

עשרת ההדגשים בעשיית



קטעים נבחרים מתוך המבוא של עבודת הגמר של **גבריאל ארנסון ושמעון רווח**, שנושאה "השפעת תוספי תחמיץ לירק חיטה, על הרכב כימי ונעכלות, פרופיל החמצה ועמידות לחשיפה אירובית" (בהדרכתו של ד"ר **רון סולומון**)

עונת קציר התחמיץ בפתח, השדות בצפון קיבלו לאחרונה, מנה יפה של גשם (הדרום - פחות) ונקווה שגם היבולים יהיו מספקים. בתהליך עשיית תחמיץ החיטה, קיימת חשיבות רבה בליווי צמוד של מנהל הרפת בכל השלבים, ויש כאלה הרבה. מעקב והקפדה יבטיחו מזון איכותי וחיוני לפרות גבוהות התנובה שלנו. להלן עשרת ההדגשים להכנת תחמיץ טוב

חשיבות תחמיץ החיטה בהזנת רפת החלב

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. מבין התחמיצים (חיטה, תירס וסורגום) תחמיץ חיטה הינו העיקרי. מדי 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 בבלייל. מחיר תחמיצי החיטה בארץ גבוה מאד (המחירים הצפויים לאביב 2008, כ-850-900 ₪ לטון ח"י, בבור, כולל פחת וריבית) ומכאן ההקפדה הרבה באשר לאיכות החומר המואבס והקטנת הפחיתים לסוגיהם: פחיתים הקשורים בשלב האירובי, בעת מילוי הבור בירק והידוק, או בעת השימוש בתחמיץ בזמן חשיפת חתך הכרייה לאוויר; וכאלה טבעיים, הקשורים בשלב האנאירובי (הפיכת סוכרים לחומצות אורגניות).

עקרונות ההחמצה

העיקרון - 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,

1. תוך ניצול סוכרים הקיימים בירק, ויצירת חומצות אורגניות, בעיקר חומצה לקטית. התוצאה - ירידת ה-pH לרמה של סביב 4, הפסקת הפעילות של המיקרו-אורגניזמים, ושימור החומר בפני גורמי קלקול, כל עוד אינו נחשף לחמצן.
2. הדרישות הבסיסיות מירק מספוא גס, כחומר המיועד להחמצה, לצורך קבלת תחמיץ איכותי הן:
 1. רמה מספקת של סוכרים מסוימים במים (WSC-water soluble carbohydrates), אשר תשמש אצל החיידקים הלקטובציליים כמזון וכחומר המוצא ליצירת החומצות האורגניות (6%-8%).
 2. שיעור רטיבות המתאים לריבוי מיטבי של חיידקים, הנע בין 60%-70% (30%-40% חומר יבש).
 3. כושר בופרי (התרסה - Buffer capacity) נמוך, דהיינו, כושר נמוך של החומר למתן, או למנוע את ירידת ה-pH; לרוב, רמות חלבון ומינרלים גבוהות מגדילות את הכושר הבופרי, ואכן, קטניות שבהן רמות החלבון והמינרלים גבוהות, ידועות כצמחי מספוא שקשה להחמיצם.
 4. מטען הולם ומספק של חיידקים לקטובציליים על הצמח בעת הקציר (מבוטא כמספר מושבות לק"ג חומר יבש ירק). חיידקים אלו יהוו את הבסיס לריבוי וליצירת המושבות בתנאים האנאירוביים במהלך ההחמצה. פרמטרים האלה הם פרמטרים מדידים, ומקובלים גם ברמה המשקית, ומשמשים לבחינת התאמתו של חומר המוצא לתחמיץ.

השלבים העיקריים בהכנת תחמיץ:

כפי שחזקה של שרשרת, רבת חוליות, נקבע על פי החוליה החלשה, כך גם הכנת תחמיץ כוללת כמה שלבים

תחמיץ חיטה

גבריאל ארונסון ושמעון רווח
עבודת גמר קורס הנדסאי רפת - רופין

מרכיב תזונתי חשוב, אולם ריכוז גבוה שלהן בצמח המוצא גורם לעלייה בכוסר 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 שבו אינם מהווה גורם בעל כושר התרסה גבוה.

ד. מטען המיקרו-אורגניזמים: הצמחים המובאים מן השדה נושאים עמם מטען של מיקרו-אורגניזמים אפפיטיים (המצויים באופן טבעי על פני הצמח). שיעורם תלוי בצמח, אך גם בתנאי הסביבה - טמפרטורה, לחות ומידת החשיפה לקרינה. המיקרו-אורגניזמים האלה, הנמצאים במצב רדום בתנאים אירוביים, "מתעוררים לעבודה" בתנאי מחסור בחמצן, ובעקבות שחרור מוהל תאי הצמח, כתוצאה מהקיצוץ, הם מתרבים במהירות ומשמישים כגורם העיקרי בתהליך ההחמצה. שהשפעתם העיקרית היא בשלבי ההחמצה הראשונים, אך גם בעת הכרייה, כשהתחמיץ חשוף לאוויר. בתנאי הארץ, מטען החידקים בחומרי המוצא הוא לרוב מיטבי. עם זאת, יש ביכולתנו להשפיע לטובה על מטען המיקרו-אורגניזמים בירק המובא לבור התחמיץ, על ידי מניעת זיהומו בקרקע, או בעשבי בר

2. קציר

קבלת ההחלטה לקביעת מועד הקציר של הצמח להחמצה מותנית ב-2 גורמים עיקריים - שלב ההבשלה; גורמים ממשקיים. מועד הקציר המיטבי 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 שיעור נעכלות דופן תא גבוה יותר. בנוסף, מועד הקציר תלוי בתנאי האקלים במהלך גידולו, בזן, בהיערכות 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

לצורך ההחמצה היא 32%-38% לכן, לרוב, לא נקצר צמח החיטה ישירות ומובא להחמצה, אלא נדרשת הקמתו לאחר הקציר והבאתו לרמה המתאימה להתפתחות חיידקי חומצת החלב. באם החומר יבש מדי, רב הסיכוי שיתפתחו בו שמרים ופטריות, וכאשר רטוב מדי - 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 מדי 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 חומרי תשמורת, כעמילן. מרכיביהן הסוכריים של פחמימות אלו, אינם 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 אופטימלי של סוכרים מסיסים לצורך החמצה.

ג. חלבונים, מינרלים וכוסר התרסה: חלבון ומינרלים טבעיים של הצמח, מהווים

המצריכים עשייה קפדנית; רשלנות בשלב אחד, עלולה לפגום בתהליך כולו. 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, תחמיץ החיטה (חורפיים) מהווים כשני שלישי מכלל התחמיצים שבהם 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 והשיכיח 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 ופיזיקליים) 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, במועד הקציר, במשקעים, ובאזור האקלימי שבו הוא גדל. התכולה המיטבית



שדות חיטה בנגב

5. העשרה

באם מעוניינים לעשות שימוש בתוספים משפרי תחמיץ, שלב הקיצוץ הוא שלב המתאים ביותר להוספת חומרים אלו, ע"י פיזורם ההומוגני בהתזת התוסף הנוזלי על סכיני החיתוך, או פיזורם כאבקה לתוך תוף הקיצוץ. בשוק קיימים כיום כ-5 סוגים שונים של תוספי ירק לתחמיץ. בעיקרון, התוספים מחולקים לקבוצות העיקריות הבאות: 1. חומרים מעודדי תסיסה: הכוונה בעיקר לתוספת של חיידקים לקטובציליים, וכן, אנזימים צלולוליטיים, הממיסים את סוכרי דופן התא, ומסייפים בכך סוכרים זמינים לתהליך ההחמצה; 2. חומרים מעכבים: לתוספים מקבוצה זו ייעוד עיקרי לעכב את התפתחותם של מק"א בלתי רצויים (חיידקים, פטריות ושמרים). חומרים מקבוצה זו הם שונים, בעיקר חומצות אורגניות או חומרים נוגדי פטריות. מן הראוי, שכל מרכז מזון – רפתן יבחן את כדאיות השימוש בתוספים, על פי שיקול דעתו.

6. הובלה

בשלב זה מעבירים את הירק המוקמל והמקוצץ אל בור ההחמצה. לצורך קיצור הזמן של 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 ימתין זמן רב להידוקו, עקב מגבלת כלים מהדקים בבור.



משמעות גודל הקיצוץ

ממשיכים לנשום, "לשרוף" סוכרים זמינים ולפרקם לפחמן דו חמצני ומים. מכאן הצורך לצמצם את ההקמלה למינימום הנדרש. כאשר ההקמלה לא מיטבית, ושיעור הח"י בצמח המוחמץ נמוך מ-30%, נוצר נגר (נוזל היוצא מבור התחמיץ). שיעור הנגר גובר ככל שחלקיקי הירק קטנים יותר ועוצמת ההידוק גבוהה יותר. מגרעות הנגר הן בזיהום הסביבתי שהוא יוצר, ובהפסד מזינים מסיסים, שנעכלותם גבוהה במיוחד, כמו חלבון, סוכרים ומינרלים מסיסים (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 אנאירוביים במהירות האפשרית. ירק יבש עם פיסות ארוכות, קפיצי יותר, מה שמקשה מאד על הידוקו בבור. בנוסף, ירק ארוך סיב, תופס נפח גדול יותר, מגביר עלות הובלה, 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 הפיזיקליים הדרושים להעלאת גרה ולהפרשת רוק.



מועד הקציר – דרגת מילוי של התארכות הגרעין ותחילת מילוי לאחר הפריחה

3. הקמלה

הקמלה משמעותה, ייבוש חלקי של ירק המספוא בשדה על מנת להביאו לרמת חומר יבש (וכפועל יוצא – ריכוז סוכרים) שתאים להחמצה, וכן לריבוי מיטבי של החיידקים הלקטובציליים. הקמלה מתאימה תמנע נגר. כנאמר קודם, ירק החיטה מוקמל לרוב לרמה של כ-32%–38%. מהירות ההקמלה קשורה במזג האוויר (קרינה, טמפרטורה, רוח), סוג ומבנה הצמח, היבול וגובה האומן ופיזורו (אומן=ערמת החומר הקצור) ועוד. הקמלה ממושכת תביא להפסדים, היות ותאי הצמח



ההקמלה בשדה

וכתוצאה מכך יגדלו ההפסדים הכרוכים
בנשימת הצמח.

מחתך כרייה של תחמיץ, שלא הודק כראוי,
תהיה חדירת אוויר קלה ועמוקה יותר.
במצבים קיצוניים, שבהם קצב חדירת האוויר
גבוה מקצב השימוש בתחמיץ, בפועל יואבס
תמיד תחמיץ באיכות ירודה. בבור התחמיץ
ההידוק נעשה ע"י טרקטור גלגלים כבד, הנוסע
הלך ושוב, ומהדק בצורה שיטתית, שכבה
אחר שכבה. חשוב לדעת, שעובי השכבה
שניתן להדק בצורה יעילה היא בתחום של
30-50 ס"מ בלבד, לפיכך, לא ניתן להשפיע
ע"י הידוק על ירק הנמצא עמוק יותר. שכבה
מעופשת המתגלה בזמן הכרייה, והשימוש
בתחמיץ, 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 שכבה
שפוזרה תזכה להידוק מרבי, קודם לפיזור
שכבה חדשה.

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

א. 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 ופטרייות. 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
חזקה בטמפרטורה של הירק, בעיקר כאשר
ההדוק אינו מיטבי. כתוצאה עלולה להתרחש
ריאקציה כרמליזציה (מיילארד), שבה,
בנוכחות מים וטמפרטורה גבוהה, נקשרים
סוכרים וחומצות אמינו בקשר בלתי הפיך, מה
שפוגע בנעילות החלבון של התחמיץ. מן
הראוי לצמצם שלב זה ככל שניתן.

ב. 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 העיקרי של פעילות זו היא חומצה
לקטית, חומצה חזקה המהווה את הגורם
העיקרי להורדת ה-pH. בנוסף ללקטובציליים,



הרמה וקיצוץ הירק לקראת הובלתו לבור



הידוק הבור על ידי כמות כלים מחושבת

טרקטורים. ניתן קודם לפיזור, לפזר תוספים
ישירות על הערמה במינון המתאים; ערבובם
יתבצע במהלך פיזור הירק בבור. הידוק היא
פעולת דחיסת פיסות הירק, צמצום נפח
האוויר המצוי בין חלקיקיו, זאת על מנת,
להגיע לתנאים אנאירוביים במהירות המרבית.
פיסות ירק במצב לא מהודק יכילו יותר אוויר
בין חלקיהן דבר, שיאריך את משך זמן נשימת
הצמחים ופעילות המק"א האירוביים,

מכאן החשיבות של סנכרון נאות בין קצב
הגעת המשאיות המביאות ירק לבור, לבין קצב
ההידוק על ידי הכלים הכבדים המפזרים
והמהדקים.

7. הידוק

עם הגעת המשאיות לבור, הירק נפרק בערמה,
לרוב, על משטח בטון צמוד לבור, ומשם
מתחיל הפיזור, מילוי הבור וההידוק ע"י



משאית פורקת את הערמה במשטח שלפני בור התחמיץ – תזמון ראוי

תשאיר חתך חזית ישרה ובלתי מזועזעת. יציבות תחמיצים בתנאי חשיפה לאוויר, מבטאת את "חיי המדף" של התחמיץ. תחמיץ בלתי יציב יראה עלייה 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, שבו קצב ריבוי העובשים גבוה.

10. תזמון

מרבית הפעולות שתוארו בשלבים הקודמים חייבות להיות מתואמות, מהשדה ועד להאבסת התחמיץ באבוס, תוך הקפדה על כל פרט: קציר הירק והקמלתו, הובלתו לבור בקצב המתאים להקטנת משך החשיפה של חתך הכרייה לאוויר: חייב להיות תזמון נכון בין ממדי הבור, קצב השימוש בתחמיץ ועומק הכרייה, כך שהכורה יחזור לחתך האחרון שנוצר במהירות האפשרית. ■

התמונות צולמו ברפת מושב הבונים

מתרבים בתנאים אלו גם אנטרו-בקטריות (חיידקי מעיים), חיידקי קלוסטרדיה ושמרים. מטען המק"א שהובאו מהשדה, והתנאים שישררו בתחמיץ, יקבעו מי מאוכלוסיית המק"א תהפוך להיות האוכלוסייה הדומיננטית. תהליך התסיסה יימשך עד לשלב שבו 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 (שהינה חסרת ריח) נוצרים בתסיסה האנאירובית גם חומצות שומן נדיפות, VFA (Volatile Fatty Acid), בעיקר חומצה אצטית וחומצה פרופיונית), שלהם חשיבות בנאכלות (מקנות לתחמיץ את ריחו האופיני) 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 פוליאיתילן 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 למ"ר), המשמש כחומר משמר שמקטין הפסדים

הנובעים מהמצאות אוויר מתחת לפלסטיק, בעיקר בשכבה העליונה.

9. כרייה

בפעולה זו כורים את התחמיץ מהבור בהתאם לרמת צריכתו ברפת, חושפים אותו לאוויר ומבטלים את האמצעים, שבהם נקטנו כדי להגן עליו מפני חמצן. 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



איטום – בור תחמיץ מכוסה היטב