

# השפעת תוספי תחמיץ לירק חיטה, על הרכב כימי ונעכלות, פרופיל החמצה ועמידות לחשיפה אירובית - תקציר

ר. סולומון<sup>1</sup>, ג. עדין<sup>1</sup>, ש. רווח<sup>2</sup>, ג. ארונסון<sup>2</sup>, מ. וסר<sup>3</sup>, י. חן<sup>4</sup> וצ. ויינברג<sup>4</sup>

1 - שה"מ, המחלקה לבקר; 2 - רופין, ב"ס להנדסאים; 3 - רפת נירים; 3 - מינהל המחקר החקלאי, היחידה לשימור מספוא; דוח מסכם פרויקט (06-1467-870), מוגש לקרן המחקר של מועצת החלב מבוא: תחמיצים מהווים את עיקר המזון הגס במנות חולבות בארץ, מהם, תחמיץ החיטה הינו העיקרי. מחיר תחמיצי החיטה בבור גבוה מאד - \$140-150 לטון חומר יבש בבור, מכאן החשיבות הרבה באשר לאיכות החומר המואבס ושעור הפחת לסוגיו: בשלב האירובי (נשימת הצמח), בשלב האנאירובי (פעילות חיידקים לקטובצילים ויצירת חומצות אורגניות), ובעת השימוש וחשיפת חתך הכרייה לאוויר (פעילות פטריות ועובשים). עלות השימוש בתוספים, המיועדים לשיפור התחמיץ, גבוהה ונעה בין 5 ל-10 \$/טון ח"י וקיימים חילוקי דעות באשר ליחס עלות/תועלת. מעטים התצפיות/מחקרים שבחנו סוגיה זו בתנאי הארץ, ואלו שנעשו, לרוב התבצעו בצנצנות בתנאי מעבדה, ללא הקמלה לרמת ח"י מיטבית; כמו כן לרוב נעשו בהזמנת החברה המשווקת, ובמימונה.

**מטרות העבודה:** בחינת השפעת 5 תוספי תחמיץ, על ההרכב הכימי, הנעכלות, פרופיל תוצרי ההחמצה, ופרמטרים הקשורים בעמידות אירובית בעת חשיפה.

**חומרים ושיטות:** חומר המוצא - נעשה שימוש בירק חיטה שנלקח בעת מילוי הבורות ברפת נירים. טיפולים: נבחנו 5 תוספים - 1-קופוסיל, "קופולק"; 2-סיל-אול פיירגרד, "אולטק"; 3-סילוגארד, "ש.ח. מהנדסים"; 4-רגולטור, "אסם-גדות"; 5-סילוקינג, "אחים שרר", וכן ביקורת ירק ללא תוסף (#6). לא היה קשר עם החברות הנ"ל במהלך העבודה. ההחמצה התבצעה באשפתונים של 80 ל', ולתוך שק ניילון. המינון היה על פי המלצות היצרן, כדלקמן: 1-# ו-4-# 330 ג'/טון ירק; 5-# 370 ג'/טון ירק; 3-# 500 ג'/טון ירק; 2-# 454 ג'/טון ירק. התוספים הוספו ל-150 ק"ג ירק חיטה, עורבבו, וכמות זו שימשה למילוי 3 אשפתונים לטיפול, ברמת דחיסה זהה (הידוק ברגליים). המיכלים נשמרו במבנה סגור, כחודשיים עד פתיחתם. נבדקו: משקל המיכלים, והטמפרטורה, בעת סגירתם, לאורך ההחמצה ובעת הפתיחה; הרכב כימי (חלבון כללי, NDF, ADL, ואפר) וכן נעכלות ח"י ו-NDF (כרמ"ל), של חומר המוצא והתחמיצים; ה-WSC, pH (סוכרים מסיסים במים) ומטען חיידקים לקטובצילים בחומר המוצא; ה-pH, ריכוז ה-WSC, החומצה הלקטית, האתנול, והחומצה האצטית בתחמיצים. בנוסף, נבדקו פרמטרים הקשורים בעמידות לחשיפה אירובית, כמו יצור פד"ח, pH, והתפתחות מושבות שמרים ועובשים. בעת הפתיחה נבחנו פרמטרים אורגנולפטיים של התחמיצים.

**תוצאות:** כמות הירק שהוחמצה דמתה בכל הטיפולים, ונעה סביב  $38 \pm 1$  ק"ג. ההרכב הכימי של ירק המוצא, והתאמתו להחמצה היו מיטביים: % ח"י, 34.4; pH, 6.21; WSC, 8.33% ומטען חיידקים לקטובצילים, 5.23 (מושביות, בלוג' ח"י). נעכלות החומר היבש וה-NDF היו אופייניים לירק חיטה-64.6%, ו-54.3, בעת הפחת של החומר הרטוב (איבוד משקל בהחמצה, בין סגירת המיכלים לפתיחתם) לא נבדל בין הטיפולים, ונע בין 0.88 ל-1.15%. מאידך, נמצא הבדל מובהק בפחת הח"י בין טיפול #3 (פחת גבוהה-4.17%) לבין טיפול #2 (פחת נמוך-1.48%); שאר הטיפולים לא נבדלו בשיעור פחת הח"י (תחום ערכים של 2.62-3.24%). לא היה הבדל מובהק ב-pH, ובשיעור ה-WSC, בין הטיפולים

כדלקמן: תחום ערכי pH - 3.84-3.88; תחום ערכי WSC - 0.8-1.8%. שיעור החומצה הלקטית של טיפול #2 (5.17%) היה נמוך באופן מובהק מזה של טיפולים #3, 4 ו-6 (6.0-6.17%) ולא נבדל מזה של טיפולים #5 ו-1 (5.43 ו-5.77, בהתאמה). ללא קשר לטיפולים, הערכים הנ"ל מעידים כי תנאי החמצה היו מיטביים, ובהתאם התחמיצים שהתקבלו. לא היה הבדל מובהק בריכוז האתנול בתחמיצים; אולם ריכוז החומצה האצטית היה גבוה באופן מובהק בטיפול #3 (2.28%) בהשוואה לשאר הטיפולים (1.13-1.61%). ההרכב הכימי של כל התחמיצים היה דומה, ללא הבדל מובהק בין הפרמטרים הכימיים שנבדקו (חלבון כללי, NDF, ADL, ואפר) וכן לא היה הבדל בנעכלות החומר היבש (תחום ערכים צר, 62.1-63.8%) ונעכלות ה-NDF (48.3-51.8%) בין כל הטיפולים. הנעכלות הדומה של התחמיצים עומדת בסתירה להצהרות חלק מיצרני התוספים, בדבר שיפור נעכלות מקטע דופן התא של התחמיץ עקב פעילות אנזימים צלולוליטיים שבתוסף. בבדיקה אורגנולפטית של התחמיצים בעת הפתיחה, שכללה ריח, צבע, מרקם ועיפוש, לא התקבלו הבדלים בין הטיפולים. במבחן עמידות לחשיפה אירובית של 5 ימים, בלט במיוחד טיפול #3, אשר שמר על pH נמוך - 3.87, הדומה ל-pH התחמיץ בפתיחה, ורמת יצור פד"ח נמוכה (9.96 ג' פד"ח/ק"ג ח"י), נמוכה באופן מובהק משאר הטיפולים, שערכיהן היו 33-45 ג' פד"ח/ק"ג ח"י), מה שמעיד על "כושר עמידות אירובית" טוב יותר; רמת החש"נ הגבוהה שהתקבלה בטיפול זה, תומכת אף היא בתכונה זו. הטבלה הבאה מרכזת חלק מהפרמטרים החשובים שהתקבלו בעבודה, המשקפים את תחמיצי ששת הטיפולים.

| הטיפול  | פחת ח"י %          | ליגנין, % (ADL) | נעכלות ח"י <sup>1</sup> % | נעכלות NDF % <sup>2</sup> | חומצה אצטית, %    | pH בפתיחה | pH בחשיפה <sup>3</sup> | יצור פד"ח ג'/ק"ג ח"י <sup>4</sup> |
|---|--------------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|-----------|------------------------|-----------------------------------|
| 1   | 2.93 <sup>ab</sup> | 4.97            | 63.1                      | 50.0                      | 1.50 <sup>b</sup> | 3.87      | 4.91 <sup>abc</sup>    | 33.2 <sup>a</sup>                 |
| 2   | 1.48 <sup>b</sup>  | 5.06            | 62.1                      | 48.3                      | 1.61 <sup>b</sup> | 3.88      | 4.34 <sup>bc</sup>     | 39.0 <sup>a</sup>                 |
| 3   | 4.17 <sup>a</sup>  | 5.00            | 62.7                      | 49.3                      | 2.28 <sup>a</sup> | 3.84      | 3.87 <sup>c</sup>      | 9.96 <sup>b</sup>                 |
| 4   | 2.62 <sup>ab</sup> | 4.93            | 63.0                      | 51.8                      | 1.24 <sup>b</sup> | 3.88      | 6.52 <sup>a</sup>      | 45.4 <sup>a</sup>                 |
| 5   | 3.17 <sup>ab</sup> | 4.93            | 63.3                      | 49.3                      | 1.13 <sup>b</sup> | 3.88      | 4.45 <sup>bc</sup>     | 36.3 <sup>a</sup>                 |
| 6   | 3.24 <sup>ab</sup> | 5.40            | 63.8                      | 50.6                      | 1.54 <sup>b</sup> | 3.86      | 5.73 <sup>ab</sup>     | 43.4 <sup>a</sup>                 |
| שת"מ  | 0.12               | 0.09            | 0.16                      | 0.31                      | 0.0004            | 0.004     | 0.09                   | 0.91                              |
| P   | 0.04               | 0.94            | 0.64                      | 0.54                      | 0.03              | 0.53      | 0.003                  | 0.0004                            |
| הטיפולים: 1=קופולק, 2=אולטק, 3=סילוגארד, 4=רגולטור, 5=סילוקינג, 6=ביקורת ללא תוסף |                    |                 |                           |                           |                   |           |                        |                                   |
| א = לאחר חשיפה אירובית של 5 ימים; ב = נעכלות בכרס מלאכותית לפי שיטת טילי וטרי     |                    |                 |                           |                           |                   |           |                        |                                   |
| ערכים באותו טור המסומנים באותיות שונות נבדלים באופן מובהק, p<0.05                 |                    |                 |                           |                           |                   |           |                        |                                   |

**לסיכום:** ההחמצה בעבודה זו הושם דגש על הכנת תחמיצים בתנאים מיטביים, ואכן, כל התחמיצים היו באיכות מעולה, ללא קשר לתוסף. בתנאים אלו, ובניגוד לגישה הרווחת, תרומת התוספים לאיכות התחמיץ הייתה שולית ביותר. התוספים לא השפיעו על ההרכב הכימי, ככלל ועל הליגנין בפרט. כמו כן לא השפיעו על נעכלות הח"י, ובמיוחד על נעכלות מקטע ה-NDF, זאת בניגוד גמור להכרזות של חלק מהמשווקים. מאידך, בלט התוסף סילוגארד, בשיעור פחת ח"י גבוה יותר בהחמצה, אך בעמידות אירובית טובה יותר, במבחן חשיפה לאוויר של 5 ימים. חשיפה כה ממושכת זו רלוונטית חלקית למרכזי מזון קטנים, ופחות רלוונטית למרכזי מזון גדולים בהם קצב השימוש היומי בתחמיץ גבוה, ומשך החשיפה של חתך הכרייה לאוויר קטן באופן יחסי.

## השפעת תוספי תחמיץ לירק חיטה, על ההרכב הכימי, הנעכלות, פרופיל ההחמצה והעמידות לחשיפה אירובית של התחמיץ

ר. סולומון<sup>1</sup>, ג. עדין<sup>1</sup>, ש. רווח<sup>2</sup>, ג. ארונסון<sup>2</sup>, מ. וסר<sup>3</sup>, י. חן<sup>4</sup> וצ. ויינברג<sup>4</sup>

1 – שה"מ, המחלקה לבקר; 2 – רופין, ב"ס להנדסאים; 3 – רפת נירים; 3 – מינהל המחקר החקלאי, היחידה לשימור מספוא; דוח מסכם פרויקט (870-1467-06), מוגש לקרן המחקר של מועצת החלב  
**רקע כללי:** תחמיץ חיטה מהווים את עיקר המזון הגס במנת חולבות בישראל. מחירם של תחמיצי החיטה גבוה - כ-150-160 \$ לטון חומר יבש (ח"י) בבור התחמיץ. לצורך קבלת ייעול תהליך ההחמצה, וקבלת תחמיץ חיטה איכותי יותר מקובל בחלק ניכר מהמשקים להוסיף לירק החיטה תוספים שונים, אשר אמורים לשפר את ההחמצה, את התחמיץ, ואת ביצועי הבקר הניזון ממנו. עלות תוספים אלה היא רבה – כ-5-7% ממחיר התחמיץ הסופי, אן עד כ-10% ממחיר חומר המוצא. העבודה הנכחית באה לבדוק את ההשפעה של תוספים אלו, המשווקים כיום בארץ, על איכות התחמיצים, בתנאים מבוקרים, חצי משקים.

### מבוא

**מערכת העיכול של מעלי הגירה ומקומו של המזון הגס בסל המזונות של הפרה גבוהת התנובה:**

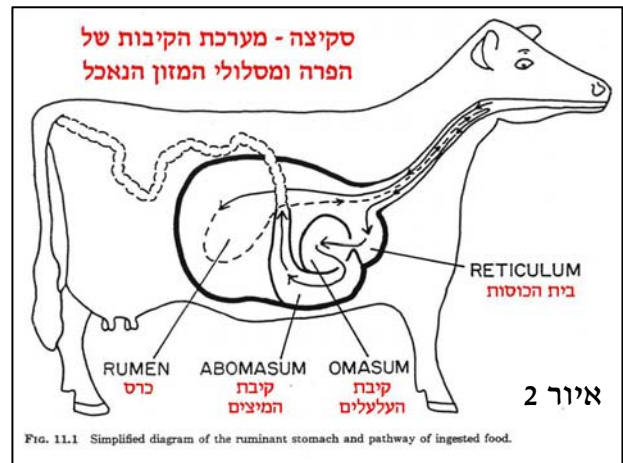
ההתפתחות ההיסטורית של המין האנושי קשורה קשר אמיץ בבע"ח מעלי גירה (מע"ג). בקר נפוץ מאוד בארצות ממוזגות, כבשים, עיזים וגמלים באזורים יבשים ומדבריים, האייל באזורים קרים ביותר, הלאמה והאלפאקה באזורים הגבוהים של הרי האנדים. בני אדם שהתגוררו באזורים הללו התקיימו במידה רבה בזכות מעלי גירה אלו, בהפיקם מהם מגוון של מוצרים: חלב, בשר, עורות, צמר, וכלי שימושיים. היכולת המופלאה של מע"ג להתקיים באזורים כה שונים באופיים נעוצה במבנה המיוחד של מערכת העיכול שלהם, וביכולתם לנצל מזונות שוליים, שאינם נצרכים ע"י בני האדם (1, 2).

מערכת העיכול של מע"ג בנויה מ-4 קיבות, כמתואר באיורים 1 ו-2: כרס (rumen), בית הכוסות (רטיקולום), קיבת העלעלים (אומסום) וקיבת המיצים (אבומסום). הקיבה הרביעית מתפקדת כמו הקיבה היחידה של בע"ח מונוגסטרים (חד קיבתיים); מאיזך, שתי הקיבות הראשונות (רטיקולו-רומן) מתפקדות כמקשה אחת ומשמשות כמיכל תסיסה אנאירובי, בו חיים סוגים רבים של חיידקים,



פרוטוזואה ופטריית, המפרישים אנזימים המפרקים את אבות המזון (חלבונים, פחמימות ושומנים) של המזון הנאכל ע"י הפרה; מרבית תוצרי הפירוק של המזון בקיבות אלו נספגים, ומשמשים את הפרה כמקור לאנרגיה, וכאבני בניין לאבות מזון הנדרשים לקיום, גדילה וייצור; חלק ממיקרואורגניזמים מצוידים במערכות אנזימאטיות היודעות לפרק את פחמימות דופן התא הצמחי (צלולוזה והמיצלולוזה), אנזימים אשר חסרים בתאי הגוף של כל היצורים העילאיים ככלל, ויונקים בפרט, מה שהופך את מע"ג למיוחדים ביכולתם לנצל מזון צמחי עליו שאר היונקים אינם מתחרים או מתחרים חלקית בלבד. מערכת

זו של שיתוף ותרומה הדדית היא מהמערכות הסימביוטיות המופלאות ביותר הקיימות בטבע. במערכת זו, הפרה תורמת למק"א את התנאים המיוחדים הנדרשים להם לצרכי ריבוי מסיבי, כמו מחסור בחמצן, אספקת מזון ונוזלים מתמדת, pH הגבוה מ-6, סביבה נוזלית, ספיגת התוצרים והרחקתם למניעת היזון חוזר שלילי ועוד; בתמורה, המק"א מקנים למע"ג יכולת ניצול מזון צמחי, אי תלות בוויטמין B, יכול סינטז חלבון ממקורות לא חלבוניים



כמו אמוניה ואוריאה, ותחום מחייה רחב ביותר (איור 3). גופי החיידקים שנוצרו ברטיקולו-רומן, זורמים למעי, שם הם מפורקים ע"י האנזימים של הפרה. היות וגוף המק"א מורכב מכ-60% חלבון, כשני שלישי

מהחלבון המסופק לפרה במעי מקורו במק"א אלו. תוצרי הפירוק של המזון בכרס הם בעיקר חומצות שומן נדיפות, וחומצות אורגניות אחרות, לכן, ללא תמיכת הפרה, וסתירת החומצות הנוצרות במהלך התסיסה, החומציות בכרס הייתה עולה (ה- pH יורד) לרמה שהיה מביא למות המק"א, ובהמשך להפסק תפקוד מערכת העיכול ולמות הפרה. המנגנון המאפשר שמירת ה-pH בתחום האופטימאלי לגדילה וריבוי של החיידקים (6-7), הוא מנגנון העלאת הגירה,

| יתרונות עבור מק"א   | יתרונות עבור המק"א  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>ניצול דופן התא הצמחי</li> <li>כמקור לאנרגיה ע"י פירוק הצלולזה וההמיצלולזה</li> <li>יצירת חלבון מיקרוביאלי מ-NPN - הפחתת התלות של הפונדקאי בחומצות אמינו</li> <li>סינטז ויטמינים מקבוצת B</li> <li>למע"ג טווח מחיה רחב יותר מאשר לחד קיבתיים</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>מיכל תסיסה גדול</li> <li>טמפרטורה מבוקרת</li> <li>לחות מבוקרת</li> <li>pH אופטימאלי ומבוקר (&lt;6)</li> <li>אספקה קבועה של מזינים</li> <li>עירבול מתמיד של המזון</li> <li>גריסת המזון והרטבתו</li> <li>סילוק מוצרי תסיסה מעכבים</li> <li>– ספיגה, הפרשה, ניצול ע"י מק"א</li> <li>תוצאה: כ-200 סוגי חיידקים (10<sup>11</sup>/מ"ל); כ-20 סוגי פרוטוזואה (10<sup>6</sup>/מ"ל); חיים בשת"פ והרמוניה</li> </ul> |

איור 3

אשר כתוצאה ממנו חלה הפרשת רוק מסיבית, העשויה להגיע לרמה של כ-150-200 ליטר/יום/פרה. רוק זה המיוצר על ידי הפרה, מכיל בופרים (חומרים סותרים חומציות – בעיקר סודה ביקרבונאט), אשר סותרים את החומצות הנוצרות בתהליכי הפירוק, ושומרים על pH בתחום הרצוי. לצורך פעילות העלאת גירה תקינה (כמתואר באיור 2 - לעיסת המזון, בליעתו, העלאתו חזרה לפה, טחינתו מחדש, בליעתו עד גודל המאפשר לו לעזוב את הרטיקולו-רומן) יש צורך באביסת הפרה במזונות גסים, אשר בנויים מסיבים ארוכים, הגורמים לגירוי להעלאת הגירה. רמה נאותה של מזון גס במנת הפרה הוא צורך הכרחי שבלעדיו תפגע העלאת הגירה, הפרשת הרוק, סתירת החומצות האורגניות הנוצרות בכרס, פגיעה בתפקוד מערכת העיכול, בעיכול המזונות, בבריאות הפרה ובייצור (1, 3, 4).

### המזונות הגסים - אפיון:

מרבית המזונות הגסים מאופיינים בתכולת NDF הגבוהה מ-35-45% (פרמטר כימי הנבדק במעבדה, והמגדיר את סה"כ הצלולוזה, ההמיצלולוזה והליגנין במצויים בחומר) ויכול להגיע בקש לסוגיו לרמות של כ-80%. אולם תכולת ה-NDF אינה מספקת, משום שלצורך היות המזון "מזון גס" הוא חייב להיות בעל אורך חלקיקים מספיק גדול על מנת לעורר את מנגנון הלעיסה, העלאת הגירה והפרשת הרוק של

הפרה. ברמה הפרקטית, אורך הסיב במזונות הגסים, בזמן ההגשה הוא לפחות כ-4-5 ס"מ. השוני בין המזונות הגסים יכול להתבטא במועד בו נקצרו, ומקובל שככל שהצמח נקצר צעיר יותר, תכולת ה-NDF במקטע הצמחי שלו נמוכה יותר, נעכלותו גדולה יותר (60-70%), וכך גם ערכו התזונתי; באותו עניין, קש - החומר הנותר בשדה לאחר איסוף הזרעים – מכיל רמה גבוהה של NDF, נעכלות נמוכה יותר (35-45%) וערך תזונתי ירוד. פרמטר אחר המבדיל בין המזונות הגסים הוא שיטת השימור שלהם: נתן להשתמש להזנת הבקר בירק – הוא החומר הטבעי הנקצר בשדה, אך ניתן להשתמש גם בחומר המשומר אשר יכול להיות חציר – ירק אשר עבר שימור על ידי הקמלתו וייבושו לרמת רטיבות קטנה מ-15%; או תחמיץ – שימור על ידי החמצה - חיידקים לקטובציליים, בתנאים אנאירוביים, הופכים סוכרים המצויים בירק לחומצות אורגניות, המורידות את ה-pH לערך סביב 4, בו נשמר החומר מפני קלקול על ידי מק"א גורמי ריקבון, כעובשים ופטריות. החציר והתחמיץ הם שתי שיטות השימור במקובלות ביותר בממשק האינטנסיבי של גידול בקר יצרני (4, 5).

דוגמאות למזונות גסים בהם נעשה שימוש בהזנת פרת החלב ברפת הישראלית (קש, חציר ותחמיץ): קש למיניו - חיטה, תירס, סורגום, כותנה, חומוס, תלתן; חציר ממקור דגניים כמו חיטה, שיבולת שועל; חציר קטנית כמו אפונה, בקיה, תלתן ואספסת. התחמיץ העיקרי בו נעשה שימוש בהזנת הפרת הישראלית הוא תחמיץ החיטה, כשאחריו באים בחשיבותם תחמיץ התירס והסורגום. היות ונשוא עבודה זו הוא תחמיץ חיטה, בהמשך יושם דגש על התחמיצים.

#### הסיבות עיקריות לשימור מספוא הן:

1- השימור מאפשר להחזיק דרך קבע מלאי זמין של מספוא גס. מלאי כזה נחוץ במשק מודרני של בע"ח, כדי להבטיח רצף האבסה תקינה גם במקרים של תקלות בלתי צפויות (כגון: תקלות באספקה, מחלות או מזיקים). המספוא שבמלאי צריך להיות משומר ומאוחסן באופן שערכיו התזונתיים לא ייפגמו במשך האחסון. 2 - במשק מודרני זקוק הבקר לאספקה סדירה וקבועה של מספוא גס באיכות הטובה ביותר האפשרית, במיוחד פרת החלב גבוהת התנובה. כדי לעמוד במשימה זו יש לקצור את המספוא הגס במועד בו הוא באיכות הטובה ביותר, לקבע איכות זו לאורך זמן, ולהאבסו בתקופה ממושכת ככל שניתן. זאת ניתן לעשות רק ע"י שימורו, משום שקשה להבטיח אספקה רצופה של מזון טרי (לדוגמא, ירק הנקצר על בסיס יומי), כיוון שתפוקת המספוא בשדה משתנה לפי עונות השנה ולפי מזג האוויר. יובש הצפה, מזיקים, טמפרטורות נמוכות או גבוהות מדי – כל אלה עשויים לפגוע ביבולי המספוא הטרי, ובאיכותו התזונתית. מספוא משומר הכרחי אפוא כדי לעבור בשלום עונות מחסור. 3 - השימור מאפשר לגדל מספוא בעונות השנה המתאימות ביותר, הן מבחינת הצמח, והן מבחינת הקציר, הייבוש לחציר או ההקמלה והחמצה לתחמיץ. לכן, שימור מספוא מאפשר ניצול מרבי של יתרון העונה הטובה, בעונה כזאת מכינים כמות עודפת, ומשמרים את העודפים לשימוש בעונה הפחות נוחה. 4 - השימור מאפשר לגדל מספוא באזורים המתאימים ביותר. כל צמח יתפתח ביתר הצלחה באזור המתאים לו ביותר מבחינת תנאי הגידול. אם נדע לנצל את היתרון היחסי של כל צמח באזורו, נוכל לייצר עודפי מספוא ולשווקם באזורים שתנאיהם גרועים יותר. שימור נאות יבטיח שהמספוא יגיע ליעדו ראוי להאבסה ורמה גבוהה של ערכים תזונתיים (6, 7).

העקרונות הטכנולוגיים הבסיסיים של שימור מזון לאדם חלים במלואם גם על שימור מספוא להזנת בע"ח. העקרונות הכימיים והמיקרוביולוגיים זהים בשני המקרים. בעת שימור מזון – בין אם נועד לאדם

או לבהמה – עלינו להבטיח שהמוצר המשומר יהיה ראוי למאכל, ישמר את ערכיו התזונתיים, את מבנהו ואת המרקם לו. לצורך זה עלינו לדאוג לתנאי ייצור ושימור הולמים. כדי לשמר מזון כלשהו יש הכרח למנוע או לעכב את פעילות האנזימים הקיימים במוצר עצמו מחד, ומאיך, יש לעכב ולמנוע פעילותם של גורמים מזיקים חיצוניים, כגון חיידקים, פטריות/עובשים ושמרים, אשר פעילותם גורמת לריקבון וקלקול המזון.

טכנולוגיות שונות של שימור מבוססות על עיכוב הגדילה והריבוי, ופעילותם האנזימאטית של המק"א גורמי הקלקול: 1- ייבוש: המק"א אינם יכולים להתפתח על מזונות המכילים פחות מכ-10% מים. לדוגמא – פירות יבשים, חציר. 2 - המלחה: פגיעה בהתפתחות המק"א והפעילות האנזימאטית שלהם עקב שינוי הלחץ האוסמוטי. דוגמא – שימורי בשר ודגים. 3 - המתקה: כמו המלח, גם הסוכר גורם לשינוי אוסמוטי במונע ריבוי ופעילות מק"א. דוגמא – ריבה, חלב ממותק, דבש. 4 – קירור או הקפאה: הטמפרטורה הנמוכה מאיטה את פעילות האנזימים ומונעת את התפתחותם של מיקרואורגניזמים. המוצר יישמר כל עוד הטמפרטורה נמוכה. בדרך זו משמרים בשר, דגים וירקות קפואים. 5 - הקרנה: הקרנה גורמת להריסת אנזימים ולקטילת מיקרואורגניזמים המצויים במזון. המוצר יישמר כל עוד לא הזדהם מחדש. 6 - תוספים כימיים משמרים: הוספת חומרים כאלה מונעת התפתחות במק"א המזיקים במזון. לדוגמא - חומצה סורבית, חומצה בנזואית, חומצה פורמית, גופרית דו חמצנית. 7 - החמצה: בשיטה זו מגבירים את חמיצות המוצר. חמיצות גבוהה (כלומר, pH נמוך) מעכבת את פעילות האנזימים ומונעת התפתחות של מיקרואורגניזמים. המוצר יישמר כל עוד החמיצות תהיה גבוהה (pH של 3-4). תחמיץ ברפת, וירקות כבושים בחומץ, או מוחמצים באופן טבעי (כרוב ומלפפונים חמוצים) הם דוגמאות לשיטת שימור זו. במרבית הטכנולוגיות הנ"ל נעשה שימוש במהלך שימוש מזון הומאני. בממשק הזנת הפרות ברפת מתבצעים שני תהליכי שימור עיקריים של מספוא גס, הנקצר כירק, ברמת רטיבות של כ-75-85% מים: 1 – הקמלה ויבוש בשדה, לקבלת חציר/שחת לרמה של כ-14% רטיבות וכבישתו לבלות; 2 - הבאת הירק לרפת, הכנסתו לבורות בטון, הידוקו והחמצתו לקבלת תחמיץ ברמת רטיבות של כ-60-70% מים, ו-pH חומצי הנע סביב 4 (6, 7, 10). בהמשך, תפורט טכנולוגיה זו.

#### עקרונות ההחמצה:

הבאת ירק המוצא לתנאים של מחסור בחמצן; תנאים אלו מועדפים על אוכלוסיות חיידקים לקטובציליים, הנמצאים במצב רדום על פני הצמח בתנאי רגילים. בתנאים האנאירוביים מתרבים החיידקים הללו, תוך ניצול סוכרים הקיימים בירק, ויצירת חומצות אורגניות, בעיקר חומצה לקטית. התוצאה – ירידת ה-pH לרמה של סביב 4, הפסקת הפעילות של המק"א, ושימור החומר בפני גורמי קלקול, כל עוד אינו נחשף לחמצן.

הדרישות הבסיסיות מירק מספוא גס, כחומר המיועד להחמצה, לצורך קבלת תחמיץ איכותי הן: 1 – רמה מספקת של סוכרים מסיסים במים (WSC-water soluble carbohydrates), אשר תשמש אצל החיידקים הלקטובציליים כמזון וחומר המוצא ליצירת החומצות האורגניות (6-8%); 2 – שיעור רטיבות המתאים לריבוי מיטבי של חיידקים, הנע בין 60-70%; 3 – כושר בופרי (התרסה) נמוך (Buffer capacity), דהיינו, כושר נמוך של החומר למתן, או למנוע את ירידת ה-pH; לרוב, רמת חלבון ומינרלים גבוהות מגדילים את הכושר הבופרי, ואכן, קטניות בהן רמות החלבון והמינרלים גבוהים, ידועות כצמחי מספוא שקשה

להחמיצים; 4 – מטען הולם ומספק של חיידקים לקטובצילים על הצמח בעת הקציר (מבוטא כמספר מושבות לק"ג חומר יבש ירק). חיידקים אלו יהוו את הבסיס לריבוי ויצירת המושבות בתנאים האנאירוביים במהלך ההחמצה. פרמטרים האלה הם פרמטרים מדידים, ומקובלים גם ברמה המשקית, ומשמשים לבחינת התאמתו של חומר המוצא לתחמיץ (6, 7) .

### השלבים העיקריים בהכנת תחמיץ:

כפי שחזקה של שרשרת רבת חוליות נקבע על פי החוליה החלשה, כך גם הכנת תחמיץ כוללת כמה שלבים המצריכים עשייה קפדנית; רשלנות בשלב אחד, עלולה לפגום בתהליך כולו. מרבית השלבים שיתוארו בהמשך (5-1, 7-9) היו נדבך בעבודה הנכחית, ומכאן הצורך בפירוט עקרונות ההחמצה ומעריך חוליות השרשרת שיובאו בהמשך. שרשרת הכנת תחמיץ בנויה מ-10 חוליות חשובות: 1- בחירת חומר המוצא; 2 – קציר; 3 – הקמלה; 4 – קיצוץ; 5 – העשרה; 6 – הובלה; 7 – הידוק; 8 – איטום; 9 – כרייה ושימוש; 10 – תזמון.

1- בחירת חומר המוצא: בישראל, תחמיצי החיטה (חורפיים) מהווים כשני שלישי מכלל התחמיצים בהם נעשה שימוש בעדר הבקר, והשאר – התחמיצים הקיציים – תירס וסורגום.

כל דגני החורף – חיטה, שעורה, שיבולת שועל ושיפון יכולים לשמש כמספוא גס ואפשר גם לשמרם כתחמיץ; מביניהם, המתאים והשכיח ביותר בתנאי הארץ הוא תחמיץ החיטה. לצמחי מספוא חורפיים יתרונות חשובים בעיקר בתנאי ארצנו: גידולם מבוסס על ניצול מי גשמים, הם מונעים סחף קרקע, כך שאחרי הקציר אפשר לנצל את הקרקע גם לגידול קיצי. לחומר המוצא – ירק החיטה מספר מאפיינים (כימיים ופיזיקאליים) המכשירים אותו הן להחמצה איכותית והן כמזון גס המתאים להזנת עדר החלב גבה התנובה. מאפיינים אלו הם:

א. תכולת מים: ירק החיטה נקצר לרוב בשיעור חומר יבש של 25-30%, תלוי בזן, מועד הקציר, המשקעים, והאזור האקלימי בו הוא גדל. התכולה המיטבית לצורך ההחמצה היא 32-38%. לכן לרוב לא נקצר צמח החיטה ישירות ומובא להחמצה, אלא נדרשת הקמלתו לאחר הקציר והבאתו לרמה המתאימה להתפתחות חיידקי חומצת החלב. במידה החומר יבש מדי, רב הסיכוי שיתפתחו בו שמרים ופטריות, וכאשר רטוב מידי – יתפתחו חיידקי קלוסטרידיה. מבנהו האנטומי של צמח החיטה – גבעולו הדק והחלול – מאפשר איבוד מים מהיר מהצמח והקמלה מהירה. לשיעור רטיבות מיטבי חשיבות מבחינות נוספות: צמח יבש מידי יגרום לקשיים בהידוקו בעת ההחמצה (קפיציות יתר) ולהישארות אוויר בין חלקיקיו, מאידך, רטיבות יתר, עלולה לגרום להיווצרות נגר. ב. פחמימות: בירק מוצא לתחמיץ ככלל, ובירק חיטה בפרט ניתן להבחין בין 2 קבוצות של פחמימות: 1 – כאלו הבונות את דופן התא הצמחי (צלולוזה, המיצלולוזה ופקטין); וכן חמרי תשמורת, כעמילן. מרכיביהן הסוכריים של פחמימות אלו אינן משתתפים בתהליך ההחמצה. 2 – פחמימות מסיסות במים (WSC), כמו גלוקוזה, פרוקטוזה, סוכרוז, אשר הן אלו המותססות ע"י חיידקי חומצות החלב. לרוב צמח החיטה בעת הקציר מכיל ריכוז אופטימאלי של סוכרים מסיסים לצורך החמצה. ג. חלבונים, מינרלים וכושר התרסה: חלבון ומינרלים טבעיים של הצמח, מהווים מרכיב תזונתי חשוב, אולם ריכוז גבוה שלהן בצמח המוצא גורם לעלייה בכושר ההתרסה, לעיכוב בקצב ירידת ה-pH, לכן נחשבים כגורם שלילי מבחינת תהליך התסיסה. ריכוז החלבון בירק החיטה נע בין 8-9 ל-10-11%, בהתאם למועד הקציר, וריכוז האפר כ-8-10%, ושניהם נמצאים בתחום בו אינם מהווה גורם בעל כושר התרסה גבוה. ד. מטען המיקרואורגניזם: הצמחים המובאים מן השדה נושאים עמם מטען של

מיקרואורגניזמים אפייטיים (המצויים באופן טבעי על פני הצמח). שעורם תלוי בצמח אך גם בתנאי הסביבה - טמפרטורה, לחות ומידת החשיפה לקרינה. המיקרואורגניזמים האלה עשויים להשפיע על תהליך ההחמצה. השפעתם בעיקרית היא בשלבי ההחמצה הראשונים, ובעת הכרייה, כשהתחמיץ חשוף לאוויר. יכולתנו להשפיע לטובה על מטען המיקרואורגניזמים המובאים לבור התחמיץ, היא במניעת זיהום הירק בקרקע, או בעשבי בר. קיצוץ הירק קודם להחמצתו שובר את התאים, ומוהל התא המשתחרר מעורר חיידקים רדומים, כך שריכוז החיידקים בצמח המקוצץ גבוה יותר. בתנאי הארץ מקובל שאין מחסור בחיידקים לקטובצילים על הצמח, קודם להחמצה; חלק מהתוספים הנמכרים כמשפרי החמצה, מבוססים על תוספת חיידקים כאלו לירק, האמורים לזרז את השלב הראשוני של יצירת אוכלוסיית לקטובצילים מסיבית, ומעבר מהיר לשלב יצירת החומצות האורגניות.

2. קציר: קבלת ההחלטה לקביעת מועד הקציר של הצמח להחמצה מותנית ב-2 גורמים עיקריים - שלב ההבשלה; גורמים ממשקיים. מועד הקציר האופטימאלי הינו תמיד פשרה בין הנטייה של המגדל לאחר בקציר כדי לקבל יבול גבוה ליחידת שטח, ובין רצונו של הרפתן לקבל חומר צעיר יותר, פחות מלוגנן, בעל שעור נעכלות דופן תא גבוה יותר. בנוסף, מועד הקציר תלוי בהערכות של מערך הקציר האזורי, במזג האוויר המאפשר כניסה לשטח (גשמים בלתי צפויים - אדמה רטובה) ועוד. מקובל שירק החיטה נקצר בתחום שבין פריחה ותחילת מילוי הגרעין (סוף שלב החלב). גובה הקציר הינו גורם חשוב - הימצאותם של אבנים, גושי עפר, שדה שלא הוכן כהלכה או שטח לא ישר, וכן, שלף מהשנה הקודמת, כל אלה מחייבים ביצוע קציר גבוה יותר. קציר נמוך מדי עשוי לזהם את הירק בכמויות גדולות של אדמה, מה שמקטין את ריכוז החומר האורגני, מעלה את כושר ההתרסה ואת מטען חיידקי הקלוסטרדיה, אשר אינם תורמים להחמצה.

3. הקמלה: הקמלה משמעותה, ייבוש חלקי של ירק המספוא בשדה על מנת להביאו לרמת חומר יבש וסוכרים שתתאים להחמצה, וכן לריבוי אופטימאלי של החיידקים הלקטובצילים. הקמלה מתאימה תמנע נגר. כנאמר קודם, ירק החיטה מוקמל לרוב לרמה של 32%-38%. מהירות ההקמלה קשורה במזג האוויר (קרינה, טמפרטורה, רוח), סוג ומבנה הצמח, היבול וגובה האומן ופיזורו (אומן=ערימת החומר הקצור) ועוד. הקמלה ממושכת תביא להפסדים, היום ותאי הצמח ממשיכים לנשום, "לשרוף" סוכרים זמינים ולפרקם לפחמן דו חמצני ומים. מכאן הצורך לצמצם את ההקמלה למינימום הנדרש. כאשר ההקמלה לא מיטבית, ושעור הח"ד בצמח המוחמץ נמוך מ-30%, נוצר נגר (נוזל היוצא מבור התחמיץ). שעור הנגר גובר ככל שחלקיקי הירק קטנים יותר ועוצמת ההידוק גבוהה יותר. מגרעות הנגר הם בזיהום הסביבתי שהוא יוצר, ובהפסד מזינים מסיסים, שנעכלותם גבוהה, כמו חלבון, סוכרים ומינרלים (כ-5%).

4. קיצוץ: לאחר ההקמלה של צמח החיטה, מורם הירק המוקמל ע"י הקומביין, מקוצץ, ומועבר למשאית ולבור. שני גורמים עיקריים משפיעים על קביעת אורך הקיצוץ: גורמים הקשורים בהחמצה וגורמים תזונתיים. מבחינת ההחמצה, ככל שהירק יהיה רטוב יותר, ומקוצץ יותר, הידוקו יהיה טוב יותר. הידוק מיטבי חשוב להבאת הירק בבור לתנאים אנאירובים במהירות האפשרית. ירק יבש עם פיסות ארוכות, קפיצי יותר, מה שמקשה מאד על הידוקו בבור. בנוסף, ירק ארוך סיב, תופס נפח גדול יותר, ומגביר עלות ההובלה, ומקטין את כמות התחמיץ בבור בעל נפח נתון. מאידך, קיצוץ דק של ירק מצריך יותר אנרגיה, מאט את קצב עבודת הקומביין, מייקר את העבודה ומעלה את שיעור הנגר. שיקול נוסף הנוגע לאורך הסיב הוא צרכי פרת החלב לסיב ארוך. היות ותחמיץ החיטה הוא המזון הגס העיקרי של מנות החולבות, אורך הסיב צריך לספק את הצרכים הפיזיקאליים הדרושים להעלאת גירה והפרשת רוק.



במידה ומעוניינים לעשות שימוש בתוספים משפרי תחמיץ, שלב הקיצוץ הוא שלב המתאים ביותר להוספת חומרים אלו, ע"י פיזורם ההומוגני, או בהתזת התוסף הנוזלי על סכיני החיתוך, או פיזורו כאבקה לתוך תוף הקיצוץ. בשוק קיימים כיום כ-5 סוגים שונים של תוספי ירק לתחמיץ, בעלי עקרונות פעולה מוצהרים על ידי היצרן, אשר בהם מעשה שימוש בעבודה הנכחית (הרחבה בפרק החומרים והשיטות). בעיקרון, התוספים מחולקים לקבוצות העיקריות הבאות: 1. חומרים מעודדי תסיסה: הכוונה בעיקר לתוספת של חיידקים לקטובצילים, וכן, אנזימים צלולוליטיים, הממיסים את סוכרי דופן התא, ומוסיפים בכך סוכרים זמינים לתהליך ההחמצה; 2. חומרים מעכבים: לתוספים מקבוצה זו יעוד עיקרי לעכב את התפתחות של מק"א בלתי רצויים (חיידקים, פטריות ושמרים). חומרים מקבוצה זו הם שונים, בעיקר חומצות אורגניות או חומרים נוגדי פטריות.

6. הובלה: בשלב זה מעבירים את הירק המוקמל והמקוצץ אל בור ההחמצה. לצורך קיצור הזמן על ההגעה לבור, יש להקפיד על איכות הדרך ומהירות הנסיעה, על המרחק מהשדה לבור התחמיץ, ועל תכנון נכון של קיבולת יחידת ההובלה. המטרה היא להביא את החומר במהירות האפשרית לבור (על מנת לצמצם המשך הנשימה של תאי הצמח), וכן, צמצום עלות ההובלה ככל שניתן. מאידך, יש למנוע מצב שהחומר המובא אל הבור ימתיק זמן רב להידוקו עקב מגבלת כלים מהדקים בבור. מכאן החשיבות של סנכרון נאות בין קצב הגעת המשאיות המביאות ירק לבור, לבין קצב ההדוק על ידי הכלים הכבדים המפזרים והמהדקים.

7. הידוק: עם הגיע המשאיות לבור, הירק נפרק בערימה לרוב על משטח בטון צמוד לבור, ומשם מתחיל הפיזור, מילוי הבור וההדוק ע"י טרקטורים. ניתן קודם לפיזור, לפזר תוספים ישירות על הערמה במינון המתאים; ערבובם יתבצע המהלך פיזור הירק בבור. הידוק היא פעולת דחיסת פיסות הירק, צמצום נפח האוויר המצוי בין חלקיקיו, זאת על מנת להגיע לתנאים אנאירוביים במהירות המקסימאלית. פיסות ירק במצב לא מהודק יכולו יותר אוויר בין חלקיהן דבר שיאריך את משך זמן נשימת הצמחים ופעילות המק"א האירוביים, וכתוצאה מכך יגדלו ההפסדים הכרוכים בנשימת הצמח. מחתך כרייה של תחמיץ שלא הודק כראוי, תהיה חדירת אוויר קלה ועמוקה יותר. במצבים קיצוניים בהם קצב חדירת האוויר גבוה מקצב השימוש בתחמיץ, בפועל יואבס תמיד תחמיץ באיכות ירודה. בבור התחמיץ ההידוק נעשה ע"י טרקטור גלגלים כבד, הנוסע הלוך ושוב, ומהדק בצורה סיסטמאטית, שכבה אחר שכבה. חשוב לדעת שעובי השכבה שניתן להדק בצורה יעילה היא בתחום של 30-50 ס"מ בלבד, לכן לא ניתן להשפיע ע"י הידוק על ירק הנמצא עמוק יותר. לכן שכבה מעופשת המתגלה בזמן הכרייה, היא תוצאה של הידוק לקוי של אותה שכבה. כנאמר לעיל, חשוב לסנכרן את קצב אספקת הירק לבור התחמיץ עם כושר ההידוק של הטרקטורים, כך שכל שיכבה שפוזרה תזכה להידוק מקסימאלי, קודם לפיזור שכבה חדשה.

במהלך מילוי הבור ועד תום המילוי ואטימתו, וכן ב-3-4 שבועות הראשונים לאחר שנאטם, מתרחשים בבור התהליכים הביולוגיים הבאים:

1. שלב הפעילות האירובית: בשלב הראשון עם הכנסת הירק למקום האחסון עדיין יש בין חלקיקי הירק אוויר המאפשר פעילות שלילית להחמצה, של מק"א אירוביים כמו חיידקים, שמרים ופטריות. גם האנזימים שבתאי הצמח, בעיקר אנזימי הנשימה ואלו מפרקי החלבון, פעילים במיוחד לאחר הקיצוץ כתוצאה מהרס דופן התא ושחרור מוהל התאים. בשלב זה יש עלייה דרמטית בטמפרטורה של הירק, בעיקר כאשר ההדוק אינו מיטבי. כתוצאה עלולה להתרחש ריאקציה כרמליזציה (מיילארד), בה בנוכחות

מים וטמפרטורה גבוהה, נקשרים סוכרים וחומצות אמינו בקשר בלתי הפיך, מה שפוגע בנעכלות החלבון של התחמיץ. מן הראוי לצמצם שלב זה ככל שניתן. תוספי תחמיץ, כמו מלחי חומצות אורגניות, אמורים לסייע בירידה מהירה של ה-pH ולמתן את השלב האירובי.

2. שלב הפעילות האנאירובית:

מרגע שנצרך כל החמצן שנלכד בין חלקיקי הירק, מתבססים תנאים אנאירוביים המעודדים ריבוי ושגשוג של החיידקים הלקטובציליים, העושים שימוש בסוכרים המסיסים בירק לצורך הפקת אנרגיה; התוצר הסופי של פעילות זו היא חומצה לקטית, חומצה חזקה המהווה את הגורם העיקרי להורדת ה-pH. בנוסף ללקטובציליים, מתרבים בתנאים אלו גם אנטרובקטריות (חיידקי מעיים), חיידקי קלוסטרדיה ושמרים. מטען המק"א שהובאו מהשדה, והתנאים שישררו בתחמיץ, יקבעו מי מהחיידקים יהפוך להיות האוכלוסייה הדומיננטית. תהליך התסיסה ימשך עד לשלב בו ה-pH יהיה כה נמוך עד כי תופסק פעילות החיידקים (3.8-4.3). משלב זה התחמיץ יישאר יציב, וללא שינויים מהותיים, כל זמן שלא יעשה בו שימוש, ותחל חדירת אוויר. בנוסף על חומצה לקטית נוצרים בתסיסה האנאירובית גם חומצות שומן נדיפות, (VFA Volatile Fatty Acid), בעיקר חומצה אצטית וחומצה פרופיונית), שלהם חשיבות בנאכלות ובעמידות האירובית של התחמיץ בעת הכרייה והשימוש בו.

8. איטום: תהליכי התסיסה ובהמשך כושר עמידות התחמיץ בזמן הכרייה מותנים באיכות ההידוק ובאיטומו בפני חדירת אוויר. הימצאות חמצן בתחמיץ ואפילו בריכוז הקטן מ-1%, מאפשרת התפתחות של פטריות ועובשים גורמי קלקול. כיסוי נעשה בד"כ ע"י יריעת פוליאאתילן העמידה מפני קרני UV, בעובי של 0.15-0.20 מ"מ, המקטינה את אפשרות חדירת האוויר לתחמיץ. כדי להבטיח שהיריעה תהיה צמודה לתחמיץ, מקובל לשים עליה צמיגים, פסולת אורגנית, פתיתי נייר או חומר כבד אחר. מתחת לפלסטיק מומלץ לפזר שכבת מלח על הירק (4-5 ק"ג/מ"ר), המשמש כחומר משמר המקטין הפסדים הנובעים מהמצאות אוויר מתחת לפלסטיק.

9. כרייה: בפעולה זו כורים את התחמיץ מהבור בהתאם לרמת צריכתו ברפת, חושפים אותו לאוויר ומבטלים את האמצעים בהם נקטנו כדי להגן עליו. הפעילות האירובית השלילית, של פטריות עובש ושמרים, מתרחשת על מחשף הכרייה, אך גם עמוק יותר פנימה עקב חדירת אוויר בעת טלטול התחמיץ, לכן, חשוב להקפיד שכריית התחמיץ תשאיר חתך חזית ישרה ובלתי מזועזעת. יציבות תחמיצים בתנאי חשיפה לאוויר, מבטאת את "חיי המדף" של התחמיץ. תחמיץ בלתי יציב יראה עליה מהירה בטמפרטורה וב-pH. פעילות הפטריות משחררת פד"ח (פחמן דו חמצני) וחום, כמתואר בנוסחה מטה, המתארת פירוק סוכרים בנוכחות חמצן:  $C_6H_{12}O_6 + 6CO_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 673 \text{ Kcal}$ ; עוצמת עליית הטמפרטורה ושיעור שחרור הפד"ח מהווים מדד טוב ליציבות האירובית של התחמיצים, וניתנים למדידה "במבחן חשיפה" בתנאי מעבדה. לכושר העמידות של התחמיץ בפני חשיפה אירובית חשיבות מיוחדת באקלים חם בו ריבוי העובשים מוגבר, ובנקודה זו חשיבות מיוחדת לתוספים האמורים לשפר את העמידות האירובית ע"י צמצום התפתחותם.

10. תזמון: מרבית הפעולות שתוארו בשלבים הקודמים חייבים להיות מתואמות, מהשדה ועד להאבסת התחמיץ באבוס, תוך הקפדה על כל פרט: קציר הירק והקמלתו, הובלתו לבור בקצב המתאים לקצב הידוקו בבור, תאום מספר הטרקטורים המהדקים, כיסוי בזמן ואיטומו (6, 7).

## חשיבות תחמיץ החיטה בהזנת רפת החלב והשימוש בתוספים:

בהזנת פרת החלב האינטנסיבית ככלל, ובתנאי הרפת הישראלית בפרט נעשה שימוש במזונות גסים משומרים בלבד. לתחמיצים במנת החולבת מקום נכבד ביותר – הללו מהווים כ-75% מכלל המזון הגס, וכ-25% ממזונה היומי של פרת החלב. כנאמר קודם, מבין התחמיצים (חיטה, תירס וסורגום) תחמיץ חיטה הינו העיקרי. במידי שנה נזרעים כ-220-250 אלף דונם חיטה לתחמיץ, וסה"כ היבול המתקבל הוא כ-220 אלף טון חומר יבש. משום הרצון התמידי להגביר את צריכת המזון של פרת החלב גבוהת התנובה מחד, ורגישותה הרבה לאיכות המזון המואבס מאידך, הולך ומשתפר ממשק הכנת תחמיצי החיטה בארץ משנה לשנה הן ברמת חומר המוצא להחמצה (מועד קציר, הקמלה, קיצוץ וכו') והן ברמת ממשק מילוי הבורות והכנת התחמיץ (הובלה, הידוק, כיסוי וכו'), ושילובו בבילל. כחלק מהשיפור המתמיד בממשק ההחמצה, גובר בארץ השימוש בתוספי תחמיץ למיניהם, כשמגוון התוספים העומד לרשות הרפתנים הוא רב. מחיר תחמיצי החיטה בארץ גבוה מאד - 150-140\$ לטון חומר יבש בבור (בשנים נורמאליות), ומכאן ההקפדה הרבה באשר לאיכות החומר המואבס והקטנת הפחיתים לסוגיהם: פחיתים הקשורים בשלב האירובי, כאלה הקשורים בשלב האנאירובי ופחיתים הנגרמים בעת השימוש בבור, בעקבות חשיפה לאוויר של אזור הכרייה.

בארץ נעשה שימוש כיום ב-5 תוספים שונים, שעל פי הצהרות היצרן ניתן לסווגם ל: 1 - אינוקולנטים (מכילים בעיקר חיידקים לקטובצילים); 2 - כאלה המכילים מלחי חומצות אורגניות; 3 - תערובת של שני הנ"ל. כמו כן, מכילים חלק מהתוספים (על פי הצהרות היצרן) אנזימים משני סוגים: מפרקי פחמימות דופן תא מתוך כוונה לשפר נעילות התחמיץ; מפרקי עמילן, לצורך הגברת ריכוז הסוכרים המסיסים ושיפור תהליך ההחמצה. עלות השימוש בתוספים נעה בין 5 ל-10\$/טון ח"י, שהיא 5-7% מעלות התחמיץ הכוללת - סכום נכבד לכל הדעות; עם זאת קיימים חילוקי דעות באשר ליחס עלות/תועלת, כאשר תצפיות/מחקרים הבאים לבחון סוגיה זו נדירים ביותר בתנאי הארץ, וכאלו שנעשו התבצעו בעיקר בצנצנות במעבדה, על ירק מוצא שקוצץ במקצצת מעבדתית, לרוב ללא הקמלה לרמת ח"י מיטבית כנהוג במשקים; גורמים אלו משקפים חלקית את חומר המוצא שנכנס לבורות התחמיץ בפועל בתנאי משק. בנוסף, וחשוב עוד יותר, בחינת תוספי התחמיץ, במרבית המקרים שנבדקו היו בהזמנת החברה המשווקת ובמימונה. מכאן הצורך בבדיקה מקיפה של כלל התוספים הקיימים, בתנאים הדומים ככל שניתן לאלו הקיימים במשקים בעת מילוי הבורות.

**חשיבותה וייחודה של העבודה:** העבודה בבסיסה אינה מחקר מדעי אלא מוגדרת כעבודת שדה יישומית הבאה לבחון פרמטרים כלכליים/תזונתיים, המטרידים את החקלאי בעבודתו היום יומית, ואת איש ההדרכה האמור לסייע לו באופטימיזציה של הייצור: האם להשתמש בתוסף לירק לצורך שיפור התחמיץ? ואם כן באיזה? האם הצהרת הספק אכן תואמת את אופיו של התוסף? האם קטנים פחתי ההחמצה מחד או משופרת הנעילות של דופן התא/החומר האורגני מאידך? במידה ואכן יש שיפור בתחמיץ, האם שיפור זה גדול מספיק על מנת לכסות עלות השימוש, או במילים אחרות – מהו היחס עלות תועלת של התוסף? היות ותוספים מהווים כ-5% מעלות התחמיץ בבור, לאי שימוש, או לשימוש מושכל בתוסף הנכון יש ערך כלכלי משמעותי – כ-10-7\$ לטון חומר יבש.

## מטרות העבודה

בחינת השפעת תוספי התחמיץ הקיימים כיום בארץ על איכות התחמיץ ברמת: א - ההרכב הכימי של התחמיץ בהשוואה לירק המוצא; ב - הפחת של החומר היבש והאורגני; ג - פרמטרים הקשורים בפרופיל תוצרי ההחמצה; ד - עמידות אירובית.

## חומרים ושיטות

### חומר המוצא:

נעשה שימוש בירק חיטה שנלקח בעת מילוי הבורות ברפת נירים. החיטה הייתה מזן שוהם וגליל (זנים מעורבים) והקציר נעשה בתאריך 8-9/03/06, בשלב מילוי גרעין של תחילת מילוי (חצי גרעין). הירק



הוקמל למשך כ-12 שעות, קוצץ ע"י קומביין והובא במשאיות מהשטח הקרוב לקיבוץ אל הבור. באיור 4 מוצגים האומנים של ירק החיטה, המוקמל, קודם להרמתו על ידי הקומביין והסעתו לבור התחמיץ ברפת נירים. היות ומיד לאחר הקציר שררו תנאי חמסין קשים (רוח מזרחית חזקה, טמפרטורות גבוהות), הגיע החומר המוקמל לבור ב% ח"י גבוה (כ-40%). אי לכך הוחלט לקצור בקציר ישיר, ללא הקמלה, שטח נוסף, אשר ישמש להרטבת החומר



שעבר הקמלת יתר. ירק זה הגיע לבור בשיעור ח"י של כ-28-30%. בעת מילוי בור התחמיץ ברפת נירים, עורבב החומר המוקמל עם הטרי לקבלת ערכי חומר יבש נורמטיביים להחמצה, סביב 34% (הערכה במישוש שהסתברה כמדויקת על פי הבדיקות המאוחרות). פעולה דומה בוצעה על החומר ששימש להחמצה עבור הניסוי, כדלקמן: 75 ק"ג חומר טרי בקציר ישיר עורבבו עם 75 ק"ג חומר מוקמל (שקילה במאזניים של 150 ק"ג, בסבבים של 30 ק"ג), על משטח בטון נקי (איורים 5 ו-6), בעזרת קלשון, למשך כ-10 דקות. 150 ק"ג של החומר המעורבב (איור 6, ערימה קטנה מרוחקת) שמשו כחומר המוצא, אליו הוספו תוספי התחמיץ השונים: 5 תוספים + ביקורת לא מטופלת.

טיפולים: נבחנו 5 תוספים - 1# – קופוסיל משווק בארץ ע"י "קופולק"; 2# - סיל-אול פיירגרד של חברת "אולטק", משווק בארץ ע"י א.ש. תוספים; 3#-סילוגארד, משווק בארץ ע"י ש.ח. מהנדסים; 4# - רגולטור, משווק בארץ ע"י "אסם-גדות"; 5# -סילוקינג, משווק בארץ ע"י "אחים שרר", וכן ביקורת ירק ללא תוסף (6#). התוספים נלקחו ישירות ממשקים אשר החליטו לרכשם, לא קשר ישיר לחברות המשווקות הנ"ל.

להלן נתונים שהתקבלו על ידי החברות, לגבי אופיים של התוספים המשווקים על ידם (על פי הצהרת החברות, ובאחריותם): **קופוסיל פלוס (1#)**: תוסף תחמיץ כימי המבוסס על תערובת מלחים אנאורגאניים המוגדרים GRAS (בטוחים לשימוש), המעכבים התפתחותם של פטריות, עובש ושמרים, והמעושרים באנזימים המפרקים פחמימות מורכבות לסוכרים פשוטים הזמינים לחיידקי חומצת החלב. **סילאול פיירגרד (2#)**: הינו תוסף ייחודי אשר נוסחתו באה לצמצם את הפעילות האירובית בתחמיץ. התוסף מכיל ארבעה סוגי בקטריות ושני סוגי אנזימים, בנוסף הוא מכיל שני מעכבים הבאים להפחית את הנגר. **סילוגארד (3#)**: הינו תוסף המכיל שילוב של מלחי גופרית ואנזים עמלאזה. מלחי הגופרית יוצרים גזים שמגבילים את נשימת התאים הצמחיים במספוא גס ומקטינים את כמות השמרים והעובשים. האנזים מפרק חלק מהעמילן, ומשחרר סוכרים הזמינים להחמצה ע"י החיידקים הלקטובציליים. **רגולטור (4#)**: הינו תוסף לתחמיצים המבוסס על מלחי גופרית, פותח עם דגש על שיפור העמידות האירובית והקטנת הפסדי החומר היבש בבור התחמיץ. מלחי הגופרית המוספים לירק המוחמץ הופכים לגז  $SO_2$  במהלך תהליך ההחמצה. גז זה, בריכוז נמוך, מעכב בצורה סלקטיבית את התרבות השמרים, העובשים והחיידקים האירוביים מבלי לעקב את חיידקי חומצות החלב הדרושים לתהליך התסיסה. **סילוקינג (5#)**: מכיל תערובת של אזימים מפרקי דופן תא, המשחררים סוכרים הזמינים להחמצה לחיידקים הלקטובציליים וכן, מכיל תרבויות חיידקים לקטובציליים להעשרת הירק וחומרים משמרים.

מינון התוספים היה על פי המלצות היצרן כדלקמן:  
 1# ו-4#, 330 ג' /טון ירק; 5# – 370 ג' /טון ירק; 3# –



500 ג' /טון ירק; 2# – 454 ג' /טון ירק (מומס ב-1 ליטר מים מזוקקים). התוספים הוספו בכמות הנדרשת על פי המינון הנ"ל, מותאם ל-150 ק"ג ירק חיטה משוטח על בטון, הירק עורבב היטב, ושימש למילוי 3 אשפתונים לטיפול (מצוידים במכסה לא אוטם; שקולים מראש לטרה), לתוך ניילון (שקול מראש לטרה), ברמת דחיסה זהה - מילוי באמצעות דליים, בקצב קבוע; הידוק ברגליים עד הגעה למשקל ירק דומה בכל המיכלים (איורים 7 ו-8 בהם מוצגים מחצית מצוות מהדקי הירק, תחליף הולם לטרקטורים בבור תחמיץ

אמיתית). משך מילוי המיכלים והידוקם (3 לטיפול) היה כשעה לכל טיפול. למרכזו של כל מיכל הוכנס במהלך המילוי טרמוקפל אשר קצהו השני הוצא מחוץ למיכל לצורך מדידת טמפרטורה. עם גמר המילוי והשקילה, קופל וסובב קצהו של שק הניילון והוצמד לדופן הפנימית; מעליו נסגר המכסה של האשפתון. 18 המיכלים נשקלו למשקל ברוטו, ונשמרו במבנה סגור - מכון החליבה, חדר טנק החלב - למשך חודשיים עד פתיחתם. לאחר חדשים הובאו המיכלים למינהל המחקר החקלאי, נשקלו (איור 9), נמדדו לטמפרטורה, הירק הוצא מהמיכל, עבר מבחן אורגנולפטי על ידי איש אחד ונדגם לאנליזות השונות. לכל אורך העבודה, ועד לניתוח התוצאות וסיכומן הסופי, איש מהשותפים לא היה מודע לזהות הטיפולים - המיכלים.

### דגימות ירק ותחמיצים שנלקחו לאנליזות במהלך העבודה:

דגימות של ירק המוצא - דגימות שנלקחו במהלך מילוי המיכלים, לפני הוספת התוסף, דגימה כל שעתיים; סה"כ 3 דגימות. הדגימות נשמרו בהקפאה, הופשרו, יובשו ב-65 מ"צ, למשך 48 שעות, נטחנו ל-1 מ"מ ונשלחו לבדיקות. בדיקת סוכרים מסיסים נעשתה על חומר קפוא שהופשר. מכל דגימה נשמר חלק לצורך בדיקות מיידיות על החומר הטרי (מטען חיידקים, pH), ובדיקת חומר יבש של ירק המוצא.

דגימות של התחמיצים: לבדיקות כימיות ונעילות, מכל מיכל בעת פתיחתו, נשמרו בהקפאה, ולפני הבדיקה יובשו ב-65 מ"צ למשך 48 שעות, נטחנו ל-1 מ"מ ונשלחו לאנליזה. חלק מהחומר נשמר טרי לבדיקת ח"י, pH, תוצרי החמצה (חומצות אורגניות). בדיקת סוכרים מסיסים נעשתה על החומר הקפוא, לאחר הפשרה. דגימות לעמידות אירובית: פליטת פד"ח במבחן חשיפה של 5 ימים נעשתה על תחמיץ טרי, לאחר פתיחת המיכלים, דימה מכל חזרה. בחינת התפתחות מושבות פטריות ועובשים נעשתה על דגימה של מיכל אחד מכל טיפול, ללא חזרות.



**בדיקות שהתבצעו במהלך העבודה:** נקבע משקל המיכלים (משקל ברוטו, הכולל מיכל, ירק, טרמוקפל, וניילון) והטמפרטורה של הירק עם סיום המילוי וסגירת המיכל. כמו כן

נשקלו המיכלים ונבדקה הטמפרטורה לאורך ההחמצה ובעת הפתיחה. נקבע ההרכב הכימי כדלקמן: חלבון כללי, ADL, NDF, ואפר (במעבדת Dairy 1, איטקה, ניו-יורק, ארה"ב) וכן נעילות ח"י ו-NDF של חומר המוצא והתחמיצים (נעילות בכרס מלאכותית, מעבדת היחידה המטבולית, מינהל המחקר החקלאי); ה-pH, WSC (סוכרים מסיסים במים) ומטען חיידקים לקטובצילים נקבע בחומר המוצא; ה-pH, ריכוז ה-WSC, החומצה הלקטית, האתנול, והחומצה האצטית נקבע בתחמיצים (מעבדת היחידה לשימור מספוא, מנהל המחקר החקלאי). בנוסף, נבדקו פרמטרים הקשורים בעמידות לחשיפה אירובית, כמו יצור פד"ח, pH, התפתחות מושבות שמרים ועובשים (במעבדת היחידה לשימור מספוא, מנהל המחקר החקלאי). בעת הפתיחה נבחנו הפרמטרים האורגנולפטיים הבאים של התחמיצים: צבע, מירקם וריח אופייני, וכן דרגת עיפוש למעלה ובתוך התחמיץ. פרוט של הליך הבדיקות שנעשו ניתן למצוא אצל

Miron et al., 2005 (8) ואצל ר. סולומון, 1998 (2); פירוט הפרוצדורה למבחן העמידות האירובי ניתן למצוא אצל Ashbel, et al., 1991 (9). טבלה 1 מציגה את המאפיינים הבסיסיים של חומרי המוצא (3 מועדי דגימה במהלך המילוי), החשובים בקביעת מידת התאמת חומר המוצא להחמצה. כפי שהתקבל בטבלה 1, % חומר היבש בירק המוצא הוא בתחום המיטבי ביותר להחמצה, 34.3% עבור תחמיץ חיטה, כמו גם שיעור הפחמימות המסיסות במים – כ-8%. ערכים אלה בתוספת מטען הולם של חיידקים לקטובצילים על פני הירק ( $10^{5.67}$  לג' ח"י) מקנה לירק החיטה עמדת פתיחה מצוינת כחומר מוצא להחמצה. שיעור השמרים והעובשים הוא בתחום הסביר שאינו מפריע למהלך החמצה תקין.

| טבלה 1. מאפייני ירק המוצא ששימש לבדיקת תוספי התחמיץ, בדגימות שנלקחו במהלך מילוי המיכלים. |        |         |          |       |           |
|--|--------|---------|----------|-------|-----------|
| פרמטר/מועד   | מועד I | מועד II | מועד III | ממוצע | סטיית תקן |
| חומר יבש (%)   | 34.3   | 35.0    | 33.8     | 34.4  | 0.60      |
| pH   | 6.26   | 6.19    | 6.20     | 6.21  | 0.03      |
| WSC (%)  | 9.60   | 7.40    | 8.00     | 8.33  | 1.14      |
| ספירת LBB (לוג, לג' ח"י)   | 5.10   | 4.90    | 5.70     | 5.23  | 0.42      |
| ספירת שמרים (לוג, לג' ח"י)   | 5.60   | 5.50    | 5.90     | 5.67  | 0.21      |
| ספירת עובשים (לוג, לג' ח"י)  | 3.30   | 2.90    | 2.90     | 3.03  | 0.23      |
| Lactic Acid Bacteria = LBB – חיידקי חומצה לקטית.   |        |         |          |       |           |
| Water Soluble Carbohydrates = WSC – סוכרים מסיסים במים.                                  |        |         |          |       |           |

ניתוח סטטיסטי: כל הממוצעים נבחנו למובהקות בעזרת תוכנת JUMP IN 5, במבחן שונות HANOVA. הבדלים בין ממוצעים נקבעו כמובהקים עבור  $P < 0.05$ ; השוואת הממוצעים ודירוגם בוצע במבחן Tukey.

## תוצאות ודיון

בטבלה 2 מוצג ההרכב הכימי של ירק המוצא, וערכי הנעכלות בכרס מלאכותית, *in vitro*. ערכי החלבון בכללי שהתקבלו הינם גבוהים ומאפיינים תחמיץ שנקצר בגיל צעיר, כפי שגם מראים ערכי ה-NDF הגבוהים המתקרבים ל-60%. ערכי הליגנין שהתקבלו בבדיקת ADL, נעו סביב ה-4.5%, אף הם מעידים על תחמיץ שנקצר בגיל פיסולוגי מוקדם. נעכלות החומר היבש וה-NDF של ירק המוצא, כפי שהתקבלו בבדיקת כרס מלאכותית, *in vitro*, נמצאים בתחום המוכר של ערכי נעכלות תחמיץ חיטה, 64.6 ו-54.3%, לנעכלות חומר יבש ו-NDF בהתאמה. ריכוז האפר בחומר המוצא היה כ-9.50%. מדד זה בירק המוצא, כמו גם ה-NDF והליגנין, בהשוואה לריכוזים שהתקבלו בתחמיצים (יפורט בהמשך), יכול להסביר שינויים שחלו במהלך החמצה.

טבלה 3 מציגה את ההרכב הכימי של התחמיצים, שטופלו ב-5 תוספים, ואת אלו של הביקורת הלא מטופלת, וכן, את ערכי הנעכלות של חומר היבש וה-NDF, בכרס מלאכותית (כרמ"ל). פרט לערכי

החלבון, הנמוכים מעט בביקורת בהשוואה לחלק מהטיפולים, לא נבדלו הפרמטרים האחרים, דהיינו ADL, NDF ואפר בין כל הטיפולים. נקודה זו חשובה במיוחד לאור הצהרות של חלק מהמשווקים על יכולתם של חלק מהתוספים להמיס מרכיבי דופן התא, בעזרת צלולאזות הקיימות בתוסף. על פי תוצאות טבלה 3 ובתנאי עבודה זו, לא היה הבדל בריכוז ה-NDF או הליגנין (ADL) בין התחמיצים השונים. יתרה מזו, מבחינת נעכלויות החומר היבש וה-NDF, נראה בברור שערכי הנעכלות דומים לחלוטין בכל הטיפולים ונעים בין 62-63% לחומר היבש, ובין 49-52% ל-NDF.

| טבלה 2. ההרכב הכימי של ירק המוצא (%), בדגימות שנלקחו ב-3 מועדים במהלך מילוי המיכלים. |        |         |          |       |           |
|--|--------|---------|----------|-------|-----------|
| פרמטר/מועד   | מועד I | מועד II | מועד III | ממוצע | סטיית תקן |
| חלבון כללי   | 12.3   | 12.9    | 13.2     | 12.8  | 0.37      |
| NDF  | 61.9   | 59.5    | 57.6     | 59.7  | 1.76      |
| ADL (ליגנין)   | 4.70   | 4.50    | 4.10     | 4.43  | 0.25      |
| אפר  | 9.30   | 9.60    | 9.55     | 9.48  | 0.13      |
| DMD  | 64.5   | 64.7    | 64.7     | 64.6  | 0.11      |
| NDFD   | 55.6   | 51.3    | 55.9     | 54.3  | 2.56      |

.in vitro = Dry Matter Digestibility = DMD = נעכלות חומר יבש בכרס מלאכותית, .in vitro  
 = NDF Digestibility = NDFD = נעכלות NDF בכרס מלאכותית, .in vitro

| טבלה 3. ההרכב הכימי והנעכלות (%) של התחמיצים שטופלו בתוספי החמצה, ושל תחמיץ הביקורת. |                       |                   |                     |                     |                       |                   |       |      |
|--|-----------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------|------|
| פרמטר/תוסף   | תוסף #1               | תוסף #2           | תוסף #3             | תוסף #4             | תוסף #5               | ביקורת            | P     | ש"מ  |
| חלבון כללי   | 13.5 <sup>a,b,c</sup> | 13.9 <sup>a</sup> | 13.8 <sup>a,b</sup> | 13.4 <sup>b,c</sup> | 13.6 <sup>a,b,c</sup> | 13.3 <sup>c</sup> | 0.004 | 0.02 |
| NDF  | 60.5                  | 60.4              | 62.1                | 60.3                | 61.1                  | 60.8              | 0.82  | 0.24 |
| ADL  | 4.97                  | 5.06              | 5.00                | 4.93                | 4.93                  | 5.40              | 0.94  | 0.09 |
| אפר  | 10.5                  | 10.4              | 10.6                | 10.4                | 10.0                  | 10.4              | 0.08  | 0.03 |
| DMD  | 63.1                  | 62.1              | 62.7                | 63.0                | 63.3                  | 63.8              | 0.64  | 0.16 |
| NDFD   | 50.0                  | 48.3              | 49.3                | 51.8                | 49.3                  | 50.6              | 0.54  | 0.31 |

מפתח התוספים: #1=קופוסיל; #2=אולטק; #3=סילוגארד; #4=רגולטור; #5=סילוקינג; ביקורת = ללא תוסף.  
 .in vitro = Dry Matter Digestibility = DMD = נעכלות חומר יבש בכרס מלאכותית, .in vitro  
 = NDF Digestibility = NDFD = נעכלות NDF בכרס מלאכותית, .in vitro  
 ערכים באותה שורה, המסומנים באותיות שונות נבדלים באופן מובהק,  $p < 0.05$ .

ללא קשר לטיפולים, מעניין להשוות את ההרכב הכימי של חומר המוצא ושל התחמיצים וכן את הנעכלויות של החומר היבש ושל ה-NDF, שלמעשה נגזרות מההרכב הכימי. ידוע ומקובל שערכו



התזונתי (נעכלות) של ירק המוצא גבוה תמיד מזה של התוצר המשומר הסופי, ובמקרה דנאן – התחמיץ, עקב אובדן חומרים פרמנטביליים בזמן תהליך השימור (10, 11, 6). הדבר בא לידי ביטוי בערכי NDF וליגנין נמוכים יותר של חומר המוצא, ואף בריכוז אפר נמוך יותר. הסיבה העיקרית להבדלים אלו נעוצה בכך שבעת ההחמצה חלים הפסדי נשימה ותסיסה של סוכרים ושל חלבונים שעברו פרוטאוליזה, מה שמקטין ריכוזם של מרכיבי "מומסי התאים", או ה-NDS, ומעלה את ריכוז מקטעי דופן התא – ה-NDF. ואכן ניתן לראות שערכי ה-NDF בחומר המוצא הם בממוצע 59.7% בעוד שערכי ה-NDF של ממוצע כל הטיפולים הוא כ-61%; כך גם לריכוז ה-ADL שהיה 4.43% בהשוואה לריכוז ה-ADL של ממוצע הטיפולים – 5.04% ערך גבוה בכ-14%. פער זה בריכוז ה-ADL וה-NDF בא לידי ביטוי בהבדלי הנעכלויות בין ירק המוצא והתחמיצים: נעכלות ח"י - 64.4% בירק לעומת 62.9% בממוצע התחמיצים; נעכלות NDF – 54.3% בירק לעומת 49.9% בממוצע התחמיצים. אותה מגמה מסתמנת לגבי ריכוז האפר שהיה נמוך יותר בירק המוצא - 9.48%, וגבוה 10.4% בממוצע התחמיצים (הערכים הממוצעים בתחמיצים של הפרמטרים הנ"ל, חושבו מטבלה 3 כממוצע כל הטיפולים).

טבלה 4 מציגה את שעורי הפחת של הומר היבש והרטוב בתחמיצים. פרמטר זה מחושב כמשקל החומר שהלך לאיבוד במהלך ההחמצה (משקל ירק מינוס משקל תחמיץ) מחולק במשקל הירק. בטבלה מוצגים שני פרמטרים של פחת: על בסיס חומר רטוב ועל בסיס חומר יבש. הפרמטר הנכון ביותר להצגה הוא ע"ב חומר יבש, משום שבשעת ההחמצה יש שינויים בתכולת המים ולרוב, שעור הרטיבות בתחמיצים גבוה ביחידה אחת או שתיים בהשוואה לחומר המוצא. עם זאת, היות וברפתות הפחת מחושב כחומר הגולמי הרטוב שהוכנס מינוס החומר הגולמי שבו נעשה שימוש, מוצגים בטבלה גם ערכי הפחת הרטוב. מנתוני הטבלה מסתמן בברור שלא היה הבדל בשיעור הפחת הרטוב בין כל הטיפולים הוא נע סביב 1%. ערך זה נמוך מאד בהשוואה לזה המתקבל במשקים, שהוא לרוב כ-10%-5. הסיבות יכולות ליהיות בעיר ממשקיות: במשקים הפחת כולל גם חומר לא ראוי לשימוש שנזרק (כתפי תחמיץ מעופשים, top loss) טעויות בכיול עגלה מערבלת, הפסדי נתוני עגלות שלא נקלטו בתכנת ניהול המלאי, ועוד, בעוד שבעבודה הנכחית שנעשתה בתנאי "בית מרקחת" מבחינת הדיוק וההקפדה בשקילות, מתקבלים פחתים נמוכים ביותר.

| טבלה 4. שעור הפחת של החומר הרטוב והחומר היבש, של התחמיצים שטופלו בתוספי החמצה, ושל תחמיץ הביקורת.   |                    |                   |                   |                    |                    |                    |       |      |
|---|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|------|
| פרמטר/תוסף  | תוסף 1#            | תוסף 2#           | תוסף 3#           | תוסף 4#            | תוסף 5#            | ביקורת             | P     | שת"מ |
| משקל ירק ח"ר (ק"ג)  | 37.2               | 36.5              | 38.8              | 37.4               | 36.9               | 37.5               | -     | -    |
| משקל תחמיץ ח"ר (ק"ג)  | 36.8               | 36.2              | 38.3              | 37.0               | 36.6               | 37.2               | -     | -    |
| פחת ח"ר (ק"ג)   | 0.42               | 0.39              | 0.42              | 0.37               | 0.37               | 0.33               | -     | -    |
| פחת ח"ר (%)   | 1.15               | 1.07              | 1.09              | 1.01               | 1.00               | 0.88               | 0.25  | 0.02 |
| משקל ירק ח"י (ק"ג)  | 13.0               | 12.3              | 13.3              | 12.6               | 12.9               | 12.9               | -     | -    |
| משקל תחמיץ ח"י (ק"ג)  | 12.6               | 12.2              | 12.7              | 12.4               | 12.5               | 12.6               | -     | -    |
| פחת ח"י (ק"ג)   | 0.38               | 0.18              | 0.55              | 0.24               | 0.41               | 0.31               | -     | -    |
| פחת ח"י (%)   | 2.93 <sup>ab</sup> | 1.48 <sup>b</sup> | 4.17 <sup>a</sup> | 2.62 <sup>ab</sup> | 3.17 <sup>ab</sup> | 3.24 <sup>ab</sup> | 0.045 | 0.12 |
| מפתח התוספים: 1#=קופוסיל; 2#=אולטק; 3#=סילוגארד; 4#=רגולטור; 5#=סילוקינג; ביקורת=ללא תוסף. ערכים באותה שורה, המסומנים באותיות שונות נבדלים באופן מובהק, p<0.05. |                    |                   |                   |                    |                    |                    |       |      |

עם זאת כאשר משווים את הפחת של החומר היבש, שהוא הפרמטר הנכון להשוואה, והמייצג נאמנה חומר שאבד במהלך ההחמצה, ושכולו הוא אובדן ביולוגי של תהליכי נשימה ותסיסה, הערכים שמתקבלים נעים בין 1 ל-4%, עם פערים בולטים בין הטיפולים. שיעור הפחת הגבוה ביותר היה בטפול "תוסף 3" – סילוגארד (4.17%), ואילו שיעור הפחת הנמוך ביותר התקבל בטיפול "תוסף 2" – אולטק, ושההבדלים בין שני הטיפולים הללו היו מובהקים ( $p=0.045$ ). שאר הטיפולים, כולל הביקורת, לא נבדלו באופן מובהק משני הנ"ל, וכן לא נבדלו ביניהם, כשהערכים היו בין 2.93 ל-3.24%. ככלל, הערכים נמוכים, ומעידים על תנאי החמצה מיטביים כמעט ללא רבב; קביעה זו מקבלת תמיכה גם מהפרמטרים האחרים שהתקבלו לגבי מטבוליטים של החמצה כפי שיתואר בטבלה 5.

טבלה 5 מציגה פרמטרים, המהווים אבני בסיס בתורת התחמיצים: ח"י – מעיד על התאמת החומר להחמצה מחד, ועל השינויים שחלו בו בהשוואה לחומר המוצא; מנתוני הטבלה ניראה שכל הערכים דומים לערכים של חומר המוצא (טבלה 1, 34.4%), ותחמיץ הביקורת מצג ערכי ח"י נמוכים מעט מירק המוצא – 33.3%, כפי שמתקבל לרוב בבורות התחמיץ במשקים. קשה לייחס משמעות מיוחדת להבדלים בין הטיפולים ב-% הח"י.

pH – ערכי החומציות הרצויים בתחמיצים נעים בין 4.2-3.8. ערכים גבוהים סביב 5 מעידים על החמצה גרועה, שנובעת מנתוני פתיחה גרועים או מתסיסה של חיידקים שאינן לקטובצילים (קלוסטרדיה). נתוני טבלה 5 מראים שערכי החומציות של כל הטיפולים היו דומים ביותר ונעו בין 3.84 ל-3.88 – תחמיצים מעולים על פי פרמטר זה. מכאן שלתוספים לא הייתה כל השפעה על דרגת החומציות של התחמיצים. WSC – ריכוזו בחומר המוצא (כ-8%, טבלה 1) מעיד על פוטנציאל החומר לספק סוכר המהווה סובסטרט לחיידקים הלקטובצילים לייצר חומצה לקטית (או חומצות אורגניות אחרות), ומידת התאמתו להחמצה. מאידך, ריכוזו בתחמיצים צריך להיות מינימאלי, משום שריכוז גבוה של סוכר שאריתי בתחמיץ, יהווה בעת הכרייה החשיפה לאוויר, גורם שלילי, המדרבן גשוג שמרים ועובשים, והגברת ההפסדים האירוביים (8, 10). מנתוני ריכוז הסוכרים המסיסים בטבלה 5, ניראה שטיפולים 1, 4, 5 והביקורת נטו לרמות שבין 1.4 ל-1.8%, בעוד שבטיפולים 2 ו-3 ערכי ה-WSC נטו להיות נמוכים יותר – 0.80 ו-1.17%, בהתאמה. אולם חשוב להזכיר שההבדלים הללו אינם מובהקים סטטיסטית, וייתכן שהם מקריים בלבד. כמו כן, לכושר העמידות לחשיפה אירובית מצטרפים גורמים נוספים, פרט לרמת הסוכרים בתחמיץ בעת החשיפה, היכולים להשפיע על עמידות אירובית כמו תוספים המכילים חומרים משמרים אנטי מיקוטיים (נוגדי עובשים). דיון נוסף בפרמטר זה בהמשך, בעת הצגת נתוני העמידות האירובית (טבלה 6).

חומצה לקטית – ריכוזה קשור לרמת ה-WSC בחומר המוצא, לכיווני התסיסה וסוג אוכלוסיית החיידקים שהתפתחה. מהיותה חומצה אורגנית חזקה, והעיקרית בתחמיצים, היא זו הגורמת העיקרית לירידת ה-pH (10, 11). ריכוזי החומצה הלקטית היו גבוהים ודומים בתחמיצי תוסף 3, 4 ותחמיץ הביקורת (6.0, 6.13 ו-6.17%, בהתאמה) ונבדלו באופן מובהק מתחמיץ תוסף 2 (5.17%). ריכוזי החומצה הלקטית בתחמיצי תוסף 1, ו-5 היו דומים (5.77 ו-5.43%, בהתאמה), ולא נבדלו באופן מובהק משאר התחמיצים.

אתנול ולוג מספר השמרים ועובשים – האתנול בתחמיצים הינו בעיקר תוצר תסיסה של שמרים. למרות שאין הבדלים מובהקים בין הטיפולים השונים, התקבלה נטייה לערכים גבוהים יותר של אתנול בתוספים 3 ו-4 (0.97 ו-0.81%, בהתאמה), בהשוואה ליתר הטיפולים (0.49 – 0.68%). נטייה זו מקבלת חיזוק מערכי מספר השמרים בתחמיצים, המבוטאים בלוג (5.9 - יש לקרוא כ-10 בחזקת 5.9). לוג מספר השמרים לגרם ח"י היה הגבוה ביותר לתוספים 3 ו-4 (שבהם גם ריכוז האתנול היה הגבוה ביותר), ונמוך יותר לשאר הטיפולים. חשוב לציין שבדיקת מספר השמרים והעובשים נעשתה ללא חזרות, דהיינו, נלקחה דוגמא באופן אקראי מאחד המיכלים בכל טיפול ועליה בוצעה הבדיקה, כפי שמתבצע באופן רוטיני במעבדה

| טבלה 5. שעור הח"י, ה-pH, ומטבוליטים של החמצה, וכן מספר העובשים והשמרים, בתחמיצים שטופלו בתוספי החמצה, ובתחמיץ הביקורת. |                    |                   |                   |                    |                    |                    |        |       |
|--|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|-------|
| פרמטר/תוסף   | תוסף #1            | תוסף #2           | תוסף #3           | תוסף #4            | תוסף #5            | ביקורת             | P      | ש"מ   |
| % ח"י  | <sup>a</sup> 34.7  | <sup>b</sup> 34.2 | <sup>c</sup> 32.9 | <sup>bc</sup> 33.2 | <sup>ab</sup> 34.3 | <sup>bc</sup> 33.3 | 0.002  | 0.06  |
| pH   | 3.87               | 3.88              | 3.84              | 3.88               | 3.88               | 3.86               | 0.53   | 0.004 |
| WSC (%)  | 1.83               | 0.80              | 1.17              | 1.70               | 1.60               | 1.43               | 0.41   | 0.09  |
| חומצה לקטית (%)  | <sup>ab</sup> 5.77 | <sup>b</sup> 5.17 | <sup>a</sup> 6.0  | <sup>a</sup> 6.13  | <sup>ab</sup> 5.43 | <sup>a</sup> 6.17  | 0.007  | 0.04  |
| חומצה אצטית (%)  | <sup>b</sup> 1.50  | <sup>b</sup> 1.61 | <sup>a</sup> 2.28 | <sup>b</sup> 1.24  | <sup>b</sup> 1.13  | <sup>b</sup> 1.54  | 0.0004 | 0.03  |
| אתנול (%)  | 0.49               | 0.68              | 0.97              | 0.81               | 0.67               | 0.50               | 0.25   | 0.03  |
| ספירת עובשים (לוג, לג' ח"י)  | 3.60               | 3.40              | 4.00              | 3.20               | 0                  | 2.80               | -      | -     |
| ספירת שמרים (לוג, לג' ח"י)   | 5.90               | 6.40              | 7.60              | 7.40               | 6.40               | 5.70               | -      | -     |

מפתח התוספים: #1=קופוסיל; #2=אולטק; #3=סילוגארד; #4=רגולטור; #5=סילוקינג; ביקורת=ללא תוסף.

ערכים באותה שורה, המסומנים באותיות שונות נבדלים באופן מובהק,  $p < 0.05$ . פרמטר בו לא נרשם ערך SEM, משמעותו כי לפרמטר זה לא נעשו חזרות לטיפול (נלקחה דגימה ממכל תחמיץ אחד מתוך השלושה).

לשימור מספוא. כללית, מספר השמרים בתחמיץ תוסף 1, ותחמיץ הביקורת (5.9, ו-5.7, בהתאמה) היה דומה לזה של חומר המוצא (טבלה 1, ערך לוג 5.67 לגרם ח"י), בטיפולים 2 ו-5 היה גבוה בערך פי 10 (ערך לוג 6.4 בתחמיצים לעומת ירק המוצא), וגבוה בערך פי 100 בתחמיצי תוסף 3 ו-4 (ערך לוג 7.60, ו-7.40, בהתאמה) בהשוואה לחומר המוצא. ערכי הלוג של מספר העובשים ביו נמוכים יותר משל השמרים, והיו דומים לאלו של חומר המוצא (ערך לוג 3.0). לטיפול 5 התקבלו בבדיקה ערכי 0 (בלתי ניתן להסבר).

חומצה אצטית (וכן, פרופיונית ובוטירית) – מבין שלושת החש"נ, ריכוזה לרוב הגדול ביותר (כ-1-3%). כמויות שאר החש"נ – נמוכות יותר, בעיקר אלו של הפרופיונית – לרוב זניחות. ריכוז גבוה של חומצה בוטירית בתחמיץ (בעיקר בתחמיצים רטובים) מעיד על החמצה לכיוונים לא רצויה של חיידקי קלוסטרדיה, תוך יצירת חומצה בוטירית. ריכוז גבוה של חומצה זו גורם לריח רע לתחמיץ, ולפגיעה בצריכת התחמיץ ע"י הבקר. בעבודה זו ריכוזי החומצה הפרופיונית והבוטירית היו קטנים ביותר, זניחים (0-0.05% לפרופיונית; 0.02-0.14%, לבוטירית), ולכן לא הוצגו בטבלה. בטבלה 5 מוצגים ריכוזי החומצה האצטית בלבד, אשר נעו בין 1.1 ל-1.6%, לטיפולים 1, 2, 4, 5 וביקורת, ללא הבדל מובהק ביניהם. אולם בטיפול 3, התקבלו ערכים גבוהים יותר באופן מובהק משאר הטיפולים – 2.28%. ערך גבוה זה יכול

לרמוז על עמידות אירובית טובה יותר של תחמיץ זה בעת חשיפתו לאוויר, המוקנה לתחמיץ בו ריכוזי החש"נ גבוהים יותר (7).

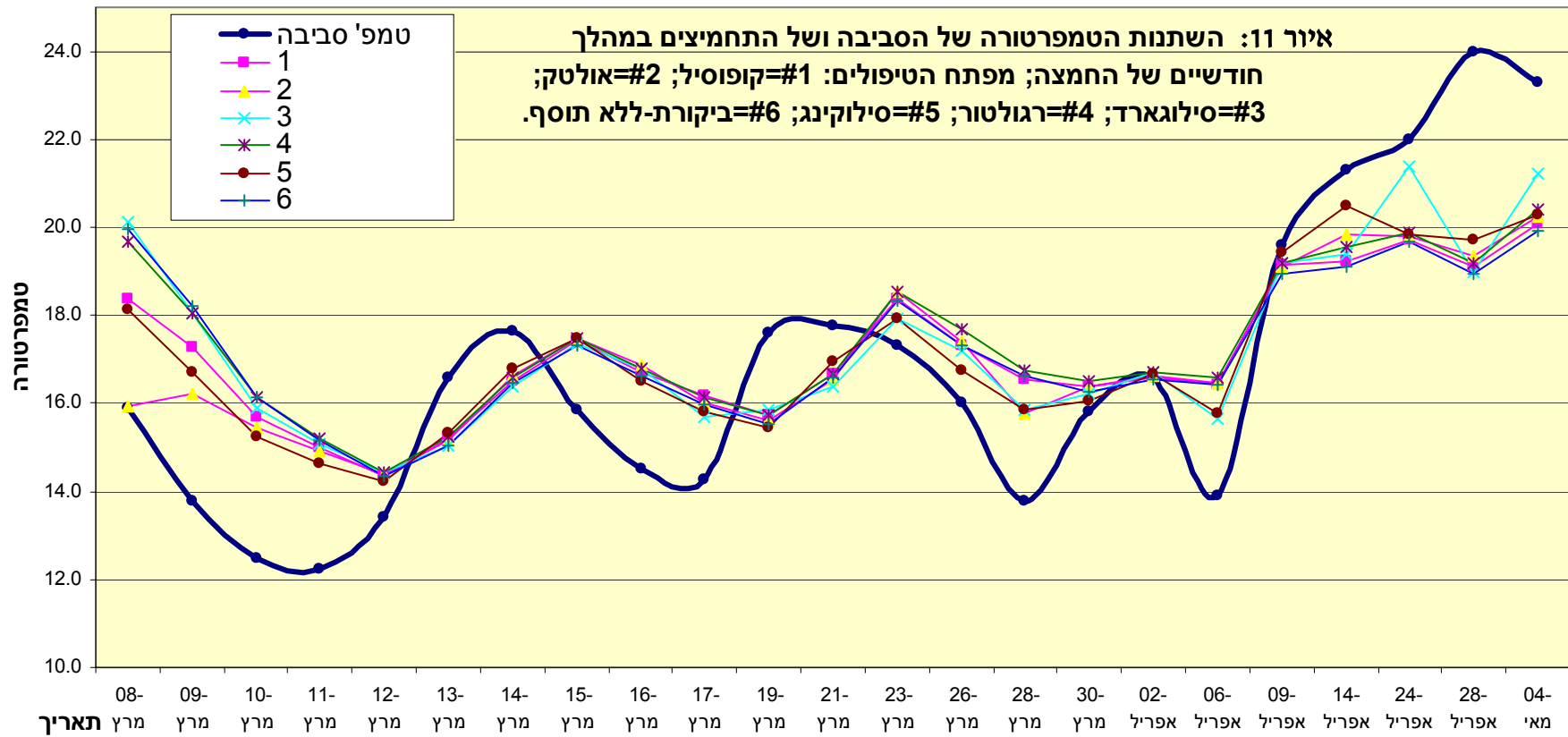
טבלה 6 מציגה פרמטרים אורגנולפטיים - מראה, ריח, מישוש, שנמדדו בעבודה זו על ידי אדם אחד, אובייקטיבי בעת פתיחת מיכלי התחמיץ. כפי שניראה מנתוני הטבלה הצבע והמרקם של כל התחמיצים היה דומה ביותר וכן שעור העיפוש בתוך התחמיץ, אשר היה מעשית אפס. עם זאת ניראה שהמערך הבחין בברור בין הביקורת הלא מטופלת, לבין שאר התחמיצים המטופלים בתוסף, כפי שהתבטא בפרמטר הריח. אין משמעות הערכים שלביקורת היה ריח רע. משמעות ההבדלים שלטיפולים היה ריח שונה משל הביקורת, שנגרם מאפיוני תסיסה שונים. בכל מיכלי התחמיץ היה מקטע מעופש באזור הקיפול של שפתי הניילון (דוגמאות באיורים 10 ו-11), זאת משום שהשקים לא נאטמו הרמטית, אלא סובבו, קופלו ונדחפו לשוליים, על מנת לדמות מצב אמיתי ככל שניתן. במרבית המיכלים מקטע זה היה בקוטר של 10-30 ס"מ מסביב לפתח, וכמותו היה מזערית (כחופן). ההבדלים בעוצמתו של מקטע זה מוצגים בפרמטר "עיפוש בחלק העליון" אשר לא נבדל סטטיסטית בין הטיפולים. ניתן לסכם את האורגנולפטיקה במשפט מפתח: "כללית, כל התחמיצים נראו דומים ביותר, ברמת המרקם, הצבע, ודרגת העיפוש, וכולם היו טובים מאד בכל הפרמטרים האורגנולפטיים!"



| טבלה 6. פרמטרים אורגנולפטיים, כפי שנמדדו בתחמיצים עם פתיחת המיכלים; 1=חריג; 3=מקובל.       |                   |                   |                   |                   |                    |                   |       |       |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------|-------|
| פרמטר/תוסף   | תוסף #1           | תוסף #2           | תוסף #3           | תוסף #4           | תוסף #5            | ביקורת            | P     | שת"מ  |
| ריח אופייני  | 2.27 <sup>a</sup> | 2.83 <sup>a</sup> | 2.67 <sup>a</sup> | 2.83 <sup>a</sup> | 1.83 <sup>ab</sup> | 1.33 <sup>b</sup> | 0.012 | 0.065 |
| צבע אופייני  | 3.00              | 2.83              | 2.83              | 3.00              | 2.83               | 2.83              | 0.33  | 0.05  |
| מרקם אופייני   | 3.00              | 3.00              | 3.00              | 3.00              | 3.00               | 3.00              |       |       |
| עיפוש בחלק העליון  | 2.67              | 1.67              | 1.83              | 2.00              | 2.00               | 2.67              | 0.43  | 0.01  |
| עיפוש בתוך התחמיץ  | 0                 | 0                 | 0                 | 0                 | 0                  | 0                 |       |       |
| מפתח התוספים: #1=קופוסיל; #2=אולטק; #3=סילוגארד; #4=רגולטור; #5=סילוקינג; ביקורת=ללא תוסף. |                   |                   |                   |                   |                    |                   |       |       |
| ערכים באותה שורה, המסומנים באותיות שונות נבדלים באופן מובהק, $p < 0.05$ .                  |                   |                   |                   |                   |                    |                   |       |       |

השינויים שחלו בטמפרטורה של התחמיצים, במהלך ההחמצה מוצגים באיור 11. כזכור, בכל מיכל הותקן טרמוקפל, ומדידת הטמפרטורה נעשתה 3 פעמים ביום ב-3 הימים הראשונים, ובהמשך אחת ל-12 שעות עד פתיחת המיכלים. בנוסף נרשמה מידי מדידה, גם טמפרטורת הסביבה. באיור מוצגת הטמפרטורה היומית הממוצעת מיום סגירת המיכלים ועד פתיחתם כעבור כחודשיים. מהעקומה מסתמן שבכל התקופה, כולל בימים הראשונים בהם ניתן לצפות לטמפרטורה גבוהה (כ-40 מ"צ – האופיינית לתסיסה אנאירובית), לא עלתה מעל 20 מ"צ. היות ולפי כל הפרמטרים, התחמיצים היו בציון מעולה, ללא יוצא מן הכלל, ניראה, שהגורם העיקרי שהשפיע על הטמפרטורה שנמדדה במיכלים היה טמפרטורת הסביבה ולא טמפרטורת התסיסה. בבורות תחמיץ גדולים, אטומים וסגורים, בנפח גדול, ובעלי קיבולת חום גבוהה, טמפרטורה של התחמיץ הנמדדת במרכז הבור אכן עולה לכ-40 מ"צ, ומשקפת את הנעשה בבור בפועל - תסיסה מתונה בתנאים אנאירובים. עם גמר התסיסה, יורדת לרוב הטמפרטורה בבור לכ-20 מ"צ (7, 10). בעבודה הנכחית ההחמצה הייתה במיכלים קטנים יחסית, הסעת החום פנימה והחוצה הינה קלה יחסית, וגם כאשר הטמפרטורה עלתה, החום מוסע לכיוון הדפנות ונפלט מהמיכל, וההפך – הטמפרטורה החיצונית, משפיע על הטמפרטורה הנמדדת בתוך המיכל. לכן, למרות שבהתחלה, הטמפרטורה שנמדדה בימים הראשונים הייתה גבוהה מזו של הסביבה, ב-4-2 מ"צ, עם הזמן הטמפרטורה התקרבה לזו של הסביבה, אם כי תמיד באיחור קל. עם זאת, ניראה שב-5-4 הימים הראשונים, למרות שהטמפרטורה הנמדדת במיכלים הייתה רק בין 14 ל-20 מ"צ, עדיין הסתמן שטיפולים 3, 4 והביקורת, היו בטמפרטורה גבוהה יחסית, טיפולים 1 ו-5 היו בטמפרטורת ביניים, וטיפול 2 היה בטמפרטורה הנמוכה ביותר. יש לשער שהפער שנוצר בימים הראשונים נבע בחלקו מהפעילות האירובית שמאפיינת את היום הראשון, עד גמר החמצן בין חלקיקי הירק. מגמה זו נשמרה במהלך 4 הימים הראשונים להחמצה, אך כי הטמפרטורות היו במגמת ירידה. בהמשך ההחמצה, כל הטיפולים התיישרו פחות או יותר סביב אותה עקומת טמפרטורה, עד פתיחת המיכלים.

טבלה 7 מציגה פרמטרים הקשורים בעמידות של התחמיצים למבחן חשיפה אירובית. מבחן זה מתבצע במעבדת היחידה לשימור מספוא, בו דוגמת תחמיץ, לאחר פתיחת המיכלים, מוכנסת לבקבוק מחורר, המאפשר זרימת אוויר דרכו (מדמה בור תחמיץ פתוח). בפעילות האירובית השלילית המתרחשת בתחמיץ החשוף לאוויר נמדדת לאחר 5 ימי חשיפה בפרמטרים הבאים: 1 – pH – צפוי שיעלה לאורך הזמן; 2 – פליטת פד"ח – ככל שהפעילות האירובית תהיה מוגברת, ניצול הסוכרים ויצור הפד"ח, ע"י השמרים והעובשים המתפתחים, יהיה גבוה יותר. 3 – מיצוי התחמיצים, וזריעת המיצוי לספירת עובשים ושמרים מהווה קריטריון נוסף. בדיקה אחרונה זו התבצעה ללא חזרות, דהיינו, אחד מכל 3 המיכלים של כל טיפול נבדק. בכל התחמיצים, לאחר מבחן החשיפה לאוויר, עלה ה-pH, בולטת במיוחד העלייה של טיפול 6, שהוכיח עמידות אירובית נחותה בהקשר זה (6.52 – ערך גבוה ביותר). טיפול הביקורת וטיפול תוסף 1 לא נבדלו ממנו בערכי ה-pH באופן מובהק. טיפול 2 וטיפול 5, רמת ה-pH שלהם בתום מבחן החשיפה הייתה סבירה – 4.34, ו-4.45, בהתאמה. הגדיל לעשות טיפול 3, אשר ה-pH שלו לא השתנה לאחר חשיפה של 5 ימים לאוויר, בהשוואה ל-pH של התחמיץ: מ-3.84 בתחמיץ הטרי, ל-3.87 בתחמיץ המאוורר.



| טבלה 7. פרמטרים הקשורים בעמידות אירובית של התחמיצים, לאחר מבחן של 5 ימי חשיפה לאוויר.  |                     |                    |                   |                   |                    |                    |        |       |
|--|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------|-------|
| פרמטר/תוסף   | תוסף #1             | תוסף #2            | תוסף #3           | תוסף #4           | תוסף #5            | ביקורת             | P      | שת"מ  |
| pH   | 4.91 <sup>abc</sup> | 4.34 <sup>bc</sup> | 3.87 <sup>c</sup> | 6.52 <sup>a</sup> | 4.45 <sup>bc</sup> | 5.73 <sup>ab</sup> | 0.003  | 0.087 |
| פליטת CO <sub>2</sub> , ג/ק"ג ח"י  | 33.2 <sup>a</sup>   | 39.0 <sup>a</sup>  | 9.96 <sup>b</sup> | 45.4 <sup>a</sup> | 36.3 <sup>a</sup>  | 43.4 <sup>a</sup>  | 0.0004 | 0.91  |
| ספירת עובשים (לוג, לג' ח"י)  | 4.50                | 2.80               | 2.00              | 3.50              | 6.5                | 4.6                | -      | -     |
| ספירת שמרים (לוג, לג' ח"י)   | 9.30                | 8.90               | 7.06              | 9.30              | 9.10               | 9.40               | -      | -     |
| מפתח התוספים: #1=קופוסיל; #2=אולטק; #3=סילוגארד; #4=רגולטור; #5=סילוקינג; ביקורת=ללא תוסף.   |                     |                    |                   |                   |                    |                    |        |       |
| ערכים באותה שורה, המסומנים באותיות שונות נבדלים באופן מובהק, $p < 0.05$ . פרמטר בו לא נרשם ערך SEM, משמעותו כי לפרמטר זה לא נעשו חזרות לטיפול (נלקחה דגימה ממיכל תחמיץ אחד מתוך השלושה). |                     |                    |                   |                   |                    |                    |        |       |

עמידות אירובית זו שהפגין טיפול 3 (סילוגארד) מתבטאת גם בפרמטר של עצמת פליטת הפד"ח, לק"ג ח"י תחמיץ: בעוד שבכל הטיפולים הערכים היו בין 33 ל-43 ג/ק"ג ח"י, ערכי פליטת הפד"ח של טיפול 3 היו נמוכים ביותר – 9.96 ג/ק"ג ח"י. מספר השמרים שהתפתחו על תחמיץ זה במבחן החשיפה היה הנמוך ביותר – 7.06 בהשוואה לערכים בין 8.90 ל-9.40 בשאר הטיפולים, ערכים הגבוהים פי למעלה מ-100. גם שעור העובשים שהתפתחו על תחמיץ זה היה נמוך יותר משאר הטיפולים; בהקשר זה, חשוב להזכיר, שקביעת השמרים והעובשים היתה ללא חזרות סטטיסטיות. כמוזכר קודם, עמידותו האירובית של טיפול 3 מוסברת אף בחלק מנתוני טבלה 5 – ריכוז ה-WSC הנמוך, וריכוז החומצה האצטית הגבוה, שני פרמטרים המקנים עמידות אירובית, ותומכים בתוצאות שמוצגות בטבלה 6. עם זאת מן הראוי להביע גם הסתייגות באשר לחשיבותו של פרמטר זה, לפחות בתנאים שנמדד בעבודה הנכחית. ההמלצה בתנאי רפת מסחרית, היא להימנע מלהשאיר את קיר התחמיץ חשוף לאוויר יותר מיומיים, כך שיש לתכנן את הכרייה בצורה כזו שתחזור לאותה נקודה ביום השלישי, ואם אפשר פחות. נתון זה תלוי בממדי הבור, בקצב השימוש היומי, ובעומק הכרייה. בכל מיקרה נדיר המצב בו תחמיץ עומד בחשיפה אירובית למשך 5 ימים, מכאן שמבחן החשיפה האירובי בתנאי המעבדה, בעבודה זו, מחמיר עם התחמיצים בהשוואה למציאות המשקית, ויתכן שהיה צורך לצמצמו ל-3 ימים. יתכן ובמצב כזה הפער בין הטיפולים היה מצטמצם; ספקולציה זו לא נבדקה בעבודה הנכחית, ודורשת הוכחה.

## לסיכום

- בעבודה הנכחית נבדקה השפעת השימוש ב-5 תוספי ירק, המכרים בארץ (קופוסיל, אולטק, סילוגארד, רגולטור וסילוקינג), והאמורים לשפר את איכות החמצה והתחמיצים. העבודה נערכה בתנאים האמורים לדמות ככל שניתן תנאי החמצה במרכז המזון, עם המגבלות של עבודה במיכלים קטנים – אשפתונים של 80 ליטר. מסיכום הממצאים שהוצגו ניתן לקבוע את ההנחות הבאות:
- ממשק החמצה בעבודה הנכחית, ואיכות התחמיצים שהתקבלה, היו לא דופי, ללא קשר לטיפול ולתוסף בו נעשה שימוש, הן ברמת ההרכב הכימי והן במבחנים אורגנולפטיים.
- הפחתים שהתקבלו של החומר היבש היו נמוכים מאילו המקובלים במימשק החמצה במרכז המזון. הפחת בתוסף סילוגארד היה גבוה יותר משאר התוספים, וזה של אולטק היה הנמוך ביותר.
- העמידות האירובית של סילוגארד, במבחן חשיפה של 5 ימים הייתה הטובה ביותר.
- ההצהרה של חלק מיצרני התוספים בדבר שיפור נעילות דופן התא של התחמיצים, בעקבות שימוש בתוסף, לא עמדה במבחן המציאות – נעילות החומר היבש וה-NDF של כל התחמיצים הייתה דומה.
- מן הראוי שכל מרכז מזון יבחן את כדאיות השימוש בתוספים, על פי שיקול דעתו, התנאים במשק והנתונים במוצגים בעבודה זו. עם זאת, יש לבחון מחדש את הגישה הנפוצה הגורסת: "השימוש בתוספים משפרי החמצה, אינו תחליף לממשק החמצה מיטבי; מן הראוי לעשות שימוש בתוספים דווקא בממשק מיטבי". מתוצאות העבודה זו, בממשק החמצה מיטבי, ולגבי מרבית הפרמטרים שנבחנו, השינויים שהתקבלו היו מינוריים ביותר.

## רשימת ספרות

1. ר. סולומון, 2006. מבנה ותפקוד של מערכת העיכול במעלי גירה, מטבוליזם של אבות המזון, מזונות והזנת מעלי גירה. סיכום הרצאות. קורס הנדסאי רפת, רופין, 2004-2007 (באתר האינטרנט של המדרשה).
2. ר. סולומון, 1998. יחסי גומלין מיקרואורגניזמים של בכרס ודופן התא הצמחי בליגנוצולולוזות מטופלות כימית ממקור חד ודו פסיגי. עבודת דוקטור. האוניברסיטה העברית, ירושלים.
3. מ. זקס, 1981. מערכת העיכול של מעלי גירה. האנציקלופדיה החקלאית, כרך בע"ח, עמודים 107-111.
4. ד. בן גדליה, 1981. היבטים תזונתיים ופיזיולוגיים של תהליכי העיכול במעלי גירה. האנציקלופדיה החקלאית, כרך בע"ח, עמודים 112-117.
5. א. בונדי, 1982. הזנת בעלי חיים. הוצאת ספרים ע"ש מאגנס, האוניברסיטה העברית, ירושלים.
6. ג. אשבל, צ. וינברג, ר. סולומון וי. קלי, 2005. שימור מספוא: מזונות גסים וחמרי לוואי. פרסומי שרות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.



7. ג. אשבל, 2003. הטכנולוגיה של שימור מספוא גס וחמרי לוואי. פרסומי מנהל מחקר החקלאי, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.

8. Miron, J., M. Nikbachat, E. Yosef, A. Carmi, D. Ben-Ghedalia, G. Adin, E. Zuckerman, U. Nir, T. Kipnis and R. Solomon, 2005. Yield, composition and in vitro digestibility of new forage sorghum varieties and their ensilage characteristics. Anim. Feed Sci. Technol., 120: 17-32.
9. G. Ashbel, Z. Weinberg, A. Azrieli, Y. Hen and B. Horev. 1991. A simple system to study the aerobic determination of silages. Can. Agric. Eng. 33:391.
10. P. McDonald, 1981. Influence of oxygen on ensilage in: The Biochemistry of silage. John Wiley & Sons. Chichester, UK. p 103.
11. C. R. Staples, 1992. Forage selection, harvesting, storing and feeding. In: Large dairy herd management. Page 336. Editors: H. H, Van Horn and C. J. Wilcox.

**תודה:** תודתי העמוקה, מקרב לב, נתונה לרפתנים אשר סייעו לי בהכנת התחמיצים, בפתיחת המיכלים, בדגימות, בשקילות, ובכל פעולה שנעשתה למען הצלחת הפרויקט והבאתו לסיום, וכן, התאפקו במהלך כל העבודה, ונמנעו מלשאול "מי הטיפול ומי הביקורת?": אדריאן גלמן, אבי פריימן, מרסלו וסר, שוקי ברדה וצוות רפת נירים; ועם שכחתי מי שהוא – עימו הסליחה.

Addition of silage additives to wheat green forage: effect on chemical composition and on in vitro DM and NDF digestibility of the silage, on profile of silage metabolites and on aerobic stability of the silage.

ABSTRACT

R. Solomon<sup>1</sup>, G. Adin<sup>1</sup>, S. Revach<sup>2</sup>, G. Aronson<sup>2</sup>, M. Vaser<sup>3</sup>, I. Chen<sup>4</sup> and Z. G. Weinberg<sup>4</sup>

1 – Extension service, Dept Cattle Husb; 2 – Rupin, College of Agriculture; 3 – Kibutz Nirim; 4 – ARO, Unit of Fodder Preservation.

**Background:** Silages are the main forage source in dairy cow TMR, the predominant being wheat silage. In normal rainy years the price of wheat silage at bunker is high – 140-150\$/ton DM, thus a lot of attention is paid to its final quality in regard to both losses during preparation and silage utilization. The trend of using silage additives is increasing every year. The cost of silage additives is high – 5-10\$/ton DM and the cost/benefit ratio has not yet been established in Israel. The few scientific studies and field trials that have been conducted were in laboratory conditions; most of them in 1.5-2 L glass jars, without wilting, where DM content was less than optimal. In addition, most of the trials were incited by the marketing companies.

The objective of this work was to test the effect of 5 silage additives (commonly used in Israel on wheat green forage), on the chemical composition and in vitro digestibility, the profile of silage metabolites and the aerobic stability of wheat silage.

**Material and methods:** Source material – wheat green forage (GF) was used and sampled during the routine filling of wheat silage bunkers of Kibutz Nirim dairy (spring, 3/2006). Five additives were tested: #1 – Kofosil (Koffolk, Israel); #2 - Sillall fireguard (Alltech); #3 – Siloguard; #4 – Regulator; #5 – Siloking; #6 – control (no additive). Additives were collected from dairy farms, without any interaction from marketing companies. Ensiling took place inside closed but unsealed nylon bags, placed in 80L plastic containers. Dosage of additive administration to wheat green forage was exactly as recommended by the marketing companies: #1&#4 – 330 g/ton GF, #5 – 379 g/ton GF; #3 – 500 g/ton GF; and #2 – 454 g/ton GF. The recommended dose was added to 150 kg wheat GF, mixed, and used to fill 3 plastic containers/treatment, at equal filling rate and compaction (compaction by feet). Containers were stored inside a building for 2 months, then opened.

**Parameters tested** – Container weight and silage temperature were taken when sealed, during ensilage and when opened. Chemical composition (CP, NDF, ADL and ash) and in vitro DM and NDF digestibility of source material and silages was determined. The pH, WSC, lactobacilli load of source material and the pH, WSC, lactic acid (LA), ethanol, and acetic acid (AA) content of silages was determined. In addition, parameters related to aerobic stability were tested on silages, such as pH, CO<sub>2</sub> production and yeast and molds development. Some silage organoleptic parameters also have been evaluated.

**Results:** The amount of ensiled green forage/container was more or less the same for all treatments- 38±1 kg. The chemical composition of the source material and its adequacy for ensilage were optimal: DM, 34.4%; pH, 6.21; WSC, 8.33%, and lactobacilli load 5.23 (colonies, log/g DM). DMD and NDFD were in accord with normal wheat green forage digestibility – 64.6 and 54.3%, respectively. The wet weight loss during ensilage was the same for all treatments – 0.88 to 1.15%, nevertheless, a significant difference was found in DM weight loss between treatment (TRT) #3 (high DM loss, 4.17%) and TRT #2 (low DM loss, 1.48%). All the other TRTs showed the same

DM loss (2.62-3.24%). No significant difference was found for pH, and WSC between TRTs: pH – 3.84-3.88; WSC – 0.8-1.8%. LA concentration of TRT #2 was significantly lower (5.17%) than TRTs #3, #4, & #6 (6.0-6.17%), but was the same as TRTs #5 & #1 (5.43 and 5.77, respectively). Regardless of TRTs, these values present optimal ensiling conditions and in accord, quality of silages. Ethanol concentration was not different between TRTs, but AA concentration was the highest for TRT #3 (2.28%) in comparison to the other TRTs (1.13-1.61%). The chemical composition of all silages was the same with no significant differences for CP, NDF, ADL and ash. More than that, the IVDMD and IVNDFD were not significantly different: narrow values of 62.1–63.8% for IVDMD and 48.3-51.8% for IVNDFD. DMD and NDFD was the same for all additives and control treated silages in this study. This was contrary to the declaration of improved DNFD of treated silage as a result of cellulolytic enzyme activity of the additive claimed by some of the marketing company's personnel. All TRTs had the same top grade organoleptic evaluation, for color, smell, texture and level of top and inside molds existence. Data obtained in 5 days of aerobic silage exposure have showed that TRT #3 had the best aerobic stability, maintaining a low pH (3.87) similar to the day the container was opened, and significantly lower CO<sub>2</sub> production (9.96 g CO<sub>2</sub>/Kg DM) in comparison with the other TRTs (33-45 g CO<sub>2</sub>/Kg DM). The higher level of VFA (for acetic and propionic acids), obtained for TRT #3, supports this unique aerobic stability. The table bellow summarizes the main findings of the study.

| TRT #   | DM loss, %         | ADL, % | IVDMD, % <sup>2</sup> | IVNDFD, % <sup>2</sup> | AA, %             | pH in "open day" | pH after aerobic exposure <sup>1</sup> | CO <sub>2</sub> production, g/kg DM <sup>1</sup> |
|---|--------------------|--------|-----------------------|------------------------|-------------------|------------------|--|--|
| 1   | 2.93 <sup>ab</sup> | 4.97   | 63.1                  | 50.0                   | 1.50 <sup>b</sup> | 3.87             | 4.91 <sup>abc</sup>                    | 33.2 <sup>a</sup>                                |
| 2   | 1.48 <sup>b</sup>  | 5.06   | 62.1                  | 48.3                   | 1.61 <sup>b</sup> | 3.88             | 4.34 <sup>bc</sup>                     | 39.0 <sup>a</sup>                                |
| 3   | 4.17 <sup>a</sup>  | 5.00   | 62.7                  | 49.3                   | 2.28 <sup>a</sup> | 3.84             | 3.87 <sup>c</sup>                      | 9.96 <sup>b</sup>                                |
| 4   | 2.62 <sup>ab</sup> | 4.93   | 63.0                  | 51.8                   | 1.24 <sup>b</sup> | 3.88             | 6.52 <sup>a</sup>                      | 45.4 <sup>a</sup>                                |
| 5   | 3.17 <sup>ab</sup> | 4.93   | 63.3                  | 49.3                   | 1.13 <sup>b</sup> | 3.88             | 4.45 <sup>bc</sup>                     | 36.3 <sup>a</sup>                                |
| 6   | 3.24 <sup>ab</sup> | 5.40   | 63.8                  | 50.6                   | 1.54 <sup>b</sup> | 3.86             | 5.73 <sup>ab</sup>                     | 43.4 <sup>a</sup>                                |
| SEM   | 0.12               | 0.09   | 0.16                  | 0.31                   | 0.0004            | 0.004            | 0.09                                   | 0.91   |
| P   | 0.04               | 0.94   | 0.64                  | 0.54                   | 0.03              | 0.53             | 0.003                                  | 0.0004   |
| TRTs: 1=Koffolk; 2=Alltech; 3=Siloguard; 4=Regulator; 5=Siloking; 6=Control, no additive.   |                    |        |                       |                        |                   |                  |  |  |
| 1=pH and CO <sub>2</sub> production obtained after 5 days of aerobic exposure; 2=in vitro 2 step digestibility, according to Tilley and Terry's method. |                    |        |                       |                        |                   |                  |  |  |
| Values in the same column, with different letters are significantly different at p<0.05   |                    |        |                       |                        |                   |                  |  |  |

**Summary:** Special care was stressed in this study to test silage additives during optimal-best ensilage conditions. This emphasis resulted in top quality silages, almost totally regardless of additives administration. In these conditions, and in opposition to the common opinion, the contribution of additives to silage quality was minor. The additives had no effect on silage chemical composition and in vitro digestibility. The silage additive – "siloguard" had higher DM loss during ensilage, but better aerobic stability on 5 days aerobic exposure test. Nevertheless, this length of exposure may be relevant to silage utilization rate in a small feed center, but is less relevant to mega feed centers, producing TMRs for thousands of dairy cows/day, where the rate of silage usage is very high, and the duration of aerobic exposure of the front wall of the silage bunker is short.

**Acknowledgments:** The authors wish to express their thanks to all the dairy farmers who assisted during this trial, in donating the additives, preparing and sealing the containers, opening and sampling the silages, processing and preparing the samples for analysis, and mainly – restraining themselves from asking (up to end of data analysis and summary) "which is the control and which is the treatment". Special thanks to Adrian Guelman of Hotam dairy, Avi Friman of Alumim dairy, Marcello Waser of Nirim Dairy and Shuki Barda of Patish feed center....and to whomever we forgot – please accept our sincere apology.