dagan.
5. בראון א. 1993. האבסת פרות בתחמיץ שטופל בסילוגרד II. תקצירי הרצאות של הכנס למדעי מעלי-גירה. מעלה החמישה. ינואר 1993.

כי התסיסה המשנית משפיעה בצורה מכרעת על טעם התחמיץ (2). מניעת קלקול התחמיץ בזמן החשיפה לאוויר משפרת את צריכת החומר היבש ואת ביצועי בעלי החיים.

סיכום

תהליך הפיכת ירק לתחמיץ הוא תהליך מורכב שהצלחתו תלויה במספר רב של גורמים. הקפדה על פרטים קטנים כגדולים ועל תזמון נכון יכולה לשפר את איכות התחמיץ שנאבס במשך כל השנה. השימוש בתוסף לתחמיצים שיעילותו נבדקה הן במעבדה והן בתנאי משק, יעזור לנו להפוך תחמיץ טוב לתחמיץ מעולה, ולהשיג כך את המזון הגס בטיב הרצוי להאבסת פרות חולבות גבוהות תנובה.

כמה כסף שוקע בבור התחמיץ?

תוספת מלח בישול NaCl, מקטינה את הפסדי הכיסוי בשכבה העליונה ובכתפי בורון התחמיץ

נתונים המתפרסמים בספרות המקצועית, מצביעים על השפעות חיוביות שיש למלח הבישול על תהליכי השימור של התחמיצים, כמו גם על הקטנת הפסדי השכבה העליונה והכתפיים בבורות התחמיץ. (מלח הבישול מופיע ברשימת התוספות המוכרות בתחמיצים). בניסויים אשר נערכו לאחרונה, בתוספת של 3 ק"ג למ"ר תחמיץ בשכבה העליונה, נמצא כי קיים פוטנציאל חיובי ניכר למלח, בהקטנת ההפסדים, גם בהשוואה עם אוריאה.

(הניסויים נערכו ע"י ד"ר ג. אשבל וד"ר צ. וינברג מנהל המחקר החקלאי, בית דגן ומר י. דר ש.ה.מ. משרד החקלאות)

לפרטים נוספים והזמנות פנה למחלקת השיווק של -
"חברת המלח לישראל" עתלית טל. 04-842351, פקס. 04-842447

