

השפעת Siloguard II על התסיסה המשנית בתחמיצי חיטה

אשר בראון – תזונאי ש.ח. מהנדסים

התסיסה המשנית

אחת הבעיות העיקריות בעשיית תחמיץ היא הקלקול האירובי לפני ואחרי פתיחת הבור. עבודות מחקר רבות מעידות, כי בבור המנוהל היטב, 70% עד 83% מהפחת בחומר היבש נובעים מקלקול אירובי (נשימה ותסיסה) (1, 3).

העדויות העיקריות לקלקול אירובי הן:

- הופעה של מושבות לבנות או צבעוניות של אורגניזמים;
- התחממות מעל ל-37 מע"צ;
- pH גבוה מ-5.

מאחר שקלקול אירובי דורש חמצן, הקלקול מתרחש לרוב בשכבות החיצוניות של התחמיץ:

- מתחת לניילון;
- בשכבה החשופה לאוויר בזמן המילוי;
- בחתך הבור כאשר פותחים אותו ומאביסים ממנו.

התסיסה המשנית ממשיכה להתרחש בעת האבסת התחמיץ, וזאת הסיבה להתחממות הבלייל בעגלה המערבלת ובאבוס. הקלקול האירובי הוא תוצאה של גדילת שמרים, עובשים וחידקים אירוביים בנוכחות חמצן. אורגניזמים אלה צורכים סוכרים, תוצרי תסיסה או חומרים מזינים עתירי אנרגיה אחרים מתוך התחמיץ, והופכים אותם לפחמן דו-חמצני (CO_2), למים ולחום. כתוצאה מכך גדל הפחת בחומר היבש וקטן הערך התזונתי של התחמיץ. האורגניזמים הגדלים והחומרים שהם מפרישים עלולים להיות רעילים לבעלי החיים. מאחר שחומצות התסיסה נהרסות על ידי הקלקול האירובי, ה-pH עולה ואף עובר לעתים את pH7.

הקלקול האירובי הוא תהליך מורכב היות ואורגניזמים שונים יכולים להיות פעילים

בתחמיצים שונים או אף באותו תחמיץ בשלבים שונים. השמרים הינם קבוצה של פטריות הגדלים מהר ולרוב הם אלה המתחילים את תהליך הקלקול. הם יוצרים מושבות לבנות קטנות על פני התחמיץ. שמרים נוטים להיות רגישים לטמפרטורות גבוהות ולכן ייהרסו, אם טמפרטורת התחמיץ תעלה מעל ל-45 מע"צ.

חידקים המייצרים חומצה אצטית זוהו בשנים האחרונות כשמתתפים בתהליך קלקול תחמיצי תירס. גם הם יכולים להתחיל את תהליך הקלקול, תוך ניצול של תוצרי תסיסה, ובכך להעלות את ה-pH (4). חידקים מקבוצת Bacilli הם חידקים המתחילים להתרבות כאשר ה-pH עולה מעל ל-5. על אף שהם אינם יכולים להתחיל את תהליך הקלקול האירובי, הם תורמים רבות בהרחבת הנוקים שהוא גורם (5). העובשים הם קבוצה של פטריות הגדלים כקבוצות חוטים ארוכים והאופייניים לתחמיצים מקולקלים. העובשים גדלים יותר לאט משאר האורגניזמים האירוביים, אולם הם פחות רגישים לטמפרטורות גבוהות. לכן הם האורגניזמים האחרונים המתרבים על תחמיצים מקולקלים. לצד ניצול חומרים מזינים מתוך התחמיץ וייצור חום, מפרישים סוגים מסויימים של עובשים (בתנאים המתאימים) רעלנים המזיקים לבעלי-חיים.

התחממות התחמיץ היא הסימן העיקרי לקלקול אירובי. הזמן החולף מרגע החשיפה לאוויר ועד לתחילת ההתחממות יכול לשמש פרמטר חשוב כאשר מאביסים תחמיץ. ככל שההתחממות מתחילה מהר יותר, כך תהליך קלקול התחמיץ מהיר יותר והקף הנזק גדול יותר. הזמן החולף עד לתחילת ההתחממות תלוי במספר גורמים שהעיקריים שבהם:

- כמות האורגניזמים האירוביים הנמצאים בתחמיץ בעת חשיפתו לאוויר;

- סוג התחמיץ;
- טמפרטורת הסביבה;

עבודה זאת בוצעה על ידי יניב פיטי והוגשה כעבודת גמר למוסד החינוכי גן-שמואל, משרד החינוך

- ממשק הכריה.

מספר אורגניזמים אירוביים רב נגרם לרוב כתוצאה מפרק זמן ממושך בין הקציר ועד להשגת סביבה נטולת חמצן בבור הסגור, או מחדירת חמצן במהלך האחסון. תחמיצים שריכוז הסוכרים בהם גבוה, רגישים יותר לקלקול אירובי. הקלקול האירובי מהיר יותר במזג אוויר חם, כי אורגניזמים אירוביים מתרבים מהר יותר בטמפרטורות גבוהות יותר.

השפעת התסיסה המשנית על ביצועי בעלי-חיים

בנוסף לנזק הכלכלי של התסיסה המשנית, הנובע מהפחת בחומר היבש ומהירידה בערך התזונתי של החומר היבש הנותר (עליה בתכולת האפר והליגנין וירידה בתכולת הפחמימות הלא-מבניות), הקלקול האירובי פוגע גם בביצועי בעלי-החיים. האורגניזמים האירוביים המשתתפים בתהליך הקלקול מפרישים לתוך התחמיץ תוצרים רבים, וביניהם חומצות-שומן נדיפות ואלכוהולים. שני סוגי חומרים אלה ידועים כמקטינים את צריכת החומר היבש, כתוצאה מפעילותם הלא-רצויה בכרס (6).

בעבודה שהוצגה ב-1993, נבדקה השפעת העמידות האירובית של תחמיצי שיפון על צריכת החומר היבש של פרות חלב. נמצא כי ככל שהתחמיץ היה פחות עמיד בפני קלקול אירובי, כך ירדה צריכת המזון של הפרות (7).

השפעת Siloguard II על התסיסה המשנית

Siloguard II הינו תוסף לתחמיץ המוסף לירק בזמן הכנסתו לבור. פעולתו מתבצעת בשני מישורים – זירוז התסיסה הרצויה (ייצור חומצת חלב) ודיכוי התסיסה האירובית.

חלק מהמרכיבים הפעילים שב-Siloguard II הם תרכובות גפרית. כאשר תרכובות אלה נמצאות בסביבה לחה וחמוצה, מתרחשת תגובה כימית שבמהלכה הגפרית סופחת אליה חמצן ונוצר גז SO_2 (דיר-חמוצת הגפרית). כתוצאה מתגובה זאת מתרחשים שלושה תהליכים:

○ ספיחת החמצן על ידי הגפרית מקטינה

בצורה משמעותית את כמות החמצן הזמינה לאורגניזמים אירוביים.

○ הגז SO_2 הנוצר נוטה באופן טבעי להתפשט, ובכך הוא דוחק החוצה את האוויר שנשאר כלוא בתוך הבור.

○ הגז SO_2 הינו גז רעיל לאורגניזמים אירוביים. שחרורו בתוך התחמיץ מקטינה בצורה משמעותית את האוכלוסיות הלא-רצויות.

כתוצאה משלוש הפעולות הנ"ל, האורגניזמים האירוביים חדלים מלהתרבות בשלב מוקדם יותר. לכן, הם גורמים פחות פחת בשלב מילוי וסגירת הבור.

כאמור לעיל, הפרטמטר העיקרי המשפיע על הקף התסיסה המשנית הוא מספר האורגניזמים האירוביים הנוכחים בתחמיץ בזמן חשיפתו לאוויר. הקטנת משך הזמן בו אורגניזמים אלה יכולים להתרבות, וחשיפתם לגז SO_2 הרעיל עבורם, מקטינה בצורה משמעותית את מספרם בתחמיץ. כתוצאה מכך קטנה התסיסה המשנית.

בניסויים שנעשו ובחנו את השפעת Siloguard II על העמידות האירובית של תחמיצים נמצא, כי תחמיצים שטופלו ב-Siloguard II התחממו פחות, וייצרו פחות CO_2 מתחמיצי הביקורת (8). אלה שני המדדים העיקריים לבחינת הקף התסיסה המשנית.

בארץ, משקים רבים שהשתמשו ב-Siloguard II דיווחו על חזית כריה קרה יותר בבורות מטופלים. אותם משקים גם דיווחו על שמירה טובה יותר של ריח וטעם התחמיץ במהלך החשיפה לאוויר.

העבודה הנוכחית באה לבסס נתונים אלה על ידי סקירת מספר רב של בורות תחמיץ מטופלים ובלתי מטופלים, ומדידת הטמפרטורה של חזית הכריה.

חומרים ושיטות

נדגמו 18 בורות של תחמיץ חיטה ב-18 משקים שונים, מהם 11 בורות ביקורת ו-7 בורות מטופלים ב-Siloguard II, במינון של 0.5 ק"ג לטון ירק טרי.

בכל בור נמדדה טמפרטורת החתך ב-6 עד 8

מקומות שונים ובשלושה עומקים שונים: כ"ט ס"מ, 25 עד 50 ס"מ ו-75 עד 100 ס"מ. חושבו הממוצעים של המדידות לכל בור בנפרד, ולכל עומק בנפרד. ממוצעים אלה שימשו לניתוח הסטטיסטי.

טמפרטורת הסביבה נמדדה בתחילה ובסוף המדידות של כל בור, וממוצע שתי המדידות שימש לחישוב ההפרשים שבין טמפרטורת החתך לטמפרטורת הסביבה.

תוצאות

בטבלה הבאה מובאות תוצאות המדידות.

טבלה 1. תוצאות מדידות טמפרטורה בחתך של בורות תחמיץ חיטה, בשלושה עומקים.

משק	טיפול	טמפרטורת הסביבה	טמפרטורת הבור בעומק			הפרש טמפ' ביחס לסביבה		
			2 ס"מ	25 ס"מ	75 ס"מ	2 ס"מ	25 ס"מ	75 ס"מ
1	ב	20.00	35.00	30.33	31.33	15.00	10.33	11.33
2	ב	26.00	34.67	37.33	38.50	8.67	11.33	12.50
3	ב	25.00	29.33	35.33	37.67	4.33	10.33	12.67
4	ב	23.00	28.00	31.50	34.00	5.00	8.50	11.00
5	ב	25.00	29.80	29.00	32.00	4.80	4.00	7.00
6	ב	26.00	32.71	34.20	36.40	6.71	8.20	10.40
7	ב	22.00	28.22	32.33	33.00	6.22	10.33	11.00
8	ב	23.00	27.00	31.00	32.75	4.00	8.00	9.75
9	ב	20.00	29.00	34.75	36.75	9.00	14.75	16.75
10	ב	21.00	26.00	32.00	35.00	5.00	11.00	14.00
11	ב	25.00	31.80	34.00	36.00	6.80	9.00	11.00
12	נ	23.00	29.00	33.60	34.80	6.00	10.60	11.80
13	נ	25.00	26.00	28.50	30.50	1.00	3.50	5.50
14	נ	22.00	25.11	31.38	32.50	3.11	9.38	10.50
15	נ	28.00	29.17	37.00	39.00	1.17	9.00	11.00
16	נ	24.00	26.50	34.00	36.00	2.50	10.00	12.00
17	נ	21.00	24.13	32.00	33.75	3.13	11.00	12.75
18	נ	19.00	20.71	26.67	28.67	1.71	7.67	9.67

ב = ביקורת, נ = מטופל ב־Siloguard II.

בטבלה הבאה ובגרף מספר 1 מובאים ממוצעי השונים, בבורות הביקורת ובבורות המטופלים מדידות הטמפרטורה (במע"צ) בעומקים ב־Siloguard II.

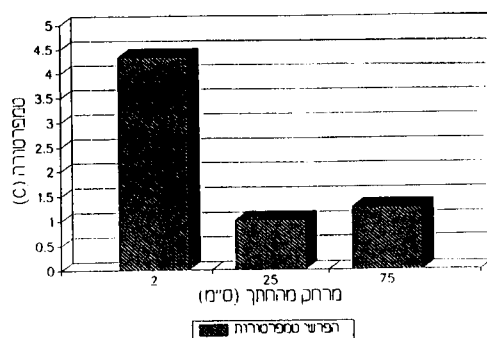
טבלה 2. ממוצעי מדידות טמפרטורה בחתך של בורות תחמיץ חיטה, בשלושה עומקים.

הפרש	Siloguard II	בקורת	
0.13	23.27	23.14	טמפרטורת הסביבה
4.34	25.80 b	30.14 a	טמפרטורה ב־2 ס"מ
1.01	31.88	32.89	טמפרטורה ב־25 ס"מ
1.25	33.60	34.86	טמפרטורה ב־75 ס"מ
4.21	2.66 b	6.87 a	הפרש טמפרטורות ב־2 ס"מ
0.88	8.84	9.62	הפרש טמפרטורות ב־25 ס"מ
1.12	10.46	11.58	הפרש טמפרטורות ב־75 ס"מ

a, b: תוצאות בשורה המסומנות באות שונה, נבדלות סטטיסטית $p < 0.05$.

מקיפה שביצעו לבדיקת פעולת Siloguard II בתחמיין חיטה בישראל. בעבודתם מדווחים החוקרים, כי טמפרטורות חתך בור הביקורת היתה 31.5 מע"צ, בממוצע, בעוד טמפרטורת חתך הבור המטופל ב-Siloguard II היתה 27.8 מע"צ, בממוצע. זה הבדל של 3.7 מע"צ שנמדד בשני בורות דומים באותו משק (8).

הפרש טמפ. בין בורות SG ובורות בקורת בעמקים שונים (גרף 2)

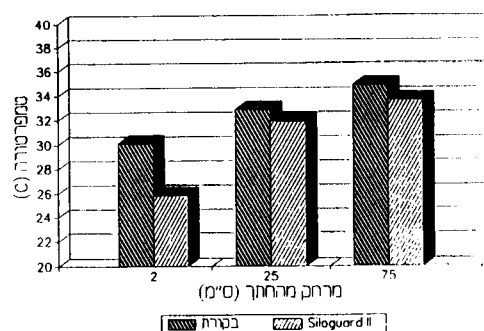


בניסוי מעבדה שבוצע על ידי ד"ר גילי אשבל וד"ר צביקה וינברג נמצא, כי בעת חשיפה לאוויר, תחמיצים המטופלים ב-Siloguard II ייצרו פחות גז CO_2 מתחמיצי הביקורת. תחמיצי הביקורת פלטו 14.5 גרם CO_2 לכל ק"ג ח"י של תחמיין, בעוד התחמיצים המטופלים ב-Siloguard II פלטו 1.9 גרם CO_2 לכל ק"ג ח"י של תחמיין (8). זה הבדל משמעותי, המצביע על עמידות אירובית טובה יותר של תחמיצים מטופלים ב-Siloguard II.

בניסוי אחר שבוצע על ידי גבי עדין, מדרין בקר באזור רחובות, נמצא כי חזית הכריה של בור תחמיין תירס שטופל ב-Siloguard II היתה פחות חמה מחזית הכריה של בור הביקורת. הפרש הטמפרטורה שבין הסביבה לחתך הכריה היה 0.5 מע"צ בבור המטופל ב-Siloguard II, לעומת 4.0 מע"צ בבור הביקורת.

מתוצאות כל הניסויים הנ"ל עולה, כי הטיפול ב-Siloguard II מקטין באופן משמעותי את הקף התסיסה המשנית ואת נזקיה. הקטנתה של אוכלוסיית האורגניזמים האירוביים שבתחמיין

טמפרטורות של בורות SG ובורות בקורת בעמקים שונים (גרף 1)



טמפרטורת הסביבה היתה דומה במהלך מדידות הבורות המטופלים והלא-מטופלים. נמצא הפרש מובהק בין טמפרטורת החתך של הבורות המטופלים ב-Siloguard II, לעומת חתך בורות הביקורת. כמו כן, נמצא הבדל מובהק בין הטיפולים בהפרש הטמפרטורות שבין החתך לסביבה. במדידות הטמפרטורה בעומק 25 ו-75 ס"מ, הבורות המטופלים היו קרים יותר מבורות הביקורת, אולם הפרש זה לא הגיע לידי מובהקות סטטיסטית.

דיון

טמפרטורת הסביבה משפיעה רבות על עוצמת התסיסה המשנית, ואין ספק כי במזג אוויר כשלו נזקי הקלקול האירובי גדולים יותר מאשר באזורים קרים יותר (3).

האורגניזמים המשתתפים בקלקול האירובי מטיבים להתרבות בטמפרטורות שמעל ל-30 מע"צ ולכן, ככל שטמפרטורת הסביבה עולה, כך גוברים נזקי התסיסה המשנית. במהלך עבודה זאת, טמפרטורות הסביבה היו דומות בעת מדידת הבורות השונים, כך שגורם זה לא השפיע על תוצאות התצפית.

הטמפרטורה של חתך הכריה של הבורות המטופלים היתה ב-4 מע"צ נמוכה יותר מזאת של בורות הביקורת (ראה גרף 2). הפרש מובהק זה היוו משמעותי מאד במושגים של התחממות חתך. ממצא דומה דווח על ידי גילי אשבל וד"ר צביקה וינברג ממכון וולקני, בעבודה



ניסויים שונים הראו, כי לאורך זמן, קצב היעלמות פחמימות לא-מבניות מתחמיצים מטופלים ב-Siloguard II קטן יותר מאשר בבורות הביקורת. גם נתון זה יכול להצביע על פעילות נמוכה יותר של מיקרואורגניזמים בתחמיצים המטופלים ב-Siloguard II.

סיכום

תצפית זאת באה לתמוך, על ידי סקירת מספר רב של בורות תחמיץ חיטה, ממצאים של ניסויים קודמים, ובדיווחים של מספר רב של רפתנים, על שימור טוב יותר של התחמיצים המטופלים ב-Siloguard II, בזמן חשיפתם לאוויר. בתצפית זאת נמצא, כי בורות מטופלים ב-Siloguard II מתחממים פחות מבורות ביקורת בזמן חשיפתם לאוויר. ההבדלים המובהקים שנמדדו כאן דומים לממצאי עבודות אחרות, ומצביעים על עמידות אירובית טובה יותר של התחמיצים המטופלים ב-Siloguard II על כל המשתמע מכך.



על ידי תרכובות הגפרית היא אמצעי יעיל להקטנת התסיסה המשנית.

מדידות הטמפרטורה בעומק הבור לא הראו הבדל מובהק בין הבורות המטופלים לבורות הביקורת (ראה גרף 2). נראה שכמות החמצן החודרת לעומקים אלה (מעבר ל-25 ס"מ מפני החתך) אינה מספיקה כדי לגרום לקלקול אירובי רב. ממצאים דומים דווחו בניסוי שנעשה בארה"ב, ובו בחנו את הקף הקלקול האירובי במרחקים שונים מחזית הכריה. נמצא כי בעומק 5 ס"מ עולה הטמפרטורה ל-10 מע"צ כבר אחרי שעות. לעומת זה, בעומק 20 ס"מ הטמפרטורה עלתה רק ל-5 מע"צ לאחר 24 שעות (2).

ההפרש לטובת הבורות המטופלים נובע ככל הנראה מכך, שהבורות המטופלים התחממו פחות בעת התסיסה הראשונית (לאחר סגירת הבור) מבורות הביקורת. בורות תחמיץ מתחממים בעת ההחמצה, ולאחר מכן החום מתפזר בהדרגה לסביבה. יחד עם זאת, המסה הגדולה של הבור גורמת לכך שהירידה בטמפרטורה איטית וכי גם לאחר תקופה ארוכה יחסית הבור עדיין לא התקרר לגמרי. ניתן לראות בגרף 3, כי ככל שמעמיקים לתוך בורות התחמיץ, כך עולה הטמפרטורה. כאמור, הדבר נובע מהתקררות הבורות על ידי פיזור חום לסביבה, כך שמקבלים עליה הדרגתית בטמפרטורות ככל שמעמיקים לתוך הבור.

נוסף על כך, קיימת בבורות התחמיץ פעילות מתמדת של מיקרואורגניזמים. מטרתנו בזמן שמירת התחמיץ היא, להקטין עד כמה שניתן פעילות זאת. הטמפרטורה הנמוכה יותר בעומק הבורות המטופלים ב-Siloguard II יכולה להצביע גם על פעילות נמוכה יותר של אורגניזמים אלה.

ספרות: רשימת הספרות המקיפה לא הובאה כאן מטעמים טכניים. כל המעוניין יכול לקבלה במערכת "משק הבקר" (מ.מ.).