

שומנים ושמינים – עובדות מפתיעות

מיפוי הפרק

היבט כימי	היבט תזונתי	היבט חברתי/אישי	
<ul style="list-style-type: none"> הכרת מבנה וסיווג שומנים השפעת מבנה מולקולות חומצות השומן על תכונות החומר פעילות כימית של חומצות שומן 	<ul style="list-style-type: none"> הכרת תפקיד וחיבת שומנים וחומצות שומן בגופינו ובתזונתנו מודעות לתכולת שומן במזונות שונים 	<ul style="list-style-type: none"> השפעת טריגליצרידים, כולסטרול וייצור חומצות שומן בגופנו על בריאותנו 	מטרות
<ul style="list-style-type: none"> מבנה ודרגת ריוויון של חומצות שומן איזומריית ציס-טרנס מבנה טריגליצרידים תהליך איסטור תהליך הידרוגנציה – סיפוח מימן לקשר כפול חימצון עצמי של קשר כפול ומבנה חומרים נוגדי חימצון 	<ul style="list-style-type: none"> חומצות שומן חיוניות: חומצות אומגה 3 ו-6 מיון חומצות שומן שונות לפי מקורותיהן במזון חמאה למול מרגרינה – יתרונות וחסרונות מזונות עשירים בחומרים נוגדי-חימצון. 	<ul style="list-style-type: none"> טריגליצרידים וכולסטרול "טוב" ו"רע" פיתוח תרופות למחלות הקשורות בחומצות שומן בגופנו - היבטים מוסריים 	תכנים ומושגים מרכזיים
<ul style="list-style-type: none"> מעברים בין צורות ייצוג שונות של חומצות שומן (רישום מקוצר, מלא, מבנה ומודל) ניתוח גרף של טמפרטורות היתוך של חומצות שומן ניתוח טבלאות מידע על חומצות שומן, טריגליצרידים 	<ul style="list-style-type: none"> ניתוח מידע מטבלה חקר אירוע בנושא חומרים נוגדי חימצון* – "שוקולד – חטיף בריאות חדש נולד?" 	<ul style="list-style-type: none"> דין וניתוח מידע מהסרט "השמן של לורנזו" (או באמצעות חקר אירוע) 	מיומנויות מרכזיות
<ul style="list-style-type: none"> חקר תכונות הקשר הכפול בעזרת מודלים מפלסטיק והדמיה ממוחשבת ניסוי קביעת חומצות שומן חופשיות בשמן 		<ul style="list-style-type: none"> 1. איתור מידע באינטרנט בנושא כולסטרול 2. צפייה בסרט: "השמן של לורנזו" 	פעילויות ייחודיות

שומנים ושמינים – עובדות מפתיעות
הרשקוביץ, קברמן, אברג'יל ודורי (2007).
טעם של כימיה - מדריך למורה

מה אנו יודעים על שומנים?

תשובות לשאלות הפתיחה

1. ידע מקדים

א. סוגי השומנים העיקריים הם חומצות השומן (רוויות ולא רוויות), טריגליצרידים (המורכבים מחומצות שומן) וכולסטרול (השייך למשפחת הסטרואידים). ההבדל ביניהם הוא במבנה הכימי (סוגי קשרים, קבוצות פונקציונליות) והמשותף לכולם היא אי מסיסותם במים.

ב. אכילת שומנים מסוימים בצורה לא מבוקרת אכן עלולה לגרום להשמנה. לשומנים חשיבות רבה בגופנו. הם מהווים מקור חשוב של אנרגיה לגוף, מאפשרים ספיגה טובה של ויטמינים (E, D, A) במערכת העיכול, מסייעים בבניית קרומים הבונים את תאי הגוף, ויש להם תפקיד בייצור הורמונים שונים. לכן, אין לוותר עליהם כליל. עם זאת, יש להבחין בין סוגי השומנים השונים. יש להרבות באכילת חומצות שומן לא רוויות (מן הצומח) ובעיקר מסוג אומגה 3 ו-6 (המצויות בדגים). יש להמעיט באכילת חומצות שומן רוויות, שמקורן בבעלי-חיים, ובעיקר חומצות מסוג טרנס, שמקורן בעיקר בתהליכי הידרוגנציה.

ג. אכילת מאכלים עתירי שומן גורמת אצל אנשים מסוימים למחלות לב ודם. זה קורה עקב שקיעה של עודף השומנים, שהגוף איננו צורך, בכלי הדם ובהמשך ל"סתימתם". זה קורה, בעיקר, אצל אנשים בעלי נטייה תורשתית לכך ומתייחס למאכלים עשירים בכולסטרול וחומצות שומן רוויות.

ד. מבחינה כימית, שמן, מרגרינה וחמאה בנויים מחומצות שומן רוויות ולא רוויות, ביחסים שונים. ההבדל ביניהם הוא במצב הצבירה – השמן נוזלי בטמפרטורת החדר והחמאה והמרגרינה מוצקים. ההבדל בין חמאה למרגרינה הוא במקור לחומצות השומן המרכיבות אותן. החמאה מיוצרת מחלב בעלי-חיים ולכן מכילה חומצות שומן רוויות מן החי. המרגרינה מיוצרת משמן, המכיל בעיקר חומצות שומן לא רוויות מהצומח. בתהליך ייצור המרגרינה, חלק מחומצות השומן הלא רוויות עוברות תהליך של רוויה (הידרוגנציה – סיפוח אטומי מימן לקשר הכפול) וכך "מוקשות". חלק מהקשרים הכפולים נשארים (לפי מידת "הקשיות" הרצויה) וחלק הופכים למבנה טרנס ולכן מהווה המרגרינה סכנה בריאותית ומעלה את הסיכון למחלות לב וסרטן.

2. ניתוח מידע מטבלה

מטרת הפעילות היא ניתוח מידע מטבלה והיכרות ראשונה עם נתונים הקשורים לשומנים במזון.

א. דוגמאות לנתונים "מפתיעים":

- למרגרינה ולחמאה תכולת שומן כמעט זהה - יש החושבים, כי מרגרינה "פחות" משמינה.
- שמן למאכל מכיל בעצם 100% שומן – לעיתים חושבים, שאם הוא נחשב בריא יותר, הוא גם פחות משמין.

- בשר כבש ידוע כבשר "שמן" אך לא תמיד יודעים עד כמה. מהטבלה רואים, כי הוא מכיל פי 20 יותר שומן מאשר בשר הודו!

ב. מומלץ לאסוף דוגמאות משאלות התלמידים ולהתייחס לרמתם. יש להדגיש באזני התלמידים, כי כל שאלה שמעוררת בהם עניין היא שאלה "טובה", אך יש שאלות שרמתן נמוכה וכאלו שהן מורכבות ורמתן גבוהה והן תורמות יותר להבנתנו את הנושא.

להלן דוגמאות אפשריות לשאלות וניתוחן:

- מה ההבדל בין השומן של מרגרינה והשומן של חמאה, מי יותר בריא ומדוע?

שאלה מורכבת, אשר התשובה לה מתייחסת להבנה כימית ברמה החלקיקית וברמת הסמל.

- מה תכולת השומן של אגוזים?

שאלה ברמה נמוכה – רמת ידע בלבד, שהתשובה עליה היא מספר.

- מדוע בבשר כבש תכולת שומן גבוהה יותר?

זו שאלה בעייתית – רק לאלוהים פתרונים ...

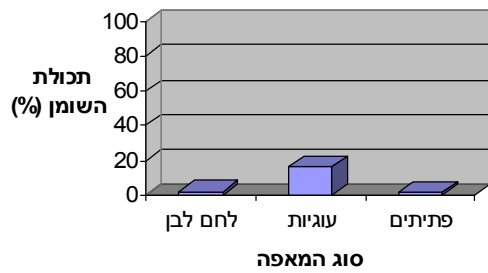
ג. להלן הצעה למיון הנתונים בטבלה.

יש להניח כי רוב התלמידים יגיעו למיון דומה. יש לקבל גם מיונים מעט שונים בעלי בסיס הגיוני.

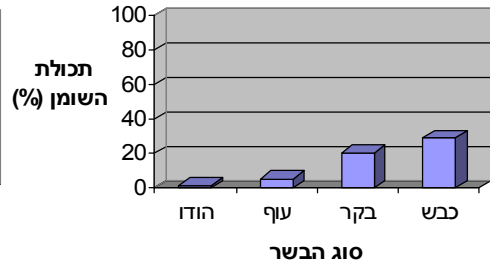
מזון	תכולת שומן (ב- %)	מזון	תכולת שומן (ב- %)
לחם לבן	1.9 - מאפה	בשר עוף	5.5 - בשר
עוגיות חמאה	16.6 - מאפה	בשר הודו	1.4 - בשר
פתיתים	1.8 - מאפה	בשר כבש	29 - בשר
חלב רזה	0.1 - חלב	בשר בקר	20.5 - בשר
חלב מלא	3.9 - חלב	שקדים	54 - פיצוחים
שמנת מתוקה	38 - חלב	בוטנים	49.8 - פיצוחים
גבינה צהובה (צ'דר)	34.9 - חלב	שמן למאכל	99.9 - מן הצומח
חמאה	81.7 - חלב	מרגרינה	81.6 - מן הצומח
שוקולד חלב	30.3 - ממתק חלבי	חלב סויה	1.9 - מן הצומח

- ד. חשוב להדגיש לתלמידים, כי כדי להשוות צריך להשתמש באותה מערכת צירים. כמו כן, יש להקפיד על רישום כותרות ברורות ולצירים ולגרף כולו. יש לרשום יחידות במקומות המתאימים. מספיקים שלושה גרפים כשהמטרה היא מיומנות המרת המידע לגרפי עמודות.

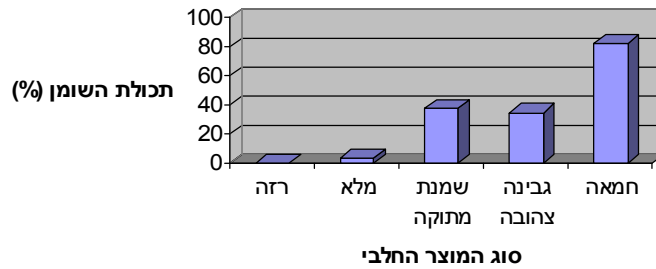
תכולת שומן במוצרי מאפה שונים



תכולת שומן בסוגי בשר שונים



תכולת שומן במוצרי חלב שונים



ה. מומלץ לעשות דיון בכיתה על המסקנות. לאסוף מסקנות מקבוצות שונות ולמייין ביחד. דוגמאות למסקנות כלליות אפשריות:

מסקנות הקשורות לכל גרף – השוואת נתונים בגרף

- מבין דברי המאפה המעובדים (הנתונים בגרף), בלחם כמות השומן נמוכה יותר.
- קיים הבדל ניכר בין תכולת השומן בסוגי בשר שונים. הבשר "הרזה" ביותר הוא בשר הודו ו"השמן" ביותר הוא בשר כבש.
- תכולת השומן בחלב נמוכה בהרבה לעומת מוצריו (גבינה צהובה, חמאה, שמנת מתוקה)

מסקנות הקשורות להשוואה בין הגרפים

הערה: השוואה זו אפשרית הודות לשימוש זהה בקנה המידה של הצירים. שימוש בקנה מידה שונה מטעה ומקשה על ההשוואה

- טווח תכולת השומן בדברי מאפה ובבשרים דומה.
- בחלק ממוצרי החלב, תכולת השומן גבוהה ביחס לסוגי בשר או מאפה.

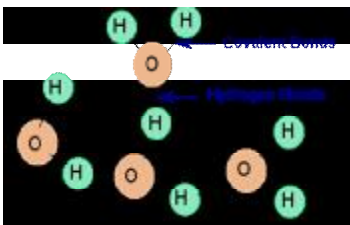
הערה:

בתרגיל זה מופיעה לראשונה התייחסות לרמות הבנה בכימיה. מומלץ לדון עם התלמידים ולהסביר את משמעות הרמות השונות. הבנה זו תשמש להם כ"קביים" לבקרה אחר תשובותיהם: האם הם אכן עונים תשובה מלאה ומפורטת על הנדרש. להלן הצעה לשיעור פתיחה בנושא רמות הבנה בכימיה

מערך שיעור (15-20 דקות) בנושא רמות הבנה בכימיה

לפתוח בשאלה לתלמידים: **מה הם מים?**

לארגן את תשובות התלמידים על הלוח בטורים, לפי המבנה הבא:

H_2O	מורכב מאטומי מימן וחמצן;	נוזל שקוף;
	חומר מולקולרי עם קשרים קו-ולנטיים;	ניתן להמיס בו חומרים רבים;
	קיימים קשרי מימן בין מולקולות המים;	טמפרטורת הרתיחה: $100^{\circ}C$
	מבנה מרחבי זוויתי של המולקולה	לא מוליכים חשמל

לא בהכרח כל התשובות הנ"ל יועלו על-ידי התלמידים. יש להניח גם, כי לא מיד נקבל תשובות רבות, ולכן יש "לעודד" את התלמידים להרחיב את תשובותיהם. חשוב להקפיד שתהיינה תשובות בכל אחת משלוש הרמות.

בשלב זה יש לשאול:

תשובותיכם מאורגנות בלוח בשלושה טורים. מדוע לדעתכם? מה משותף להיגדים בכל טור? ומה שונה בין הטורים?

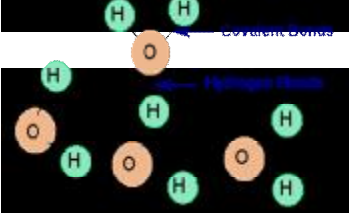
יש להניח, כי התלמידים יצינו את המשותף לעמודה האמצעית, הקשורה בהתייחסות מולקולרית למים. עכשיו יש להתייחס למיון הבא:

כל ההיגדים בטור הראשון הם ברמת התופעה – זוהי הרמה התחושתית המתייחסת לתופעות אותן ניתן לזהות באמצעות החושים. ברמה זו נכללים תהליכים ותופעות שאחריהן ניתן לעקוב באמצעות שינויים כגון: שינויי טמפרטורה, שינויי צבע, שינויי pH , מוליכות ומסיסות.

כל היגדים בטור השני מתייחסים לרמה החלקיקית. ברמה זו משתמש הכימאי במושגים מופשטים המתארים חלקיקים (אטומים, מולקולות, יונים) השייכים לרמה החלקיקית (הרמה המיקרוסקופית) כדי להסביר התרחשויות המתוארות ונצפות ברמת התופעה (הרמה המאקרוסקופית).

הטור השלישי מייצג את רמת הסמל. הרמה המייצגת את שפת הכימיה. ברמת זו משתמשים בייצוגים מגוונים: סמלים כימיים, נוסחאות כימיות, מודלים, משוואות וגרפים.

בהתאם, להוסיף כותרות לטורים:

רמת התופעה	רמה חלקיקית	רמת הסמל
נוזל שקוף; ניתן להמיס בו חומרים רבים; טמפרטורת הרתיחה: 100°C לא מוליכים חשמל	מורכב מאטומי מימן וחמצן; חומר מולקולרי עם קשרים קו-ולנטיים; קיימים קשרי מימן בין מולקולות המים; מבנה מרחבי זוויתי של המולקולה	H_2O
		

נעבור לשאלה נוספת: תארו והסבירו את תהליך מסיסות נתון הידרוכסידי במים.

גם כאן, לאסוף את תשובות התלמידים. אפשר כבר לכוונם, לתת תשובות ברמות ההבנה השונות. הפעם יש למיין את התשובות בארבעה טורים.

יש להניח שבין התשובות הראשונות, יהיה תיאור התהליך באמצעות משוואה כימית. המשוואה מייצגת את רמת הסמל (ללא הסבר מלווה). התייחסות לפליטת החום בתהליך, ו"היעלמות" המוצק הלבן קשורה ברמת התופעה. התייחסות ליונים הנוצרים קשורה ברמה החלקיקית, ותיאור מילולי של תהליך המיזם קשור ברמת התהליך.

יש לרשום את התשובות על הלוח, בטורים, ובעזרת התלמידים לתת את שלוש הכותרות: רמה חלקיקית, רמת התופעה ורמת הסמל. הרמה הנוספת היא רמת התהליך, וזו לא הייתה כאשר התייחסנו למים. היא קיימת כאשר מתייחסים לתהליך כימי.

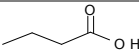
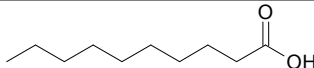
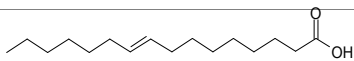
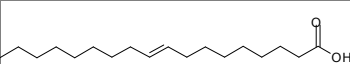
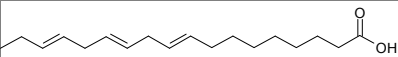
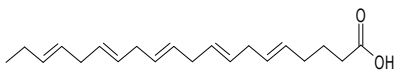
בשלב זה, יש להפנות את התלמידים לספר. בנספח של רמות הבנה מופיע הפירוט של תיאור מסיסות NaOH במים. מומלץ לקרוא עם התלמידים את הכותרות עם ההסבר לרמות השונות ולהתייחס להסברים המפורטים בהם.

לסיכום – אנחנו, כמו הכימאים, צריכים להתייחס לחומרים, תהליכים ותופעות בכימיה בארבע רמות הבנה ולהבין את הקשר ביניהן. הבנה זו מאפשרת לנו להשתמש בידע קודם ולבנות ידע חדש, מדעי.

ניתן לציין לתלמידים, כי כאשר הם עונים תשובות לשאלות, בעיקר כאלו הדורשות הסבר, נימוק, פירוט, עליהם לחשוב האם תשובותיהם מתייחסות למספר רמות הבנה כימיות ולא רק לרמה אחת. דבר זה יבטיח שתשובותיהם תהיינה מלאות ומקיפות.

תשובות לתרגיל 1 – ניתוח מידע בצורות ייצוג שונות

.1

שם החומצה	מקור עיקרי	נוסחה מולקולרית	רישום מקוצר	נוסחת מבנה
<u>חומצות שומן רוויות</u>				
בוטירית	חמאה	C_3H_7COOH	C4:0	
קפרית	קוקוס, גרעיני תמר, חמאה	$C_9H_{19}COOH$	C10:0	
<u>חומצות שומן חד לא-רוויות</u>				
פלמיטולאית	קוקוס, גרעיני כותנה, זיתים, חמאה	$C_{15}H_{29}COOH$	C16:1 ω 7	
אולאית	קוקוס, חמאת קקאו, תירס, אבוקדו, זיתים, בקר, עוף, חזיר	$C_{17}H_{33}COOH$	C18:1 ω 9	
<u>חומצות שומן רב לא-רוויות</u>				
לינולית	נבטי סויה, תירס, קנולה, חמאה	$C_{17}H_{29}COOH$	C18:3 ω 3,6,9	
איקוסאפנט אנואית	דגים (הרינג), סלמון	$C_{19}H_{29}COOH$	C20:5 ω 3,6,9,12,15	

.2 הערה:

מומלץ להתעכב בשאלה זו על בניית הטבלה עם התלמידים. במהלך בניית הטבלה, כדאי לחזור על נוסחאות ייצוג שונות של המולקולות ולהסביר את השוני בנקודות ההיתוך - מסקנות מהגרף בהתייחס לרמות ההבנה השונות בכימיה.

.א

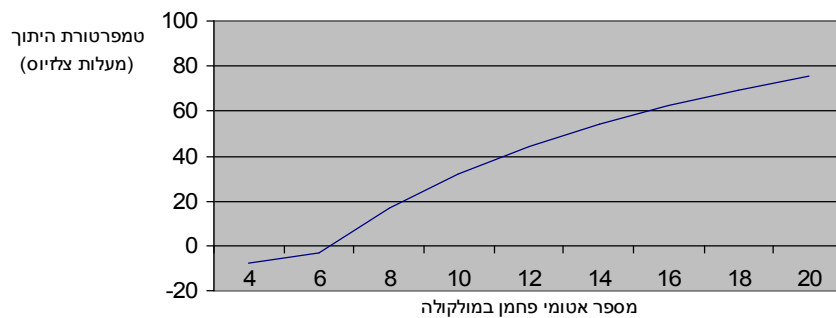
מספר אטומי פחמן בחומצת השומן	נוסחה מקוצרת של החומצה	טמפרטורת היתוך
4	C4:0	-7.9
6	C6:0	-3.4
8	C8:0	16.7
10	C10:0	31.6
12	C12:0	44.2
14	C14:0	54.1
16	C16:0	62.7
18	C18:0	69.6
20	C20:0	75.4

שומנים ושמיים – עובדות מפתיעות
הרשקוביץ, קברמן, אברג'יל ודורי (2007).
טעם של כימיה - מדריך למורה

ב. החומצות עם 4, 6 ו-8 אטומי פחמן הן שמנים בטמפרטורת החדר, כיוון שטמפרטורת ההיתוך שלהן נמוכה מטמפרטורת חדר ממוצעת ולכן הן נוזליות. עם זאת, טמפרטורת החדר איננה טמפרטורה אחידה, למרות שנהוג להתייחס לטמפרטורה של 20 או 25 מעלות צלזיוס כטמפרטורת החדר. בארצות קרות, טמפרטורת החדר יכולה להיות פחות מעשר מעלות ואז גם החומצה עם שרשרת של 8 אטומי פחמן יכולה להיות מוצקה, ואילו בארצות חמות, אם טמפרטורת החדר היא 35 מעלות, החומצה עם עשרה אטומי פחמן יכולה להיות נוזלית (שמן).

אנרגיית החום של טמפרטורת החדר, מספיקה לגרום לתנודות חזקות במולקולות, אשר גורמות ל"שיחרור" המבנה המסודר הקיים במצב מוצק. למולקולות יש מספיק אנרגיית תנועה (תנודה וסיבוב) כדי להגיע לסידור של מצב נוזלי (בו למולקולות ניידות רבה מאשר במצב מוצק והמרחק ביניהן גדול יותר).

ג. I. מתוך המידע בגרף (או בטבלה) ניתן לראות, שככל שמספר אטומי הפחמן במולקולה גדל, כך טמפרטורת ההיתוך של החומר עולה. העלייה איננה ליניארית. בערכים נמוכים, "הקפיצה" בטמפרטורות גדולה, ובהמשך היא הולכת וקטנה. ניתן לראות את המגמה בגרף הבא:



II. לפי ההסבר בסעיף II, ניתן לשער שטמפרטורת ההיתוך של החומצה עם 22 אטומי פחמן תהיה 79 מעלות (הפרש קטן יותר בין 20 ל-22 אטומי פחמן לעומת הפרש בין 18 ל-20 אטומים).

III. ככל שמספר אטומי הפחמן במולקולה גדל, כך המסה המולרית גדלה, ואיתה כוחות ון-דר-ולס בין המולקולות. גורם נוסף המשפיע הוא צורת האריזה של המולקולות. ככל שהשרשראות ארוכות יותר (וישרות), האריזה "טובה" יותר והכוחות הבין מולקולריים "רבים" יותר.

3. א. מסקנה 1 – בהשוואה בין החומצה הסטארית והאולאית – כאשר יש קשר כפול, יורדת נקודת ההיתוך בצורה משמעותית.

מסקנה 2 – בהשוואה בין החומצות: אולאית, לינולאית ולינולנית – ככל שרמת האי-ריוויין גדלה (יותר קשרים כפולים), כך נקודת ההיתוך יורדת.

ב. הבסיס הכימי למסקנות: כאשר יש קשרים כפולים במולקולה, האריזה של המולקולות פחות צפופה. לכן, המרחק בין המולקולות גדול יותר, כוחות ון-דר-ולס חלשים יותר וטמפרטורת ההיתוך נמוכה (דרושה פחות אנרגיה כדי להרחיק את המולקולות זו מזו). ככל שמספר הקשרים הכפולים גדל, צפיפות האריזה יורדת ונקודת ההיתוך יורדת גם כן.

- ג. שאלה 1 – מדוע קשר כפול גורם לאריזה פחות צפופה וכתוצאה להקטנת כוחות ון-דר-ולס?
 שאלה 2 – מדוע מספר גדול של קשרים כפולים, משפיע יותר ויותר על הקטנת צפיפות האריזה של המולקולות וכתוצאה להחלשת כוחות ון-דר-ולס?

הקשר הכפול והשפעתו על תכונות החומר – חומצות שומן לא רוויות

הערות לתרגיל 2: פעילות חקר עם מודלים שונים

הפעילות כוללת עבודה הן עם מודלים קשיחים מפלסטיק והן עם מודלים ממוחשבים. לשילוב זה שתי סיבות עיקריות:

1. הפעילות עם המודלים הקשיחים כוללת בנייה בידיים ומאפשרת ראייה מרחבית קלה ופשוטה לתלמידים רבים. כמו כן, במודלים אלו ניתן "לחוש" ולבצע את הסיבוב בין הקשרים במולקולה ובכך להבחין בין הסיבוב החופשי, אשר קיים בין האטומים סביב הקשר הבודד, לבין חוסר יכולת הסיבוב בין האטומים אשר סביב קשר כפול. במודל ממוחשב לא ניתן לבצע סיבוב סביב קשר.

2. למודל הממוחשב, מלבד היתרון של בניה פשוטה וקלה, יש אפשרות לחישוב אורכי קשרים וזוויות בין קשרים. במודל הקשיח מדידת אורכי הקשר והזוויות איננה מדויקת ובעייתית מבחינה טכנית.

הפעילות עם שני סוגי המודלים מאפשרת הדמיה ברורה ומוחשית יותר של מבנה המולקולה.

המלצות:

1. רצוי לבצע את הפעילות עם מודל קשיח מסוג כדור-מקל, המאפשר לראות בבירור את הקשר הכפול. במודל מקלות וממלא מרחב, קשה או לא ניתן להבחין בקשר הכפול ובהשפעתו על המבנה המרחבי של המולקולה.

2. אחרי הפעילות, רצוי לדון עם התלמידים על יתרונות ומיגבלות השימוש במודלים השונים.

להלן הצעות למבנה הדיון:

יתרונות וחסרונות השימוש במודלים

פיזיקליים - קשיחים

יתרונות

- תלמידים בונים במו ידיהם גופים תלת ממדיים
- ניתן לבחון סיבוב בין קשרים

חסרונות

- אורכי הקשרים והזוויות בחלק מהערכות הם ברמת דיוק נמוכה וטכנית קשה למדוד זוויות

וירטואליים - ממוחשבים

יתרונות

- נוחיות ופשטות בהן ניתן לבנות מולקולות בכל גודל ובמיגוון צורות ייצוג
- דיוק של אורכי הקשרים והזוויות*

חסרונות

- יש הנרתעים / חוששים מהשימוש במחשב
- לא ניתן לסובב קשר בודד אלא את כל המולקולה

בכל המודלים – המבנה הכדורי, צבעי הכדורים, היחס בין גדלי אטומים שונים ואורכי הקשר אינם מדויקים ועלולים להטעות

יתרונות וחסרונות של שלוש צורות הייצוג של מודלים מולקולריים

קווי



יתרון: צורת הייצוג המדויקת ביותר לגבי אורך הקשרים וגודל הזוויות בין האטומים

חסרונות: אין המחשה של הרדיוס האטומי. השימוש בקווים או מקלות עלול ליצור תפיסות מוטעות

כדור מקל



יתרון: מאפשר הצגה ברורה של קשרים קוולנטים יחידים, כפולים ומשולשים

חסרון: השימוש במקלות כסמלים לקשר עלול ליצור תפיסות מוטעות בקרב תלמידים

ממלא מרחב



יתרון: מדגיש את הרעיון שאטומים תופסים מקום/נפח במרחב

חסרון: סוג הקשרים הקוולנטים: יחיד, כפול או משולש - מעורפלים

חלק ב' – פעילות בהדמיה מולקולרית ממוחשבת

3. א. אורכו של קשר כפול קטן יותר מקשר בודד.

הסיבה שהתלמידים אמורים להעלות קשורה בחוק קולון. הימצאותם של שני זוגות אלקטרונים סביב הקשר הכפול (לעומת זוג אחד בקשר בודד), גורמת לחיזוק הכוחות ולכן משיכה בין האטומים סביב הקשר גדלה והמרחק (אורך הקשר) קטן.

ב. קשר משולש יהיה קצר יותר מקשר כפול עקב קיומם של שלושה זוגות של אלקטרונים משותפים, אשר מעלים עוד יותר את כוחות קולון.

ג. קשר מרובע לא קיים, כי ארבעה זוגות אלקטרונים משותפים בין שני אטומים גורמים לצפיפות רבה מדי של אלקטרונים וכתוצאה - לדחייה ביניהם ולכן לא נוצר קשר כזה.

הערה

בהקשר של מדידת אורכי קשרים, כדאי להזכיר לתלמידים, שאורך קשר נמדד בפועל כמרחק בין שני גרעינים של אטומים סמוכים. לפי המודל הממוחשב, אורך הקשר נראה כמרחק בין "קצוות" שני האטומים. זו מיגבלה נוספת של המודל.

סיכום פעילות 1 ו-2:

טבלת השוואה בין הקשר הבודד C-C והכפול C=C תוך התייחסות למבנה המרחבי סביב הקשר, יכולת סיבוב בין האטומים סביב הקשר, אורך הקשר וזוויות סביב הקשר.

גורם ההשוואה	קשר בודד C-C	קשר כפול C=C
מבנה מרחבי סביב הקשר	טטראדר	משולש מישורי
יכולת סיבוב בין האטומים סביב הקשר	סיבוב חופשי	אין סיבוב חופשי
גמישות המולקולה	גמישות מלאה. ניתן להגיע למצב כדורי	גמישות חלקית עקב חוסר יכולת הסיבוב סביב הקשר הכפול.
אורך הקשר	1.55 Å	1.34 Å
זוויות סביב הקשר	109.8°	119.8° ~ 120°

לסיכום הדיון בקשר הכפול והשפעתו על תכונות החומר מומלץ להדגיש, כי נקודת ההיתוך עולה ככל ש:

- אורך השרשרת גדל - עקב עליה במסה המולרית והתחזקות קשרי ון-דר-ולס
- מספר הקשרים הכפולים קטן - עקב עלייה בגמישות המולקולה, עובדה המאפשרת אריזה צפופה יותר של המולקולות וכתוצאה משיכה חזקה יותר בין המולקולות
- מעבר מאיזומר ציס לטרנס - עקב "התיישרות" המולקולה, עובדה המאפשרת אריזה צפופה יותר.

חומצות שומן חשובות בגופנו

תשובות לתרגיל 3: ניתוח מידע מגרף

א. הרכב החומצות בגופנו:

חומצה אולאית - C18:1 ω 9 - 49%

חומצה פלמטית - C16:0 - 27%

חומצה לינולאית - C18:2 ω 6,9 - 9%

חומצה פלמטולאית - C16:1 ω 7 - 8%

חומצה סטארית - C18:0 - 7%

ב. החומצות הרוויות בגופנו - פלמטית וסטארית = 34%

החומצות הלא רוויות בגופנו - אולאית, לינולאית ופלמטולאית = 66%

היחס בין החומצות הרוויות ללא רוויות הוא 1 : 2

ג. החומצות החד-לא-רוויות בגופנו - אולאית ופלמטולאית = 57%

החומצות הרב-לא-רוויות בגופנו - לינולאית = 9%

היחס בין החומצות החד-לא-רוויות לרב-לא-רוויות הוא 1 : 6.3

ד. בגופנו חומצת אומגה 6 אחת בלבד - לינולאית. לפי הגרף אין חומצה אומגה 3 בגופנו. זה אינו מדויק. כדאי כאן להסביר לתלמידים, כי כמות חומצות אומגה 6 בגופנו היא פי 10 מאשר כמות חומצות אומגה 3 ולכן אין ביטוי בגרף לחומצות אלו, אך הן קיימות בריכוז נמוך מאוד.

ה. ניתן להסיק, כי בגופנו פי 2 חומצות לא רוויות לעומת רוויות, ומרביתן חומצות חד-לא רוויות (פי 6 מהרב-לא-רוויות). כמו כן, אין בגופנו חומצת אומגה 3.

תשובות לתרגיל 4: הקשר בין מבנה, תכונות ותיפקוד - עובדות, מידע ושאלות למחשבההמלצה כללית

התרגיל מכיל קטעי מידע על מזון ושאלות עליהם. מומלץ לבצע את התרגיל, או חלקו (אין צורך לעבור על כל הקטעים), בקבוצות. כל קבוצה דנה בתשובות לסעיפים השונים ואז מומלץ לרשום על הלוח תשובות מפורטות של הקבוצות השונות, תוך התייחסות למעבר בין רמת החלקיקים לרמת התופעה. התרגיל מאוד מתאים למעברים אלו. ניתן אפילו לעשות זאת כתחרות בין הקבוצות על התשובות המפורטות והמדויקות ביותר.

1. המוצקים המורחקים בקירור הם החומצות הרוויות מכיוון שלהן טמפרטורת היתוך גבוהה יותר יחסית לחומצות הלא-רוויות ולכן בקירור הן תתמצקנה ראשונות. (להבהרה נוספת, כדאי להשתמש בנתונים מספריים, לדוגמה: לחומצה הרוויה סטארית טמפרטורת היתוך 69 מעלות

ולחומצה הלא רוויה לינולאית טמפרטורת היתוך 19 מעלות. בחימום ל-80 מעלות, לדוגמה, שתיהן תהיינה נוזליות, אך בקירור, תתמצק ראשונה החומצה הסטארית ואחריה האולאית).

2. חומצות רוויות אינן מכילות קשרים כפולים ולכן אריזתן צפופה במיוחד, עובדה הגורמת לחומר המכיל מולקולות אלו קשיות ומיצוק. לכן, שומן בקר או כבש, המכיל אחוז גבוה של חומצות שומן רוויות, קשה יותר למגע משומן של עוף.

3. המולקולות של החומצות הרב לא-רוויות מכילות מספר קשרים כפולים ולכן אריזת המולקולות לא צפופה. התוצאה היא נקודת היתוך נמוכה מאוד. מבחינה כימית, הימצאות מולקולות אלו בדגי הים הצפוני, מאפשרת לחומצות הרב לא-רוויות, המרכיבות את קרומי התאים, להישאר נוזליות גם בטמפרטורות הנמוכות השוררות במים הקרים.

4. א. בזמן הטיגון, טמפרטורת השמן עולה ואיתה האנרגיה של המולקולות והחלקיקים המשתתפים בתהליכי הפילמור. מספר ההתנגשויות הפוריות, אשר כתוצאה מהן נוצרים תוצרי הפילמור, גדל ולכן התהליך מואץ.

ב. ניתן לשער, כי שמן שעבר פילמור איננו בריא למאכל מכיוון שמולקולות הענק, שהן תוצר הפילמור, לא יעברו פירוק במערכת העיכול. חומרים, שאינם עוברים פירוק במערכת העיכול, מופרשים מהגוף והם חסרי ערך תזונתי. כמו כן, הפולימר מתחמצן, מתפרק, ונוצרים חומרים שונים המזיקים לבריאות.

5. היתרון של הימצאות חומצות שומן לא-רוויות בצמחים הוא במניעת הקיפאון בתאים, בתנאים של טמפרטורת סביבה נמוכה. המולקולות של חומצות אלו פחות גמישות בגלל הקשרים הכפולים, אריזתן פחות טובה, קשרי ון-דר-ולס חלשים יותר, ונקודת ההיתוך שלהן נמוכה יותר. כך, הן תשארנה (בקרומי התא) נוזליות גם בטמפרטורות נמוכות יחסית. בתאי יונקים, השומרים על טמפרטורת גוף קבועה גם בתנאי קור, יש אפשרות לקיום חומצות רוויות בעלות נקודת היתוך גבוהות יותר. במולקולות של חומצות אלו, אין קשרים כפולים ולכן אריזתן צפופה, כוחות ון-דר-ולס חזקים וטמפרטורת ההיתוך שלהן גבוהה יחסית. האריזה הצפופה, מקנה קשיחות ותמיכה מכנית לאיברי הגוף.

חקר אירוע: השמן של לורנזו – גילגולו של תהליך מחקרי

ניתן למצוא מידע רב באינטרנט על הסרט, הכימיה והביולוגיה שמאחוריו. מומלץ ללמוד מאתר מפורט מאוד, המציג את ההיבט ההוראתי לנושא:

<http://carbon.cudenver.edu/~bstith/loren.htm>

מומלץ לראות את הסרט ובעקבותיו לדון עם התלמידים על התהליך המחקרי המרתק המתואר בו: העלאת השערה, איסוף מידע, עיבודו, ביצוע ניסוי (התערבות באוכל של לורנזו), ניתוח התוצאות, העלאת השערה נוספת וחוזר חלילה.

אין הכוונה להיכנס לרמה מעמיקה של היבטים ביולוגיים ופיסיולוגיים של המחלה.

מידע בסיסי להרחבה

במחלת ALD נוצרות חומצות שומן רוויות ארוכות מאוד, בעיקר C24:0 ו-C26:0. ה"זנב" הארוך של החומצה, מאפשר למולקולות המיאלין (החומר המקיף את סיבי העצב) במוח, להתמוסס בה (עקב הקצה ההידרופובי שלה) ובכך הן מורחקות מסיבי העצבים. סיבים אלו אינם פועלים כראוי כאשר הם אינם עטופים במיאלין. זהו רק חלק מהמנגנון המורכב של המחלה, שעד היום נחקר.

מומלץ לקרוא מידע נוסף על ההיבטים התורשתיים של המחלה במאמר הבא (בעברית):
 שדה עירית וזוהר רוני (2000). פעילות סיכום לגנטיקה – "השמן של לורנו". עלון למורי ביולוגיה מס' 163, עמ' 49-54.

תשובות לתרגיל 5: שאלות למחשבה ולדיון – השמן של לורנו

כדי לענות על השאלות אין צורך לראות את הסרט. עם זאת, השאלות מתאימות במיוחד לדיון כיתתי ולא כשאלות לעבודת בית, כיוון שהן כרוכות בסיעור מוחות ובהעלאת רעיונות יצירתיים (ולא רק יישום ידע כימי).

1. דוגמאות לשאלות:

- מה קורה במחלת ALD שגורם לכך שנוצרות חומצות השומן הארוכות מאוד?
- מדוע השמן שמכיל חומצות שומן ארוכות לא רוויות עוזר? כיצד?
- מדוע תערובת של שמנים?

2. א. החומצות הארוכות מאוד מיוצרות בגוף ולא בהכרח באות מהמזון ולכן אכילת מזון ללא חומצות אלו לא פתר את הבעיה. הפיתרון צריך להיות מבוסס על הפסקת/מניעת יכולת הגוף לייצר את החומצות.

ב. כאשר בגוף נבנו חומצות השומן הארוכות מאוד, הגוף השתמש, במקום בחומצות שומן רוויות, בחומצה האולאית, שהייתה בכמות רבה עקב אכילה מרובה שלה. בדרך זו, נוצרה חומצת שומן ארוכה מאוד, אך לא רוויה, אשר איננה הרסנית למיאלין. יש כאן תחרות בין החומצות "הקצרות" על בניית החומצות הארוכות מאוד. כאשר יש יותר מהחומצה הקצרה הלא רוויה (האולאית), תיבנה חומצה ארוכה מאוד לא רוויה שאיננה מזיקה.

ג. למרות "התחרות", הגוף המשיך לייצר חומצות שומן רוויות ארוכות מאוד מחומצות שומן רוויות קצרות. יש אפקט של עיכוב השימוש בחומצות שומן קצרות רוויות (על ידי האנזים המתאים) אך לא מניעת השימוש בהן.

ד. החומצה הארוסית, שהיא ארוכה יותר (22 אטומי פחמן), נקשרה טוב יותר לאנזים והיוותה "תחרות" טובה יותר לחומצות הרוויות בגוף. כתוצאה מכך, היא מנעה/עיכבה כמעט לחלוטין את השימוש בחומצות הרוויות לייצור חומצות שומן רוויות ארוכות מאוד. מהחומצה הארוקית נוצרות חומצות שומן ארוכות מאוד, אך לא רוויות, ולכן לא מזיקות.

ה. החומצה הארוסית רעילה ולכן לא ניתן להשתמש בה בכמויות גדולות מדי. כדי להגדיל בכל זאת את כמויות חומצות השומן הלא רוויות, מוסיפים לחומצה הארוקית את החומצה האולאית הלא מזיקה.

שומנים ושמיים – עובדות מפתיעות
 הרשקוביץ, קברמן, אברג'יל ודורי (2007).
 טעם של כימיה - מדריך למורה

החומצה הארוסית מופקת מצמח הליפתית, המכיל 25% מהחומצה. כיום, מייצרים מצמח זה, בתהליך זיקוק מיוחד, את שמן הקנולה, המכיל רק כחצי אחוז חומצה ארוסית.

טריגליצרידים

טריגליצרידים – "טיפים" להוראה בשילוב רמות ההבנה

כפתיחה, מומלץ להביא מספר פירות לכיתה ולהתייחס לריחות השונים האופייניים לפירות אלו. ריחות אלו נובעים, בדרך-כלל, מקבוצת מולקולות הקרויות: אסטרים. לאחר מכן, ניתן לעבור לתהליך קבלת אסטר מכוהל וחומצה קרבוקסילית ולהתייחס לקבוצה: -COO- המאפיינת קשר אסטרי.

לאחר רישום התהליך והסברתו בצורה מילולית, מומלץ להעלות את השאלה: "מה אנו רואים במבחנה בזמן התהליך?" זה מאפשר לעבור שוב מההסבר ברמת הסמל והרמה החלקיקית לרמת התופעה. כאן ניתן להתייחס לתוצרים: מים ואסטר (ניתן גם להתייחס לכך, שהתהליך הפיך ואינו מתרחש עד תום ולכן במבחנה יש גם מגיבים). ביחד עם התלמידים, ניתן להגיע למסקנה כי מולקולת אסטר לא תיצור קשרי מימן עם המים ולמרות היותה קוטבית. גודל השיירים ההידרופוביים גורמים לכך, שהיא לא תתמוסס במים שנוצרו בתהליך ולכן היא לא תתמוסס במים ואנחנו נבחין במבחנה בשתי שכבות. (שאריות הכוהל והחומצה, אם איננה גדולה, יתמוססו במים ויהיו בשכבה המימית).

הערה: נראה לי שיש כאן כפילו לגבי ההתמוססות במים. אך אינני בטוח בכך. אגב בדיקו שוב ותקנו בעצמכן אם צריך....

פתיחה זו מדגישה את המעברים בין כל רמות ההבנה:

רמת התופעה – ריחות החומרים המכילים מולקולות של אסטר ויצירת שתי השכבות בהן נוכל להבחין עם סיום התגובה;

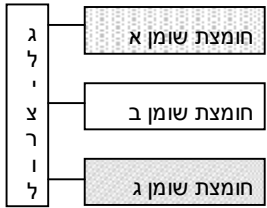
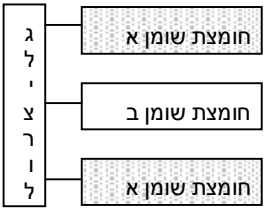
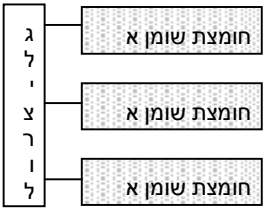
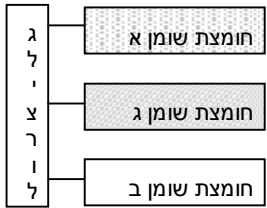
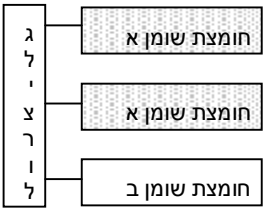
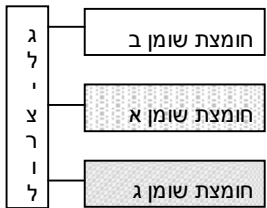

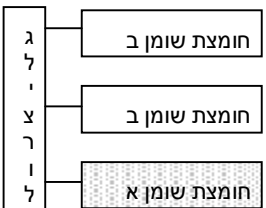
רמת החלקיקים – סוגי קשרים באסטר ובמגיבים (כוהל וחומצה);

רמת הסמל – רישום התהליך (כמתואר בספר לתלמיד);

רמת התהליך – הסבר מלווה של יצירת מולקולת מים מהמימן "המגיע" מהכוהל וההידרוכסיל "המגיע" מהחומצה.

כל הדיון בשלב הראשון התייחס לתהליך כללי של קבלת אסטר. רק לאחר מכן, ניתן לעבור לקבלת טריגליצריד מגליצרול וחומצות שומן.

כדי להקל על התלמידים את ההבנה של הסוגים השונים של טריגליצרידים, הכוללים חומצות שונות או זהות, ניתן לסכם זאת באמצעות סכמות בטבלה הבאה. הטריגליצריד מתואר באמצעות מלבנים המייצגים את הגליצרול ואת חומצות השומן.

סוגי טריגליצרידים		
טריגליצריד המכיל 3 חומצות שומן שונות	טריגליצריד המכיל 2 חומצות שומן זהות	טריגליצריד המכיל 3 חומצות שומן זהות
		
		
		
		

תשובות לתרגיל 6: ניתוח מידע מטבלה - הקשר בין מבנה ותכונות הטריגליצרידים

2. הטריגליצריד הוא EEE המורכב משלוש חומצות שומן: C18:1, trans ומגליצרול.

ניתן לראות בשני המודלים, כי באמצע השרשרת – בין הפחמן ה-9 ל-10 - קיים קשר כפול. רואים בבירור פחות אטומי מימן (שניים ולא ארבעה) ומבנה מרחבי שונה באיזור זה – מבנה שטוח, עקב הקשר הכפול (משולש מישורי סביב אטומי הפחמן בקשר הכפול בניגוד למבנה מרחבי של טטראדר סביב אטומי הפחמן בקשרי C-C רוויים). מכיוון שאין כיפוף באיזור הקשר הכפול, יש

שומנים ושמיים – עובדות מפתיעות
הרשקוביץ, קברמן, אברג'יל ודורי (2007).
טעם של כימיה - מדריך למורה

להניח, כי המבנה הוא טרנס. רואים במודל כדור-מקל בבירור שאטומי המימן הם משני צידי הקשר הכפול – מצב טרנס.

3. א. אם משווים את הטריגליצרידים: PPP ו-SSS – ניתן לראות, כי ככל שאורך השרשרת גדל, נקודת ההיתוך עולה.

ב. הסיבה לכך היא: עליה בכוחות הבין-מולקולריים (כוחות ון-דר-ולס) עקב הוספת אטומים (מסה מולרית גדלה).

4. א. אם משווים את הטריגליצרידים: OOO ו-LLL – ניתן לראות, כי ככל שמידת הריבוי קטנה (יותר קשרים כפולים), נקודת ההיתוך יורדת.

ב. הסיבה לכך היא, שככל שיש יותר קשרים כפולים, ה"קשיחות" במולקולה גדלה וכתוצאה מכך, אריזת המולקולות פחות טובה ולכן הכוחות הבין-מולקולריים חלשים יותר ונקודת ההיתוך יורדת.

5. א. אם משווים את הטריגליצרידים: OOO ו-EEE – ניתן לראות, כי כאשר המבנה המרחבי סביב הקשר הכפול הוא ציס, נקודת ההיתוך נמוכה יותר מאשר במבנה מרחבי טרנס.

ב. הסיבה לכך היא, שבמבנה ציס יש "כיפוף" במבנה המרחבי של המולקולה וכתוצאה מכך, אריזת המולקולות איננה צפופה ונקודת ההיתוך נמוכה. לעומת זאת, למצב טרנס אין כמעט השפעה על מבנה השרשרת ולכן אריזת המולקולות טובה וצפופה יותר, כוחות המשיכה הבין-מולקולריים חזקים יותר ונקודת ההיתוך גבוהה יותר.

6. ב. בטריגליצריד POP, הוחלפה חומצת שומן מסוג P אחת בחומצה O. לחומצה האולאית (O) קשר כפול במבנה ציס, דבר הגורם לכיפוף ולהפרעה בצפיפות האריזה של המולקולות ולכן נקודת ההיתוך של POP נמוכה משל PPP. לעומת זאת, בטריגליצריד OOO שלוש המולקולות הן מסוג O ולשלושתן מבנה ציס בקשר הכפול, כך שההפרעה לצפיפות האריזה גדולה בהרבה ונקודת ההיתוך של OOO נמוכה בהרבה משל POP.

כולסטרול

תשובות לתרגיל 7: ניתוח מידע, יישום ידע כימי ופעילות מלווה רשת בנושא הכולסטרול

1. א. הכולסטרול הוא "טוב" אך יכול להיות גם "רע". הוא "טוב", כי הוא חיוני לפעילות תקינה של כל התאים בגוף. חשיבותו רבה לתהליכים ביוכימיים בגוף, בין היתר לייצור ויטמין D ולייצור מלחי מרה בכבד, שלהם תפקיד חשוב בסיוע לעיכול שומנים. עם זאת, הצטברות גדולה מדי שלו במערכת הדם, גורמת להיצרת כלי דם ולבעיות לב ויתר לחץ דם.

ב. לאדם רזה יכולה להיות רמת כולסטרול גבוהה עקב תכונות תורשתיות. אם יש לו כמות קטנה יחסית של קולטני LDL, פחות חלקיקי LDL ייכנסו לתאים וכמותם בדם תהייה גבוהה יותר.

לאדם כזה, תהייה רמת כולסטרול (המבוטא ביחידות LDL) גבוהה בדם, דבר המהווה סיכון למחלות כלי הדם ומעלה את הסיכון להתקפי לב.

ג. הכולסטרול ה"טוב" הוא חלקיקי HDL המוכנסים לתאים ובכך יורדת כמות הכולסטרול בדם. הכולסטרול "הרע" הוא חלקיקי LDL אשר עלולים להצטבר במערכת הדם ולגרום למחלות כלי דם ולב. ההבדל ביניהם הוא ביחס שבין החלבון לשומן במעטפת החלבון-השומני העוטפת את הטריגליצרידים והשומנים. חלקיקי HDL הם בעלי מעט שומן ויותר חלבון ולכן כבדים ודחוסים יותר. חלקיקי LDL הם בעלי הרבה שומן ומעט חלבון, קלים יותר ופחות דחוסים.

2. א. נוסחתו המולקולרית של הכולסטרול: $C_{27}H_{46}O$.

ב. הכולסטרול שייך למשפחת הכוהלים, מכיוון שהקבוצה הפונקציונלית שלו היא הקבוצה ההידרוכסילית: OH.

ג. הכולסטרול יכול לייצר אסטר אם יתרכב עם חומצה קרבוקסילית, לדוגמה: חומצת שומן.

3. א. I. חומצות השומן הרצויות הן אלו המורידות את רמת הכולסטרול "הרע" - LDL, ומעלות את רמת הכולסטרול "הטוב" - HDL. לכן, החומצות הרצויות הן חומצות השומן הלא-רוויות. החומצות הרוויות אומנם מעלות את ה-HDL אך גם את ה-LDL, ולכן רצוי להקטין את צריכתן. חומצות טרנס אינן רצויות כלל, כי הן מעלות את הכולסטרול "הרע" LDL.

II. בשוקולד יש חומצות רוויות, אשר מעלות את ה-HDL, אך גם את ה-LDL ולכן רצוי להקטין את צריכתו.

ב. לפי הטבלה (מצורפת בהמשך), השמנים המומלצים הם שמן קנולה וחריע, כי הם מכילים אחוז גבוה של חומצות שומן חד ורב-רוויות ומעט חומצות שומן רוויות (המעלות את רמת ה-LDL). השמנים הפחות רצויים הם שמן דקלים ושמן וקוקוס, מכיוון שהם מכילים אחוז גבוה יחסית של חומצות שומן רוויות.

הטבלה שבאתר:

Percentage of Specific Types of Fat in Common Oils and Fats*				
Oils	Saturated	Mono-unsaturated	Poly-unsaturated	Trans
Canola	7	58	29	0
Safflower	9	12	74	0
Sunflower	10	20	66	0
Corn	13	24	60	0
Olive	13	72	8	0
Soybean	16	44	37	0
Peanut	17	49	32	0
Palm	50	37	10	0
Coconut	87	6	2	0

5. כשהגוף מקבל כמות גבוהה של שומן ממוזן, עודף השומן גורם לייצור עצמי גבוה של כולסטרול. לעומת זאת, אם נמנעים לחלוטין מאכילת מאכלים המכילים כולסטרול, מערכת הבקרה בגוף מגיבה לירידה ברמת הכולסטרול וגורמת להגברת הייצור העצמי של כולסטרול. כך קורה, שלאחר תקופה בה נמנעים לחלוטין מאכילת מזון המכיל כולסטרול, רמת הכולסטרול בדם לא רק שאינה יורדת, אלא לעיתים אף מתחילה לעלות. לכן, מומלץ להוריד בהדרגה את המאכלים העשירים בכולסטרול, אך לא להימנע מהם לחלוטין.

תשובות לתרגיל 8 – הקשר בין מבנה ותכונות – חמאה מול מרגרינה

1. תהליך הרוויית קשרים כפולים – פתיחת הקשר הכפול C-C וסיפוח שני אטומי מימן. כתוצאה, נוצר קשר בודד C-C עם 4 אטומי מימן סביבם. קשר רווי הוא קשר בו כל אטום מכיל את מירב הקשרים האפשריים בינו ובין אטומים נוספים. קשר בין 2 אטומי פחמן יהיה רווי כאשר כל אטום פחמן קשור לארבעה אטומים שכנים בקשרים בודדים.

ככל שכמות הקשרים הכפולים קטנה יותר, המרגרינה שתתקבל תהייה קשה יותר – הקשר הכפול מקטין את גמישות המולקולה ובמצב ציט גם גורם לכיפוף במולקולה. כתוצאה מכך, אריזת המולקולות פחות צפופה ונקודת ההיתוך של החומר נמוכה יותר. חומצת שומן עם קשר כפול בעלת נקודת ההיתוך נמוכה מספיק, תהייה נוזלית בטמפרטורת החדר. ככל שיש יותר קשרים כפולים, אריזת המולקולות פחות טובה, נקודת ההיתוך תהייה נמוכה יותר והחומר יהיה נוזלי יותר. ולהיפך – ככל שמספר הקשרים הכפולים במולקולה יורד, האריזה תהייה צפופה יותר והחומר יהיה קשה יותר וטמפרטורת ההיתוך שלו תהייה גבוהה יותר.

2. יש להוסיף את הוויטמינים לאחר תהליך ההידרוגנציה. הסיבה לכך היא מבנה הוויטמינים, הכולל קשרים כפולים. בתהליך ההידרוגנציה, המתרחש בלחץ וטמפרטורה גבוהים, יכולים לעבור קשרים אלו שינוי (הרווייה או שינוי מיקום הקשר הכפול). עם זאת, לאחר ההידרוגנציה, יש לחמם את המוצק המתקבל ולהפכו לנוזלי כדי שהוויטמינים יתמוססו בו. אם נוסיף את הוויטמינים לאחר שמתקבל מוצק, ללא חימום, אריזת המולקולות בו צפופה ויכולת הוויטמינים לחדור בין מולקולות השומן כדי להתמוסס בו תהייה קשה יותר ואף בלתי אפשרית.

3. הסבר ברמה המולקולרית:

- מרגרינה רכה (למריחה) לעומת מרגרינה קשה - חומצות טרנס מאפשרות אריזת מולקולות צפופה יותר ולכן חומר קשה יותר. כך, במרגרינה קשה, יש יותר חומצות טרנס והיא עברה תהליך ממושך יותר של הידרוגנציה.
- השמן ממנו מיוצרות המרגרינות מכיל פחות מ- 0.1% חומצות שומן מסוג טרנס – השמן הוא ממקור צמחי טבעי ובטבע אין כמעט חומצות מסוג טרנס. הן נוצרות בתהליך ייצור המרגרינה כתוצאה משינויים בקשרים הכפולים בתהליך ההידרוגנציה.

4. הסיבה נעוצה בקושי לערוך מחקרים מבוקרים בבני-אדם. מחקר כזה דורש מעקב ממושך, של יותר מ- 10 שנים, אחר שתי קבוצות של אנשים – קבוצה הצורכת כמות גבוהה של שומן המכיל חומצות טרנס, זו קבוצת הניסוי, וקבוצה הצורכת כמות נמוכה יחסית (או כלל לא) של חומצות טרנס – קבוצת הביקורת. קשה, ולעיתים כמעט בלתי אפשרי, לעקוב ולשלוט על סוגי אוכל שאנשים צורכים בתקופה כה ממושכת.

5. התכונות להן נצפה בעקבות המידע בטבלה:

התכונה	רמת התופעה	הרמה החלקיקית
קשיות המרגרינות	מרגרינה מזולה קשה יותר מויקול מכיוון שהיא מכילה אחוז גבוה יותר של שומן כולל שומן רווי	ככל שאחוז השומן גבוה יותר, בעיקר הרווי, אריזת המולקולות צפופה יותר והחומר קשה יותר
זמן מדף (זמן תפוגת המוצר למאכל)	למרגרינה מזולה זמן מדף ארוך יותר, כי היא מכילה אחוז גבוה יותר של שומן רווי	שומן רווי איננו מכיל קשרים כפולים ולכן איננו רגיש לתהליכי חימצון הפוגמים במוצר. לויקול פחות שומן רווי, לכן יותר שומן לא-רווי ולכן הוא רגיש יותר לחימצון*
היבט בריאותי	ויקול בריאה יותר, כי היא מכילה פחות שומן רווי, ללא חומצות טרנס וגם סיבים תזונתיים	שומן רווי וחומצות טרנס מעלים את רמת הכולסטרול בדם ובכך תורמים להעלאת הסיכון למחלות שונות

* בגדר השערה, כי למרגרינות מוסיפים גם חומרים נוגדי חימצון כדי להאריך את זמן המדף שלהם

תשובות לתרגיל 9: הקשר בין מבנה ותכונות האנטיאוקסידנטיים

1. המשותף: טבעת בנוזן וקבוצת הידרוכסיל מחוברת אליה – זוהי הקבוצה הפנולית.

2. האור גורם ליצירת מולקולות חמצן פעילות, "המתקיפות" את הקשר הכפול וגורמות לחימצון השמן. כמו כן, הפלסטיק ממנו עשויים בקבוקים, חדיר למולקולות חמצן, דבר המאפשר את תחילת תהליך החימצון. לכן, עדיף לשמור שמן ביתי בבקבוק זכוכית ובמקום חשוך.

3. השמן הוא נוזלי ונוח לטיגון ולכן משתמשים בו לטיגון ביתי. בתעשייה, יש צורך בתהליכי טיגון ארוכים וממושכים, דבר הגורם לתהליך מואץ של חימצון עצמי של השמן וביאושו. הקשייתו על-ידי הרווית חלק מהקשרים הכפולים בשמן, גורמת לירידה במספר הקשרים הכפולים ואיתם הירידה במהירות החימצון העצמי של השמן.

4. הטיגון מחיש את תהליך החימצון. בבית. לאחר שימוש בשמן לטיגון, יש לשפוך אותו ולא להשתמש בו לטיגון חוזר. בתעשייה, כדי להשתמש בשמנים לטיגון ממושך, מוסיפים חומרים נוגדי חימצון. בכך, מאטים את תהליך החימצון של השמן ומאפשרים שימוש ארוך יותר בו.

תשובות לתרגיל 10: חקר אירוע – אנטיאוקסידנטים (הרחבה)

1. מטרת השאלה היא למקד קריאה משמעותית וזיהוי נושא מרכזי בכל פיסקה. ייתכנו כותרות שונות, אך יש להניח שהן תהיינה דומות:
 - פיסקה ראשונה – שינוי בגישת מדענים לשוקולד;
 - פיסקה שנייה – חומרים נוגדי חימצון וסכנת חימצון שומנים בדם;
 - פיסקה שלישית – השפעה של צריכת שוקולד על רמת החומרים נוגדי החימצון בדם.

2. יש לכוון את התלמידים לשאלות מורכבות ו/או משמעותיות – שאלות, אשר התשובה עליהן תוסיף מידע להבנת ו/או להעמקת המידע שבאירוע. בדרך כלל, שאלות שהתשובה עליהן איננה מילה (כן/לא), או מספר.
 - 3. א. הנוסחה המולקולרית של החומר הינה: $C_{15}H_{14}O_6$.
 - ב. ב-Epicatechin, כמו באנטיאוקסידנטים האחרים, מופיעה הטבעת הבנונית וקבוצת OH הקשורה אליה. מנגנון פעילותה של מולקולה המשמשת כאנטיאוקסידנט הינו מורכב וכוון בהבנת תהליך שרשרת רדיקלי, אשר איננו בתוכנית הלימודים. עם זאת, ניתן לציין באזני התלמידים שיתעניינו, כי בתהליך הרדיקלי, אטום המימן של קבוצת ה-OH הקשור לטבעת הבנונית הופך לרדיקל ה"סוגר" את תהליך חימצון השומנים ובכך מעכב את החימצון. הטבעת הבנונית עם החמצן הלא מזווג, במולקולת האנטיאוקסידנט, הינה בעלת יציבות גדולה במיוחד ולא נתונה ל"התקפת" חמצן רדיקלי.
 - ג. I. הקבוצות הפונקצנליות בחומר הן קבוצה כהלית וקבוצה אתרית.
 - II. יש לקבל מיגוון אפשרויות, בתנאי שהן מתאימות לכללי הקישור הכימי.
 - III. ה-epicatechin הוא חומר מולקולרי, המכיל חמש קבוצות OH, ועל כן יכול ליצור קשרי מימן בין מולקולריים. בנוסף, הוא מכיל אטום חמצן נוסף, המקטב את המולקולה ויוצר קשרי ון דר ולס בין מולקולריים חזקים יחסית עם מולקולות שכנות. המסה המולרית של החומר גבוהה ועל כן היא תורמת לחיזוק כוחות הון דר ולס. נקודת הרתיחה של החומר תהיה גבוהה יחסית לחומר שצויר בסעיף II. זאת, גם עקב המסה המולרית הנמוכה באופן משמעותי בהשוואה ל-epicatechin וגם עקב מספר מועט יותר של מוקדי קישור ליצירת קשרי המימן.

4. שוקולד מכיל גם כמות רבה של חומצות שומן רוויות, המעלות את כמות הכולסטרול ה"רע" וכן סוכרים התורמים לערך קלורי גבוה. מזונות עתירי שומן וסוכר תורמים להיווצרות עודף משקל, שהוא בעייתי מסיבות רבות. אחת הסיבות החשובות היא העלאת הסיכון למחלות לב וכלי דם. מסיבות אלה, יש להעדיף פירות וירקות כמקור לחומרים נוגדי חימצון על פני שוקולד.