



רגישותם של תחליפי חלב לנזק חמצוני

אריאלה בורג*, טלי זילברשטיין**, גיא ירדני***, דורית תבור*, זנין בלומנפלד*, ישראל זילברמן***, אושרה ספיר*

לתינוקות בעלי רגישות לחלבוני חלב פרה והמכילים חלבונים שבדודו מצמחים, בעיקר מסויה. בנוסף להבדלים בהרכב החלבונים בין שני סוגי הפורמולות, קיימים גם הבדלים בסוגים של חומצות שומן ובהרכבן. נבחנו ארבעה סוגים של תחליפי חלב: שני תחליפי חלב שמקורם מחלב פרה ושני תחליפי חלב שמקורם מסויה, משתי חברות שונות המשווקות תחליפי חלב בישראל. מהנתונים המפורטים על גבי הקופסאות ניתן להסיק שבפורמולות השונות הרכב אבות המזון שונה. ההבדלים במרכיבי הפורמולה יכולים להשפיע על עמידותה בפני נזקי חמצון. אחוז חומצות השומן הרוויות שאינן מכילות קשרים כפולים במבנה, גבוה יותר בפורמולה חלבית מאשר בפורמולה צמחית; ואילו בפורמולות הצמחיות גבוה יותר אחוז חומצות השומן הבלתי רוויות המכילות קשר כפול אחד או יותר ורגישות יותר לתהליכי חמצון.

כתוצאה מתהליכי חמצון חומצות השומן הבלתי רוויות מתפרקות למגוון חומרים שחלקם רעילים, ביניהם חומר המכונה MDA (malondialdehyde) החשוד כחומר מסרטן¹. חומר זה יכול לשמש כמדד לרמת החמצון של השומנים הבלתי רוויים. איור 1 מתאר את שלבי היווצרותו.

ככל שכמות ה-MDA גבוהה, יותר חומצות שומן בלתי רוויות עברו תהליכי חמצון. שיטה מקובלת בספרות לבדיקת כמותית של ה-MDA היא TBA-test. בשיטה זו נוצר קומפלקס בעל צבע שאת כמותו ניתן לקבוע על ידי מדידת האור הנבלע בספקטרופוטומטר. במחקר הנוכחי נעשה שימוש בשיטה זו לאפיון כמותי של MDA.

תחליפי חלב – פורמולות – נועדו לתת מענה לתינוקות שאינם יכולים להיות מזונים מחלב אם, לכן עליהם להיות קרובים ככל הניתן בהרכבם לחלב אם. בדומה לחלב אם, בתחליפי החלב ניתן למצוא אבות מזון בסיסיים כגון: חלבונים, סוכרים, נוגדי חמצון, פראוקסידאנטים, מגוון של ויטמינים, חומצות שומן רוויות ובלתי רוויות בהרכב הדרוש לגדילתו ולהתפתחותו התקינה של התינוק. בשנים האחרונות הוספו לפורמולות חומצות שומן בלתי רוויות ארוכות שרשרת (LCPUFA), לאחר שמחקרים רבים הצביעו על חשיבותן בהתפתחות המוח ומערכת העצבים, וכן חומרים פרוביוטים ונוקלאוטידים לשיפור תגובת אימונולוגיות. מלבד הרכב החומרים בתחליפי החלב קיימת חשיבות רבה לתנאי החזקתם ולשימורם, זאת משום רגישותם הגבוהה של חלק מהמרכיבים, במיוחד של חומצות שומן בלתי רוויות. לפיכך חשוב להגן עליהם בפני גורמים סביבתיים כגון חמצון, קרינה וחימום. גורמים אלו עלולים לשנות את הערך התזונתי ולגרום להיווצרותם של חומרים רעילים.

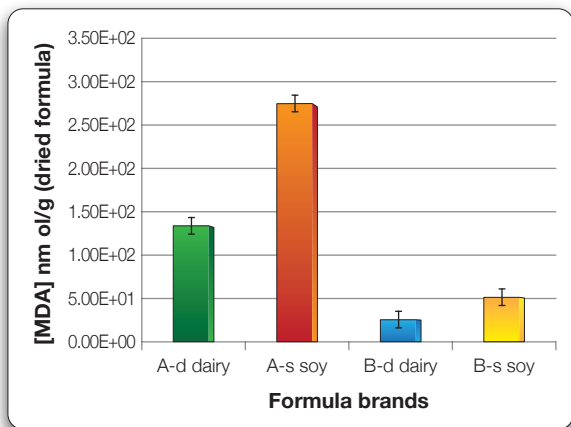
חומצות שומן בלתי רוויות רגישות באופן מיוחד לחמצון. מטרת המחקר הנוכחי הייתה להשוות בין עמידותן של פורמולות שונות לנזקי חמצון, לטמפרטורה ולקרינת גמא. בחיי היום יום הפורמולות אינן נחשפות לקרינת גמא, אבל חשיפת הפורמולות לקרינה זו מאפשרת שליטה בסוג הרדיקלים הנוצרים, ובכמותם. לפיכך באופן זה ניתן ליצור מצבים של עקה חמצונית מבוקרת. כיום משווקים בישראל שני סוגים עיקריים של תחליפי חלב על ידי מספר חברות. תחליפי חלב חלביים, המבוססים על אבות מזון שבדודו מחלב פרה, ותחליפי חלב צמחיים המיועדים

* המחלקה להנדסה כימית, המכללה להנדסה סמי שמעון, באר-שבע, ישראל.

** המחלקה למיילדות וגניקולוגיה, המרכז האוניברסיטאי סרוקה, אוניברסיטת בן-גוריון, באר-שבע, ישראל.

*** הקריה למחקר גרעיני, המחלקה לכימיה, באר-שבע, אוניברסיטת בן גוריון, המחלקה לכימיה באר-שבע, ישראל.

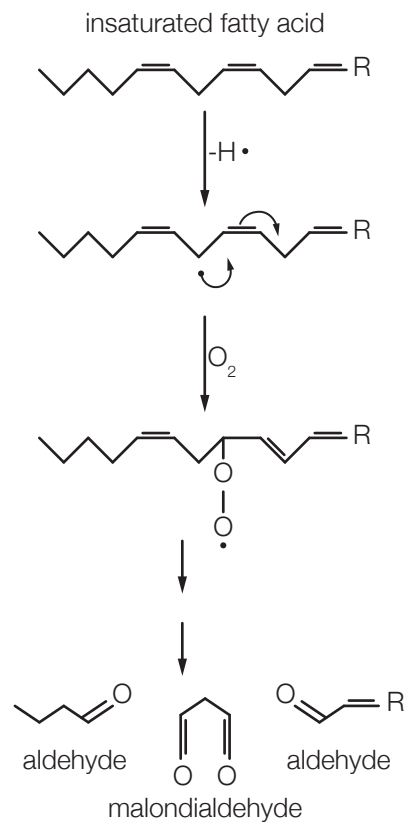
מאמר זה פורסם בכתב העת: Journal of Agricultural and Food Chemistry (2010) 58(4), 2347-2350.



איור 2 – כמות MDA עבור ארבעת סוגי הפורמולות השונות. Dairy – מציין שמקור החלב הוא פרה. Soy – מציין שמקור הפורמולה הוא סויה. A, B מציינים את שתי החברות המשווקות את הפורמולות.

תהליכי החמצון מושפעים לא רק מהרכב המוצר אלא גם מתנאים סביבתיים. הכנת תחליפי חלב כרוכה לעתים בחימום הפורמולה באמצעי חימום שונים כגון חימום במיקרוגל או חימום בקבוק המכיל את החלב באמבט מים בטמפרטורה גבוהה מטמפרטורת החדר. חימום הפורמולה עשוי לזרז את תהליכי החמצון ולהעלות את רמת MDA. לכן הוחלט לגרום נזק מבוקר לפורמולות, חימום בזמנים ידועים לטמפרטורות שונות. תוצאות הניסויים הראו שהפורמולות שמקורן מסויה רגישות יותר לנזק החמצוני בשתי שיטות החימום שנבדקו. כמו כן, ניתן לומר שהוספת מים חמים לפורמולה ואחר כך קירורה לטמפרטורה המתאימה להאכלה היא השיטה הטובה ביותר להכנת הפורמולות מן הסוג שנבדק בעבודה זו. ראוי לציין שעל פי הוראות היצרן, יש להרתיח מים, לחכות שיתקררו ואז להוסיף את האבקה. בהנחה שבהכנה ביתית לא תמיד ממתנים עד שהמים יתקררו עד לטמפרטורת החדר, ניתן לראות התאמה בין שיטת חימום זו לבין הוראות היצרן.

נזקי חמצון שונים נגרמים על ידי מחמצנים שונים, לרוב צורונים פעילים שהם מגוון גדול של רדיקלים. הפורמולות נחשפו לקרינת גמא בתנאי מעבדה*. בתנאים מסוימים קרינה זו יוצרת



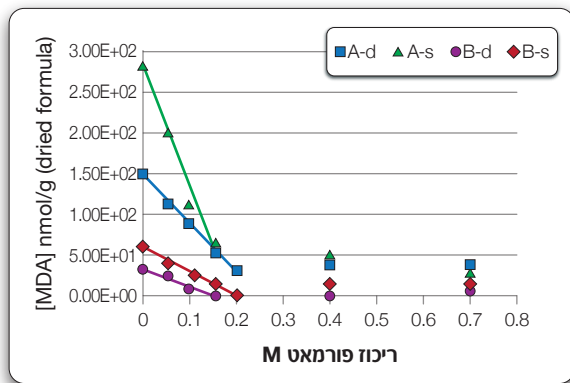
איור 1 – מתאר פראוקסידציה של שומנים ויצירת MDA²

איור 2 מתאר השוואה בין רמות MDA שנמדדו בארבעת סוגי הפורמולות ביום פתיחת המוצר. רואים באיור שרמות ה-MDA עבור פורמולות מחברה A גבוהות יותר מאלה של חברה B. ניתן להסביר תוצאה זו בכמות הגדולה יחסית של ויטמין E בפורמולות מסוג B: 16 mg ב-B-d יחסית ל-10 mg ב-A-d. בהשוואה לחברה A חברה B מוסיפה לפורמולות אחוז גבוה יותר של ויטמין E שידוע כנגד חמצון חזק מסיס שומן ולכן הוא מצליח ביתר יעילות להגן על המוצר בפני נזקי חמצון. כמו כן רמת MDA בפורמולות שמקורן מסויה גבוהה יותר מאשר בפורמולות שמקורן מחלב פרה. חלב סויה רגיש יותר לתהליכי חמצון בגלל כמות חומצות השומן הבלתי רוויות שמכילות פורמולות מסוג זה, 15.0 g ב-A-s לעומת 12.0 g ב-A-d.

* קרינת גמא - יש לציין שבאופן טבעי הפורמולות בשימוש היום יומי אינן נחשפות לקרינת גמא. בהסתמך על ידע מהספרות ניתן להפיק מקרינה זו מחמצנים מסוג מסויים, לעמוד על כמותם ולבדוק מהי הקורלציה בין כמותם לנזק החמצוני.



מפני נזקי חמצון ולכד את הרדיקלים שנוצרו בחומצות השומן שנפגעו. איור 4 מתאר את תוצאות הניסויים בנוכחות פורמאט.

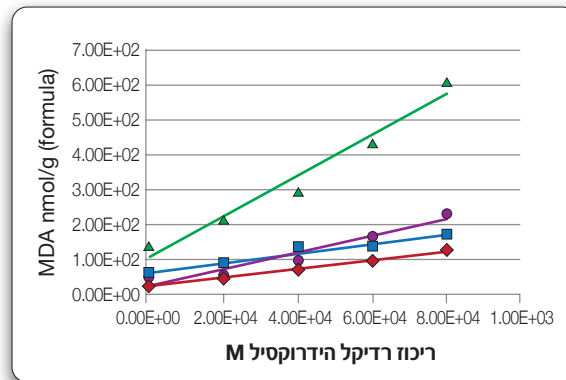


איור 4 – מתאר את כמות MDA בפורמולות השונות כפונקציה של ריכוז הפורמאט. Dairy – מציין שמקור החלב הוא פרה. Soy – מציין שמקור הפורמולה הוא סויה. A, B מציינים את החברות המשווקות את הפורמולות.

ניתן לראות באיור 4 שככל שהכמות של נוגד החמצון גדולה יותר, כמות MDA קטנה יותר, עובדה המעידה על נזק חמצוני קטן יותר.

לסיכום, מתוצאות מחקר זה ניתן להסיק שפורמולות המיוצרות מסויה רגישות יותר לנזקי חמצון בגלל כמות חומצות השומן הבלתי חיוניות שהן מכילות. כאשר מייצרים את הפורמולות, יש להתייחס לקומבינציה של המרכיבים השונים כגון: ויטמין E, ויטמין C וברזל, שגם הם - והשילוב ביניהם - יכולים להשפיע על תהליכי החמצון. כמו כן, יש לחשוב על הוספת נוגדי חמצון נוספים לפורמולות שיכולים להגן על חומצות השומן מפני נזקי חמצון, רצוי ממקורות טבעיים. לדוגמה, ליקופן הוא חומר טבעי האחראי ליצירת צבע אדום בירקות כגון עגבניות. ליקופן ידוע כנוגד חמצון יעיל ועמיד לטמפרטורות גבוהות. חומר מסוג זה יכול להיות תוסף יעיל לתחליפי חלב. חשוב לציין שבעבודה זו נבחן פרמטר אחד מתוך רבים האחראי על איכות הפורמולות.

רדיקלים מסוג מסוים. על מנת לבדוק את רגישותן של חומצות השומן לסוגים שונים של רדיקלים, נחשפו הפורמולות לקרינת גמא למשכי זמן שונים. בתנאים שבהם עבדנו קרינה זו יוצרת הידרוקסיל רדיקל מהמים. איור 3 מתאר את התוצאות.



איור 3 – מתאר את כמות MDA כפונקציה של ריכוז רדיקל ההידרוקסיל שנוצר לאחר חשיפה לקרינת גמא. A-dairy ■, A-soy ▲, B-dairy ◆, B-soy ●. Dairy – מציין שמקור החלב הוא פרה. Soy – מציין שמקור הפורמולה הוא סויה. A, B מציינים את החברות המשווקות את הפורמולות.

חשיפה ממושכת יותר של הפורמולה לקרינה גורמת ליצירה מוגברת של רדיקל ההידרוקסיל שהשפעתו על נזקי החמצון של חומצות השומן נבדקה. נמצא שככל שכמות הרדיקל הייתה גדולה, הנזק החמצוני גבר. כמות MDA הגדולה ביותר שהתקבלה לאחר חשיפת הפורמולות לקרינת גמא בפורמולה מסוג A-s, כלומר, פורמולה שמקורה מסויה.

במטרה לבדוק את הפוטנציאל של נוגדי חמצון סינתטיים כמגנים על הפורמולות, בוצעה סדרת ניסויים שבהם הוסף לפורמולות השונות נוגד חמצון כימי (פורמאט) בכמויות שונות. התוצאות מצביעות שהוספת נוגד החמצון הקטינה את כמות MDA שנוצרה. כלומר, נוגד חמצון זה שמר על הפורמולות

1. Mehrotra, A., D. Patniak, and V.N. Mishra, Study of oxidative phenomenon in CVA. J. Ass. Physicians. India 1996. 44: p. 944.
2. Halliwell, B. and J.C. Gutteridge, Free Radicals in Biology and Medicine, ed. S. Edition. 1989, Oxford: University Press.