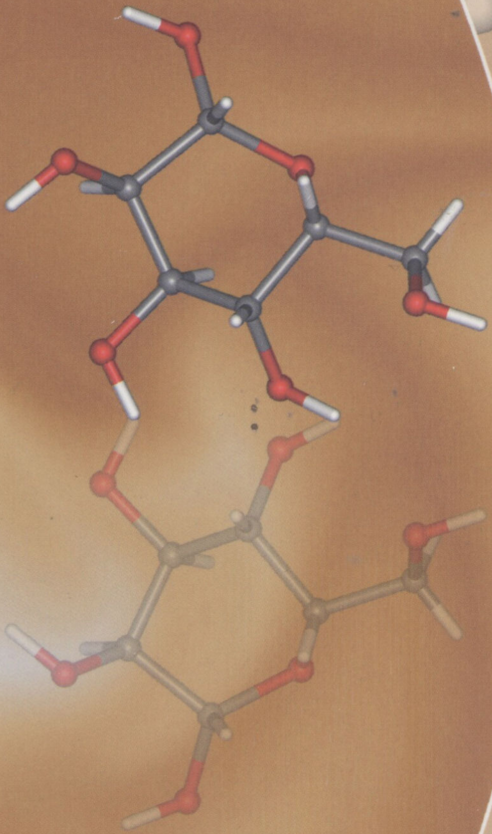
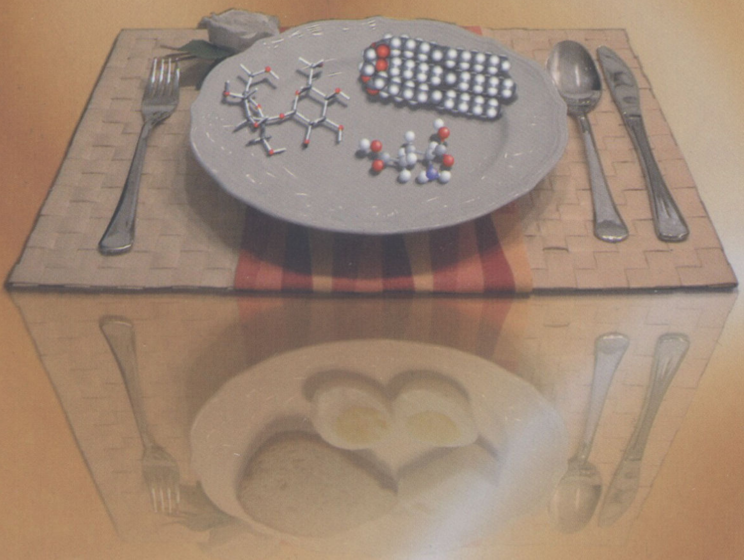
הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים
קבוצת הכימיה

מטה מל"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי
על שם עמוס דה-שליט

משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
האגף לתכנון ולפיתוח תוכניות לימודים

טעם של כימיה





ד"ר אורית הרשקוביץ
צביה קברמן

ראש הפרויקט: פרופ. יהודית דורי
יועץ מדעי: פרופ. אורי קוגן

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים
קבוצת הכימיה

מטה מל"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי
על-שם עמוס דה-שליט

תל משרד החינוך
האגף לתכנון ולפיתוח תוכניות לימודים

טעם של כימיה

ד"ר אורית הרשקוביץ
ד"ר צביה קברמן

ראש הפרויקט: פרופ. יהודית דורי
יועץ מדעי: פרופ. אורי קוגן

הוצאת ספרים יסוד

ברצוננו להודות:

- **לרותי לפלר** על קריאתה המעמיקה של כל פרקי היחידה והערותיה החשובות.
- **למאשה צאושו** על הערותיה המקיפות לגבי ההיבטים הביולוגיים בכל היחידה.
- **לאדית וייסלברג, ד״ר מרים כרמי, ירדן קדמי ורותי שטנגר** על הערותיהם בשלבי הכתיבה השונים של היחידה.
- **לשירלי אברג׳יל** על עזרתה במדריך למורה.
- **לד״ר מירי ברק** על הערותיה בפרק החלבונים.
- למורים הנסיינים, אשר שילבו בשנת הניסוי הראשונה את יחידת הלימוד בכיתותיהם ונתנו משוב:

  יעל ארנרייך, ציפי ברלר, מירית מושקוביץ, ירדן קדמי, רבקה שימל ועדינה שיינפלד.

- **לד״ר ניצה ברנע**, מפקחת ארצית (מפמ״ר) להוראת הכימיה, משרד החינוך **ולד״ר רחל טסה**, מפקחת תחום כימיה, האגף לתוכניות לימודים, משרד החינוך, על תמיכתן ועידודן.
- תודה מיוחדת **לפרופ. אורי קוגן**, הפקולטה להנדסת מזון וביוטכנולוגיה בטכניון, על העניין וההתלהבות הרבה שגילה ביחידת הלימוד והשקעתו הרבה בקריאתה המעמיקה ומתן יעוץ מדעי משמעותי וממוקד.

עריכה לשונית:

אבשלום גינוסר

עיצוב וגרפיקה:

נועם שושן

גרפיקה ועיצוב עטיפה:

טל הרשקוביץ

עריכה:

ד״ר אורית הרשקוביץ

שותף בהוצאה לאור: יואל אייזנברג, הוצאת אח

©

כל הזכויות שמורות, משרד החינוך

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם, לאכסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט
בכל דרך או אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני או אחר כל חלק שהוא מהחומר שבספר זה.
שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בספר זה אסור בהחלט אלא ברשות
מפורשת בכתב מהמחברים.

מהדורה שנייה ספטמבר 2008

תוכן עניינים

הקדמה	5
מזון למחשבה	7
מה אנו יודעים על מזון והרגלי צריכתו?	8
בעיית הרעב העולמי	10
מרכיבי המזון	15
מזון, אנרגיה ומה שביניהם	19
שומנים ושמנים - עובדות מפתיעות	25
מה אנו יודעים על שומנים?	26
שומנים - "טובים" או "רעים"?	27
חומצות שומן	28
הקשר הכפול והשפעתו על תכונות החומר - חומצות שומן לא רוויות	34
חומצות שומן חשובות בגופנו	38
טריגליצרידים	43
כולסטרול	46
פעילות כימית של חומצות שומן	48
שמני מאכל	54
פחמימות לטוב ולרע	57
מה אנו יודעים על פחמימות?	58
אכילת פחמימות - "טובה" או "רעה"?	59
המבנה הכימי של פחמימות וסיווגן	60
חד-סוכרים	60
איזומריה אופטית ויישומה בחד-סוכרים	72
דו-סוכרים	74
רב-סוכרים	80
חלבונים על קצה המזלג	89
מה אנו יודעים על חלבונים?	90
חלבונים במזון: "כל המרבה הרי זה משובח" - האומנם?	91
חומצות אמיניות	91
מיון החומצות האמיניות	95
מבנה החלבונים	100

תוכן עניינים - המשך

טעמים של כימיה	**105**
מה אנו יודעים על הכימיה של טעמי המזון?	106
טעם - הכול עניין של כימיה...	107
מתיקות - הטעם המתוק	109
חמיצות - הטעם החמוץ	111
מליחות - הטעם המלוח	112
מרירות - הטעם המר	114
אוממי - הטעם החמישי	116
חריפות - תחושת הטעם החריף	118
נספחים	**121**
נספח 1 - רמות הבנה בכימיה	122
נספח 2 - ניסויים ליחידת הלימוד	124
נספח 3 – קבוצות פונקציונאליות ביחידת הלימוד	137
נספח 4 - מילון מושגים	138
נספח 5 – רשימת מקורות מוערת ליחידת הלימוד	151

הקדמה

יחידת הלימוד עוסקת בכימיה של מזון, מרכיביו וטעמיו השונים והיא בבחינת "טעימה" מהתחום הרחב הקשור בהיבטים כימיים של מזון. המזון שאנו אוכלים מהווה מרכיב מרכזי ויומיומי בחיי כולנו והמודעות למזון שאנו אוכלים נמצאת בעלייה מתמדת בשנים האחרונות. הבנת מרכיבי המזון והשלכותיהם על גופנו תאפשר לנו אריכות ימים ואיכות חיים משופרת. היכרות עם מרכיבי מזון, תהליכי ייצורו ועיכולו בגופנו, משלבים יישום של מושגים כימיים רבים הנלמדים במסגרת לימודי הכימיה בתיכון.
לאחר לימוד היחידה תוכלו לענות על שאלות מרתקות רבות כגון:

- מהם חומרים נוגדי חימצון (אנטיאוקסידנטים)? מדוע מוסיפים אותם למזון?
- מהן חומצות אומגה 3? מה היתרון שלהן עבור דגי ים ובמיוחד עבור דגי הים הצפוני? מדוע הן חשובות לבריאותנו?
- מהם שני הסוכרים העיקריים המרכיבים את הדבש? האם ניתן לזייף דבש? אם כן, כיצד?
- אם הנכם צמחוניים. מדוע חשוב כי תקפידו לאכול צירופי מאכלים מהצומח כמו: אורז עם עדשים (מג'דרה), פיתה עם חומוס, חומוס עם טחינה?
- מהו הטעם אוממי ובאלו מזונות הוא קיים?

יחידת הלימוד משלבת בין הכרת מושגים מרכזיים בתחום המזון, תוך יישומם בידע אשר נרכש בלימודי הכימיה, לבין מיגוון מיומנויות חשיבה. מיומנויות אלו כוללות:

- הבנה כימית בארבע רמות ההבנה - הקשר בין מבנה, קישור, תכונות ותפקוד חומרים הקשורים במזון;
- מעברים בין מיגוון צורות ייצוג של מידע:
  - ממידע מילולי לטבלה ולגרף ולהיפך; ניתוח טבלאות וגרפים;
  - מודלים שונים לייצוג מולקולרי;
  - איתור מידע באינטרנט וניתוחו;
- ניתוח היבטים מוסריים הקשורים במזון.

מושגים רבים הקשורים במזון כגון: טריגליצריד, שומן טרנס, כולסטרול, סיבים תזונתיים, חלבון מלא ועוד, בוודאי מוכרים לכם מידע קודם ומאמצעי התקשורת השונים. לעיתים, ידע זה איננו מלא ולעיתים אף מוטעה. ביחידת לימוד זו תכירו מושגים אלו ועוד רבים אחרים מבחינה מדעית-כימית. אנו מקוות, כי ידע חדש זה, שתרכשו במהלך לימוד היחידה, יעורר בכם עניין ויאפשר לכם להשתמש בו בצורה מושכלת בחיי היומיום, עכשו ובעתיד.

לימוד מהנה ומעניין,

אורית, צביה ויהודית

מזון למחשבה

מטרות הפרק

היבט כימי	• הכרת מסלול הפקת אנרגיה בגוף האדם
היבט תזונתי	• הכרת מרכיבי המזון
היבט חברתי/ אישי	• הכרת הרגלי צריכה נכונים של מזון • בעיית הרעב העולמי ופתרונות אפשריים

תכנים ומושגים מרכזיים

היבט כימי	• מיון ויטמינים לפי מסיסותם או אי מסיסותם במים • מבנה מולקולת ATP • תהליך גליקוליזה ומעגל קרבס (היכרות כללית בלבד)
היבט תזונתי	• פחמימות, שומנים וחלבונים – כמקור לאספקת אנרגיה ולבניית רקמות הגוף • ויטמינים ומינרלים החיוניים לפעילות ביולוגית תקינה של הגוף • ערך קלורי של מזון
היבט חברתי/ אישי	• פירמידת המזון • ניתוח קצב גידול האוכלוסין בעולם

מה אנו יודעים על מזון ועל הרגלי צריכתו?

ידע מקדים

1. אלו מרכיבי מזון עיקריים הנכם מכירים? כיצד ניתן למיינם?
2. המזון מספק לגוף אנרגיה כימית - כיצד?
3. האם צריכת יתר של מזון גורמת למחלות? האם חוסר בצריכת מזון גורם למחלות? בכל מקרה, צרפו דוגמאות.
4. בעבר, שלטה בציבור התפישה, כי די בחושים הטבעיים שלנו לגבי אוכל וצריכה של סוגי מזון שונים, כדי לספק לגוף את כל רכיבי המזון הדרושים לו. כיום, לעומת זאת, רווחת הגישה המדעית, הרואה במזון גורם ראשון להתפתחות תקינה מחד ולמניעת מחלות מאידך. בהתאם לכך, פירסם אירגון הבריאות העולמי שבע הנחיות בסיסיות לתזונה נכונה ובריאה, המקובלות גם על מוסדות הבריאות בארץ.
הוסיפו בטבלה שלפניכם את הנימוקים שלדעתכם עומדים מאחורי כל אחת מההנחיות.
היעזרו באתר: http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-2615934,00.html

הנחיות לתזונה נכונה

מס'	הנחיה	נימוק
1	להתאים את כמות המזון לצרכי הגוף	
2	לגוון את מקורות המזון כדי לספק את הצרכים התזונתיים של הגוף	
3	להרבות בשתיית מים	
4	להמעיט באכילת מזון המכיל שיעור גבוה של שומן, במיוחד שומן רווי וכולסטרול	
5	להגדיל את צריכת הסיבים התזונתיים באמצעות אכילת ירקות ופירות (כולל קליפותיהם), דגנים וקטניות	
6	להמעיט באכילת ממתקים ובשתיית משקאות ממותקים	
7	להמעיט את השימוש במלח בישול ובמוצרי מזון המכילים מלח בריכוז גבוה	

5. ב-1992 פירסם משרד החקלאות האמריקאי (USDA) בצורה רשמית את פירמידת המזון, שנועדה לעזור לציבור הרחב בבחירה נבונה של מזונות.
א. היכנסו לאתר: http://www.2life.co.il/FoodPyramid/pyramid.htm
ציירו והסבירו על אלו עקרונות תזונתיים מבוססת הפירמידה. אלו מזונות מומלץ לצרוך במידה רבה, ואלו במידה מועטה?
ב. 12 שנה לאחר מכן, המליץ משרד החקלאות האמריקאי על גישה חדשה לפירמידת המזון.
עיינו באתר: http://www.mypyramid.gov והסבירו מהי פירמידה זו ומה העקרונות והרגלי התזונה המומלצים בה.
ג. כיום, יש המעבירים ביקורת גם על פירמידה זו. היכנסו לאתר הישראלי הרפואי:
Infomed: hppt://www.infomed.co.il/news/n_072702_1.htm וסכמו את עיקרי הביקורת המוצגת שם.

ניתוח מידע מטבלה

עיינו בטבלה הבאה, בה תורגמו לערכי צריכה, אחדות מהמלצות משרד הבריאות בישראל לתזונה נכונה.

צריכה יומית ממוצעת מומלצת של אנרגיה ומרכיבי מזון אחדים

קבוצת גיל	אנרגיה (קק"ל*)	חלבונים (גרם**)	סידן (מ"ג)	ברזל (מ"ג)	נתרן (מ"ג)	ויטמין B12 (מק"ג)	ויטמין C (מ"ג)
תינוקות 0-9 חודשים	124	2.4	400	1 (לק"ג)	230	0.3	30
ילדים 2-6 שנים	100	1.5	800	10	900	1.0	45
מתבגרים 12-18 שנה	49	1.0	1200	12	1,800	2	60
בוגרים 18-25 שנה	33	0.8	1200	10	2,200	2	60
מבוגרים 25-50 שנה	31	0.8	800	10	2,200	2	60
זקנים 70 שנה ויותר	27	0.8	800	10	2,200	2	60

הערות:

צריכת האנרגיה המומלצת מתייחסת לאכילת מוצרים המספקים אנרגיה. בעיקר: שומנים ופחמימות.

* קילו-קלוריות לכל ק"ג משקל גוף.

** גרם לכל ק"ג משקל גוף

מ"ג - מיליגרם (10^{-3} × 1 גרם), מק"ג = מיקרוגרם (10^{-6} × 1 גרם)

1. האם בטבלה יש נתונים אשר הפתיעו אתכם? מדוע?
2. לאורך שנות חיים - מהי מגמת השינוי בצריכת כל אחד מהמרכיבים המתוארים בטבלה?
3. עבור מתבגרים -
   א. דרגו את מרכיבי המזון, מהמרכיב שצריכתו המומלצת היא הגבוהה ביותר לזה שצריכתו המומלצת היא הנמוכה ביותר;
   ב. מהו היחס (המספרי) בין צריכת ויטמין B_{12} לוויטמין C?
4. כמתבגרים על סף המעבר לבוגרים - אלו שינויים בהרגלי התזונה עליכם לעבור?
5. א. אלו שימושים יכולים להיות לטבלת הקבוצה המומלצת הנ"ל? התייחסו לרמת הפרט והכלל.
   ב. אלו מיגבלות יש לדעתכם לפירסום רשמי של טבלה כזו?

בעיית הרעב העולמי

מאז ומעולם, קיימת בעולם הדאגה למזון, אך אופייה של דאגה זו משתנה בהתאם לאיזור שבו מדובר. באיזורים מפותחים, מרבית ייצור המזון הינו תעשייתי, נגיש ומצוי בשפע. רק חלק קטן מהאוכלוסייה באיזורים אלה מעורב בתהליכי ייצור המזון, שבמסגרתם מוספים למזון חומרים שונים. הדאגה העיקרית באיזורים המפותחים היא בנושאים של מחיר המזון, גיוונו, ובעיקר - איכות המזון והשפעתם של תוספי המזון. לעומת זאת, באיזורים לא מפותחים בעולם, מרבית האוכלוסייה מעורבת בייצור מזון ועסוקה בהשגת סוגי מזון בסיסיים. במדינות המתפתחות, בעיקר הודו, סין ומדינות רבות באפריקה, הכוללות כשני שלישים מאוכלוסיית העולם, חיים רוב האנשים הסובלים מתת תזונה ורעב בעולם.

לפני כ-12,000 שנה, עם סיומה של תקופת הקרח האחרונה, חיו בעולם כשלושה מיליוני בני אדם. חלפו כ-8,000 שנה ומספר בני האדם הגיע ל-30 מיליון. 2,000 שנה אחר כך כבר היו כאן 300 מיליונים. בשנת 1600 הכפיל המספר את עצמו. מכאן, קצב גידול האוכלוסין הפך למסחרר. בתוך פחות מ-300 שנה, במחצית השנייה של המאה ה-19, חצה מספר בני האדם את קו המיליארד הראשון. בתוך 100 שנים נוספות גדלה אוכלוסיית העולם פי חמישה, כלומר - חמישה מיליארדי בני אדם. עתה, בראשית המאה ה-21, חיים בעולם שישה מיליארד בני אדם. ואם לא די בכך, צופים המומחים שעד שנת 2050 יוכפל מספר תושבי כדור הארץ.

לקצב המסחרר של גידול האוכלוסין יש השלכות רבות. העיקרית שבהן היא העובדה, שכדי להבטיח מזון לכולם, חייבים להכפיל, ואף לשלש, את ייצור המזון. האתגר עצום, והוא קשה שבעתיים לאור המחסור הגובר והולך במים ובקרקע לעיבוד חקלאי.

הפיתרון לבעיה הינו מורכב, רב-שלבי, ומצריך חשיבה מערכתית לטווח הרחוק. פיתרון זה כולל שילוב של שלושת ההיבטים הבאים:

1. בקרת גידול האוכלוסין

זהו צעד הכרחי, מתוך הבנה כי מאגרי הקרקע והמים לחקלאות הולכים וקטנים.

קצב גידול אוכלוסיה גבוה ביותר נרשם באפריקה, באמריקה הלטינית ובאסיה (לפי הסדר הזה). בקניה (אפריקה) קיים גידול שנתי של 4 אחוזים. כיום, חיים בקניה 27 מיליון בני אדם, ובעוד כ-25 שנה, יהיו בה כ-75 מיליון בני אדם (כמעט פי שלושה). במקסיקו (אמריקה הלטינית) הוכפלה האוכלוסייה בפחות מ- 20 שנה ומקסיקו סיטי (בירת המדינה) נחשבת למרכז העירוני המאוכלס ביותר בעולם. בסין (אסיה) נרשם קצב

גידול מתון יחסית, אך גודלה הרב של האוכלוסייה הנוכחית(1.25 מיליארד בני אדם) מתורגם לשיעור גידול עצום שלה.
שיעור גידול זה הוא עדות להצלחת המין האנושי בהשוואה למינים אחרים, אולם דווקא הצלחה זו מעמידה בספק את עתידו של כדור-הארץ כביתם של בני האדם החיים בו. גידול האוכלוסין לא יוכל להימשך עד אינסוף וכדור-הארץ לא יוכל לקיים אוכלוסייה המתרבה בקצב הזה.
מדיניות כלל עולמית של צימצום ילודה – הכוללת מערכת הסברה לתיכנון המשפחה – היא המפתח לפיתרון בעיית התפוצצות האוכלוסין. במדינות רבות בעולם נעשים מאמצים להוריד את שיעור הילודה. מדינות כמו הודו, סין ותאילנד נוחלות הצלחה: בהודו ירד שיעור גידול האוכלוסייה מ- 4% ל- 2%. בסין ירד השיעור מ- 3.5% ל- 1.4% ובתאילנד מ- 3.2% ל- 1.6%.

2. הגדלה של אספקת המזון

קצב גידול האוכלוסין בעולם מחייב להכפיל ואף לשלש את הייצור החקלאי העולמי במטרה להשיג את אספקת המזון הדרושה. לשם כך, יש צורך בהקצאת שטח גדול יותר לגידולים חקלאיים. דבר זה איננו אפשרי עקב הצורך ההולך וגדל במקום מחייה לאוכלוסיית העולם הגדלה. לכן, עיקר המאמץ עובר להשבחת הקרקע, לקבלת ייבול רב ואיכותי יותר על שטחי קרקע מצומצמים יותר ובזמן קצר יותר. כמו כן, נעשים מאמצים להשתמש במיגוון רחב יותר של צמחים כמקור לחלבונים ולהגדיל את הפקת המזון מהם.
ההנדסה הגנטית* הצליחה להוכיח, שניתן להגביר את הייצור החקלאי באופן משמעותי. העוסקים בתחום מדגישים, כי ההנדסה הגנטית יוצרת חקלאות ידידותית יותר לסביבה, צורכת פחות קרקע, משתמשת בפחות כימיקלים, ובמקביל מבטיחה תנובה גדולה ומזינה יותר ליחידת שטח.

3. הקטנת ביזבוז ואובדן של מזון

הבעייה של קילקול וביזבוז מזון הוחמרה עם תהליך העיור (התרכזות האוכלוסייה בערים גדולות). הסיבה לכך היא, התרחקות האוכלוסייה משטחי הייצור והגידול של המזון ועקב כך, הגדלת מירווח הזמן בין הייצור והשימוש במזון. תהליך זה הביא לפיתוח מואץ של תהליכי שימור מזון.
קילקול ואובדן מזון מתרחשים עקב זיהום, פגיעה של מזיקים, שימוש לא יעיל וריקבון. כאן, משתלב הכימאי. התחום המחקרי, הקשור בכימיה של מזון, עוסק בעיקר בייצור מזון ובשימורו. מטרת המחקר היא גילוי ומעקב אחר התהליכים הכימיים והביו-כימיים המשפיעים על מרכיבי המזון בטווח הקצר והארוך, מתוך רצון להבין וליישם תהליכים של ייצור מזון בעל איכות גבוהה אשר אינו מהווה סכנה לבריאות האדם.
בתהליך ייצור המזון, מוסיפים חומרים שונים במטרה להשביחו. השבחה זו נועדה לשפר את המירקם, הטעם, הצבע והערך התזונתי של המזון. עם זאת, במהלך הייצור או איחסון המזון, יכולים להתרחש תהליכים כימיים שונים, אשר פוגעים באיכות המזון, במרקמו ובטעמו.

---

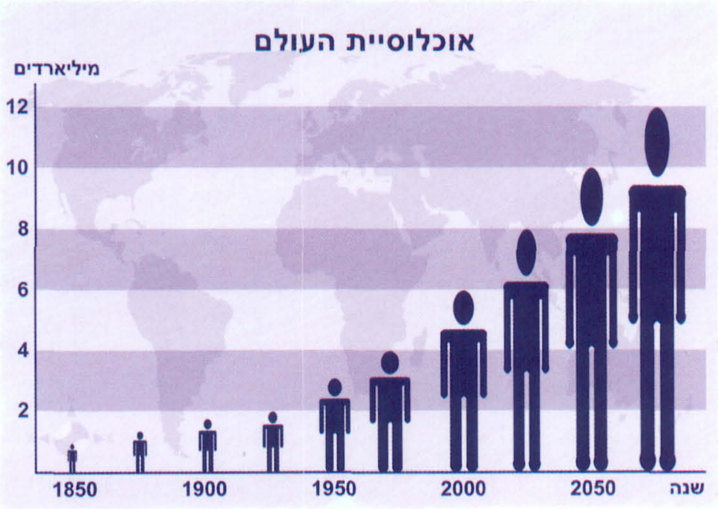
* הנדסה גנטית היא תהליך של שינוי גנים מסוימים באורגניזם ושינוי תכונותיו כפועל יוצא מזה.
הנדסה גנטית מתמקדת כעת בהשבחה של גידולים חקלאיים, אך היא רלוונטית גם ביחס לבעלי חיים ואף לבני אדם.

האם אבותינו, שאכלו מזון טבעי, היו בריאים יותר מאיתנו, לאור העובדה שאנחנו צרכנים של אוכל מעובד, שעבר תהליכי ייצור שונים?

התשובה איננה חד משמעית. מצד אחד, אבותינו אכלו מזון זמין בהתאם לעונות השנה. מזונם יכול להיחשב יותר "טבעי" או "אורגני". מצד שני, הם סבלו ממחלות שונות עקב מחסור בוויטמינים, בעיקר: ויטמין C וויטמין D, שאינם זמינים כל השנה, וכן חלו במחלות שנבעו מאכילת מזון מקולקל (שהכיל חיידקים ופיטריות גורמי מחלות). אנחנו, צרכני אוכל מעובד, נוטים לצרוך יותר מהכמות שלה זקוק הגוף לתיפקודו התקין, בעיקר שומנים ופחמימות. אך מצד שני, אנו יכולים לשלוט על צריכת ויטמינים ומינרלים מאוזנת לאורך כל השנה, וכן – קטן הסיכוי שנאכל אוכל מקולקל בשל התפתחות שיטות השימור.

תרגיל 1: ניתוח מידע מגרף - בעיית הרעב העולמי

1. לפניכם איור גרפי*, המתאר את השינוי באוכלוסיית העולם בשתי המאות האחרונות.



א. בהתייחס לגרף, השלימו את הטבלה הבאה:

טווח של 50 שנה	מידת גידול האוכלוסין (במיליארדי בני-אדם)
1875 - 1825	~0.3
1925 - 1875	
1975 - 1925	
2025 - 1975	
2075 -2025	

* מבוסס על: מאור חגית (1993). מגדיר לאיכות הסביבה, הוצאת מאור בע"מ.
http://lib.cet.ac.il/pages/item. asp?item=2692&kwd=4721

ב. בהתייחס לגרף ולטבלה, מה ניתן לומר לגבי קצב גידול האוכלוסין:

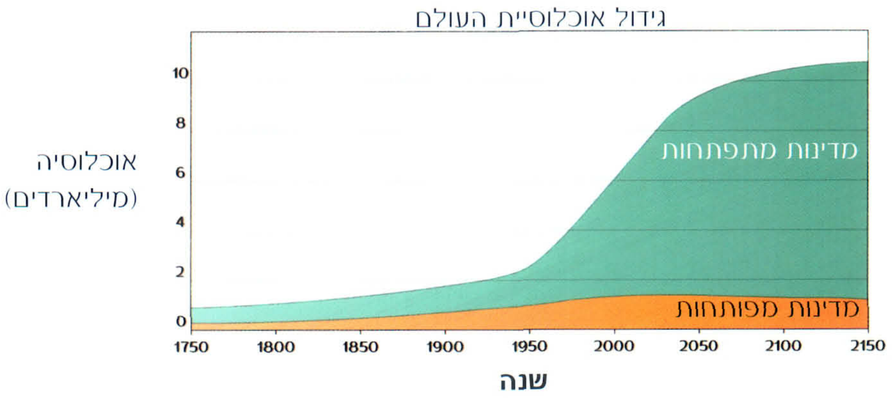
- במאה ה- 19?
- במאה ה- 20?
- התחזית למאה ה- 21?

ג. מה הבעייתיות הנובעת מקצב גידול אוכלוסין זה? פרטו.

2. אחת התוצאות החמורות של גידול האוכלוסין היא החמרה בזיהום הסביבתי. הסבירו זאת, תוך התייחסות למקורות מים, אוויר, קרקע וים.

3. לפניכם איור גרפי המתאר את גידול האוכלוסין בשנים: 1750 - 2150 לפי פרסומי האו"ם.

(לקוח מהאתר:
http://www.prb.org/Content/NavigationMenu/PRB/Educators/Human_Population/Population_Growth/Population_Growth.htm)



באיור, בהתייחס לשינויים בגודל אוכלוסיית העולם, ניתן להבחין בשלוש מגמות: עלייה מתונה, עליה מהירה ושוב עליה מתונה.

א. לאלו תקופות מתייחסת כל מגמה בגרף?

ב. הציעו הסבר אפשרי לשינויים בגידול האוכלוסייה בתקופות אילו ולשוני בגידול בין המדינות המפותחות למתפתחות.

תרגיל 2: פעילות מלווה רשת - בעיית הרעב העולמי

1. כמעט אחד מכל שישה אנשים בעולם סובל מרעב, אף על פי שאנו מצויים בתקופת שפע חסרת תקדים - כך עולה מדו"ח אירגון המזון והחקלאות של האו"ם, שפורסם לאחרונה. לדברי האירגון, הצעדים הננקטים לצימצום הרעב אינם מספקים.

   עיינו ברשימת 20 העובדות על הרעב העולמי:
   http://www.medicalnewstoday.com/medicalnews.php?newsid=16363

   רישמו עשר עובדות מדהימות לדעתכם. מהן שתי העובדות שהדהימו אתכם במיוחד?

2. יש הטוענים, כי בעיית הרעב בעולם היא בעיה פוליטית של סדר עדיפויות. נסו להסביר עמדה זו וחוו דעתכם.

3. מה קורה בארץ בעניין הרעב? עיינו באתרים הבאים:
   http://www.mazon.org/What_You_Should_Know/Hunger_Facts/Israel_Hunger_Facts.asp
   http://www.haaretz.co.il/hasite/pages/ShArt.jhtml?itemNo=334247

   מה מסקנתכם? הסבירו.

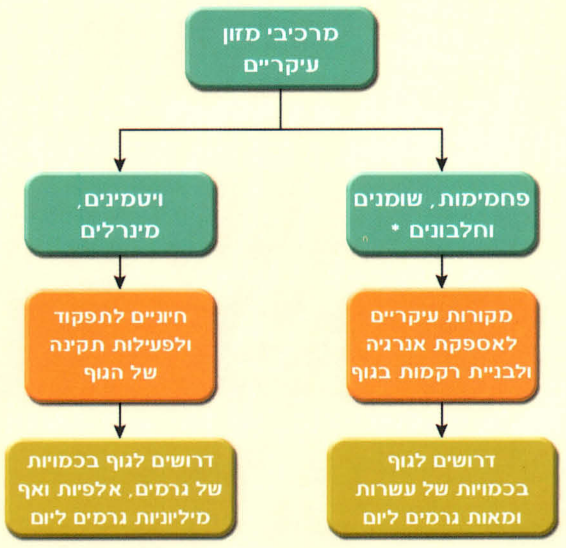
4. למרות ההצלחות הרבות בהשבחת גידול מזון באמצעות הנדסה גנטית, וההשקעה הרבה במחקר בתחום על-ידי חברות ענק, מי שנהנה מפירות הפיתוח הן המדינות המפותחות והשבעות. אין בכך, כיום לפחות, פיתרון לבעיית הרעב העולמי. כיצד תסבירו זאת?

מרכיבי המזון

התחום המדעי, הקשור בהיבט הכימי של מזון, עוסק בהרכב, בתכונות ובתהליכים כימיים שהמזון עובר. מטרתו העיקרית של הכימאי במאות ה-18 וה-19, הייתה הבנת ההרכב הכימי של מזוננו, מתוך רצון לשפר את הבריאות ואת רווחת בני-האדם. כתוצאה, התגלו בתקופה זו "אבות המזון", הקיימים בכמויות גדולות במזוננו: פחמימות (סוכרים), שומנים וחלבונים. לגילוי רכיבי המזון, הקיימים במינונים קטנים מאוד: ויטמינים, מינרלים, חומרי צבע וטעם, נדרשו טכניקות וציוד של המאה ה-20.

"אבות המזון" הם המרכיבים החיוניים במזוננו, הדרושים לתיפקוד התקין של גופנו. ניתן למיין רכיבים אילו, לפי המתואר באיור 1.

איור 1: מיון מרכיבי מזון חיוניים



* יפורטו בהמשך פרקי היחידה

ויטמינים ומינרלים

כיום מוכרים 13 ויטמינים, הנבדלים זה מזה במבנה הכימי שלהם ובפעילותם. ניתן למיין את הוויטמינים לשני סוגים, לפי מידת מסיסותם. תכונה זו קובעת במידה רבה את תפוצתם של הוויטמינים במזונות שונים, את אופן ספיגתם ואת צורת איחסונם בגוף האדם.

הוויטמינים רגישים, במידה שונה, לטמפרטורה, לחמצן ולאור. ערכם התזונתי של הוויטמינים נשמר במיטבו בטמפרטורה נמוכה וביובש. תהליכי טיפול תרמי, הכוללים בישול ממושך במים או חשיפה לטמפרטורות גבוהות בטיגון, צלייה וקלייה, פוגעים במבנה הכימי של הוויטמינים ובפעילותם.

קבוצת הוויטמינים המסיסים בשומן כוללת ארבעה ויטמינים: A, D, E ו- K. ויטמינים אילו מצויים באופן טבעי במזונות מכילי שומן, נספגים בגוף יחד עם השומנים, נאגרים ואינם מופרשים בקלות.

ויטמין A חיוני לראיית לילה תקינה, מעורב בתהליך הגדילה, משמש גם כבולם חימצון (אנטיאוקסידנט*) ומגן על מרכיבי גוף חיוניים מפני תהליכי חימצון. צמחים אינם מכילים ויטמין A, אך צמחים רבים, כגון גזר ותרד,

* פרוט על פעולתם של אנטיאוקסידנטים ניתן למצוא בפרק השומנים.

מכילים קודמן של ויטמין A, בטא קרוטן. בטא קרוטן, שהינו אנטיאוקסידנט בפעולתו כבולם יעיל של רדיקלים חופשיים, הופך במערכת העיכול שלנו בתהליך אנזימטי לשתי מולקולות של ויטמין A.

ויטמין D משמש כחומר מוצא ליצירת ההורמון קאלצטונין, האחראי על חילוף חומרים תקין של יוני סידן וזרחן. חוסר בוויטמין זה אצל ילדים גורם למחלת הרככת (צפיפות עצם נמוכה, הגורמת בעיקר לעקמומיות הרגליים).

ויטמין E הינו אנטיאוקסידנט יעיל כנגד פעילותם ההרסנית של רדיקלים חופשיים. הרדיקלים החופשיים העיקריים הנוצרים בגוף הם רדיקלים של חמצן, המגיבים עם מרכיבי הגוף ויוצרים תגובות שרשרת העלולות לגרום נזק רב לרקמות.

ויטמין K חשוב לפעילות תקינה של חלבונים ייחודיים במערכת קרישת הדם ולכן מחסור בוויטמין זה גורם לליקויים בקרישת הדם.

קבוצת הוויטמינים המסיסים במים כוללת תשעה ויטמינים: תיאמין (B_1), ריבופלבין (B_2), ניאצין, פירידוקסין (B_6), חומצה פולית, קובאלאמין (B_{12}), ביוטין, חומצה פאנטותנית וויטמין C. כל הוויטמינים, מקורם בצומח ובבעלי-חיים, למעט ויטמין B_{12}, שמקורו רק מהחי. מרבית הוויטמינים אינם נאגרים בגוף באופן משמעותי ולכן יש לספקם בקביעות באמצעות מזון.

המחלות, שמקורן בחסר בוויטמין יחיד, נעלמו כמעט לחלוטין בעולם המערבי, עקב צריכת מזון מגוונת. לעומת זאת, הן עדיין קיימות במדינות המתפתחות עקב תפריט דל במרכיבים מסוימים.

בשנים האחרונות, התפתח נוהג חדש בעולם המערבי, של צריכת ויטמינים מוגברת כטיפול תרופתי או כאמצעי למניעת מחלות. צריכה לא מבוקרת של ויטמינים הינה מסוכנת ועלולה לגרום לתופעות לוואי לא רצויות והסיכונים הכרוכים בכך עדיין נחקרים.

המינרלים הנחוצים לנו מצויים בגופנו כיוני מלחים או קשורים לחלבונים. ניתן לחלקם לשלוש קבוצות, לפי הכמות הנחוצה לנו ליום:

קבוצה 1: מינרלים שהצריכה היומית המומלצת היא 100 מ"ג ליום ויותר:
אשלגן, גפרית, זרחן, כלור, מגנזיום, נתרן, סידן.

קבוצה 2: מינרלים שהצריכה היומית המומלצת היא 1-100 מ"ג ליום (יסודות קורט):
אבץ, ברזל, מנגן, נחושת, פלואור.

קבוצה 3: מינרלים שהצריכה היומית המומלצת היא פחות מ- 1 מ"ג ליום (יסודות אולטרה-קורט)
כגון: בור, יוד, כרום, ליתיום, מוליבדן, ניקל, סלניום, צורן.

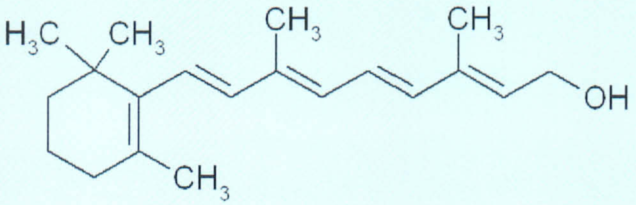
מחקר רב נערך בשנים האחרונות על תפקיד המינרלים והקשר בינם לבין תופעות קליניות אופייניות, בעיקר בגיל הקשיש.

תרגיל 3: ניתוח מידע ויישום ידע כימי - ויטמינים

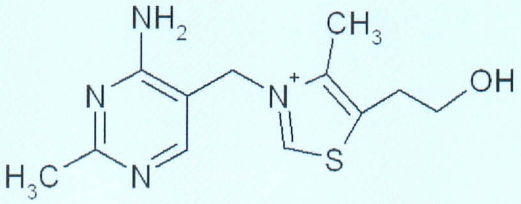
1. בישול ממושך של מזון במים גורם לאובדן ויטמינים רבים.
   א. אלו ויטמינים עיקריים אובדים בדרך זו? הסבירו ברמה החלקיקית.
   ב. כיצד ניתן להשתמש בכל זאת בוויטמינים אילו לאחר שבושלו?
   ג. לבישול בכלי פתוח השפעה שלילית נוספת על ויטמינים. העלו השערה מדוע.

2. לפניכם נוסחאות המבנה של ויטמין A וויטמין B1.

ויטמין A



ויטמין B_1



א. בנוסחאות המבנה של הוויטמינים, לא רשומים חלק מאטומי הפחמן.

I. ציירו נוסחת מבנה מלאה (עם כל אטומי הפחמן) של ויטמין A.

II. רשמו את הנוסחה המולקולרית של ויטמין A.

ב. שני הוויטמינים מכילים קבוצה הידרוכסילית (OH) אחת, המסוגלת ליצור קשרי מימן עם מים. אך ויטמין A אינו מסיס במים ואלו ויטמין B_1 מסיס במים. הסבירו זאת ברמה החלקיקית.

ג. לוויטמין A ולוויטמין B_1 מסות מולריות דומות אך טמפרטורות היתוך שונות מאוד. לוויטמין A טמפרטורת היתוך 63°C ואלו לוויטמין B_1 טמפרטורת היתוך של 260°C. הציעו הסבר לכך ברמה החלקיקית. התייחסו בתשובתכם גם לתהליך ההיתוך.

ד. ויטמין A רגיש במיוחד לאור ולאוויר. מדוע לדעתכם? הסבירו זאת ברמה החלקיקית.

3. בתהליך השימור, עוברים ירקות תהליך של חליטה באמצעות טבילתם במים רותחים. הדבר נעשה לצורך מניעת פעילותם של אנזימים (זרזים ביולוגיים), אשר עלולים לגרום לפירוק המזון במהלך עיבודו ואיחסונו. בתהליכים אילו יש אובדן חלקי של ויטמינים.

בטבלה שלפניכם, מוצגים נתונים לגבי אובדן של ויטמין C ו- B1 במהלך החליטה של מזונות שונים.

מזון	אובדן של ויטמין C (ב- %)	אובדן של ויטמין B_1 (ב- %)
אספרגוס	10	לא ידוע
שעועית ירוקה	20-25	10
כרובית	20-25	לא ידוע
אפונה	20-25	10
ברוקולי	35	לא ידוע
תרד	50	60

א. המזונות בטבלה מכילים ריכוזים שונים של ויטמין C וויטמין B1. מדוע בכל זאת ניתן להשוות ביניהם?

ב. מיהו הירק המושפע במידה הקטנה ביותר מתהליך החליטה בתהליך השימור?

ג. מיהו הירק המומלץ ביותר לאכילה בצורה טרייה ולא משומרת? נמקו לפי הטבלה.

4. משך איחסון המזון והטמפרטורה בה הוא מאוחסן מהווים את שני הגורמים העיקרים באובדן פעילותם של ויטמינים במהלך איחסון של מזון משומר. בטבלה שלפניכם, מוצגים נתונים המתייחסים לאחוז ויטמין C שיורי (הנותר) בקופסאות של שימורי אפונה, מיץ תפוזים ועגבניות, כתלות בטמפרטורה ובמשך זמן האיחסון.

משך האיחסון	טמפרטורה (C°)	אפונה	מיץ תפוזים	עגבניות
		ויטמין C (%)	ויטמין C (%)	ויטמין C (%)
12 חודשים	10	93	97	95
	18	91	92	94
	27	86	77	82
24 חודשים	10	91	95	89
	18	89	80	87
	27	81	50	70

א. לגבי כל אחד מסוגי המזון:

I. איזו מבין שלוש הטמפרטורות עדיפה לאיחסון המזון? הסבירו.

II. האם עדיפות זו תלויה בזמן האיחסון? הסבירו.

III. בתנאים ביתיים, נשמרות קופסאות השימורים בטמפרטורת החדר ולמשך זמן ממושך. האם תנאים אילו מתאימים לשמירת ויטמין C בקופסאות השימורים? נמקו בהתאם למסקנותיכם מסעיפים I ו- II לעיל.

ב. מי מבין שלושת סוגי המזון מושפע במידה הרבה ביותר:

I. מהטמפרטורה בו הוא מאוחסן, בהתייחס לוויטמין C? נמקו את קביעתכם.

II. מזמן האיחסון, בהתייחס לויטמין C? נמקו את קביעתכם.

III. תזונאים ממליצים לצרוך מיץ תפוזים טרי או מצונן. האם המלצה זו תואמת את מסקנותיכם מסעיפים I ו- II לעיל? הסבירו.

5. א. ב- 100 גרם גבינה קשה או חצי קשה (המכונה "צהובה") יש כ- 700 מ"ג סידן, לעומת 115 מ"ג סידן ב- 100 גר' גבינה לבנה רכה 0.5%. למרות זאת, מומלץ לצרוך יותר גבינה לבנה מגבינה "צהובה". מדוע לדעתכם?

ב. עקב המודעות הגבוהה לצריכת סידן, הועשרו מוצרי חלב רבים בסידן. הסתכלו בתווית של חלב 3% "רגיל" וחלב 3% מועשר. מה ההבדל ביניהם?

6. הרחבה: מחסור בוויטמין B_1 גורם למחלה הנקראת: ברי-ברי (Beriberi). הנושא עלה לכותרות בסוף שנת 2004 בעקבות מה שכונה: פרשת רמדיה.

הכינו סיכום קצר, או מצגת, על המחלה ועל פרשת רמדיה.

מזון, אנרגיה ומה שביניהם

בעולם המודרני, במדינות המפותחות, ישנה מודעות גבוהה למשקל הגוף. מצד אחד, קיימים האנורקסים, המרעיבים עצמם, ומצד שני – הבולמים, שלהם רעב בלתי נשלט. בין שני קצוות אלו, נמצאים כל האחרים, שמחד, משקיעים אנרגיה רבה במחשבה על אוכל , ומאידך, על הימנעות מהשמנה.

המזון, כמו החמצן, הינו צורך פיזיולוגי בסיסי לאדם. המזון מספק את האנרגיה הנחוצה לתיפקודו התקין של הגוף. האנרגיה במזון מאפשרת לנו שמירה על טמפרטורת הגוף, על יכולת התנועה ועל יכולת החשיבה. האנרגיה מופקת מהמזון באמצעות תגובה מורכבת בין מרכיבי המזון עם חמצן שבגופנו. זוהי תגובת חימצון-חיזור, בה מתקיימים מעברי אלקטרונים בין החומר המחזר (במזון) למחמצן (החמצן). תגובת חימצון-חיזור, המוכרת מחיי היום-יום, היא שריפת גז בישול, במהלכה נפלטת אנרגיית חום, המנוצלת לבישול המזון. גוף האדם הינו "מפעל" לייצור חומרים כימיים, בו חומרים גולמיים עוברים תהליכים שונים, במהלכם נוצרים אלפי תוצרים, אשר חלקם נצרכים מיד וחלקם נאגרים בגוף לאורך זמן, לשימוש מאוחר.

התהליכים בגוף צורכים אנרגיה ואת "חומרי הדלק" לתהליכים מקבל הגוף מהמזון, ובזמנים שבין הארוחות, או בזמן צום מתמשך, ממאגרים הקיימים בגוף. זו אחת התכונות הבסיסיות ביותר, המאפיינות יצורים חיים, והאדם בכללם: היכולת לאגור חומרים אורגניים ולהשתמש בהם להפקת אנרגיה בעת הצורך.

תרגיל 4: שאלות למחשבה ויישום ידע כימי קודם - מזון ואנרגיה

1. ההבדל המהותי בין תגובות החימצון-חיזור בעולם הדומם (החומרים) לבין תגובות החימצון-חיזור המתרחשות בתא החי, הוא בטמפרטורות בהן מתרחשות תגובות אלה. בעולם הדומם, ניתן להאיץ תגובות תוך שימוש בטמפרטורות גבוהות (בתעשייה). בעולם החי, מתרחשות התגובות בטמפרטורות נמוכות (טמפרטורת הגוף).

א. מדוע, לדעתכם, אין אפשרות לקיים תהליכים בטמפרטורות גבוהות ברוב היצורים החיים?

ב. מדוע נדרשים אנזימים (זרזים ביולוגים) לקיום תגובות אלו בגוף? הסבירו במונחים אנרגטיים ברמה החלקיקית.

2. בתהליך חילוף החומרים בגוף (מטבוליזם), מתרחשים שני סוגים של תהליכים:

סוג אחד: תהליכים בהם נבנות מולקולות גדולות, המורכבות מיחידות קטנות יותר (תהליכים אנאבוליים) – תהליכים אלו מצריכים השקעת אנרגיה;

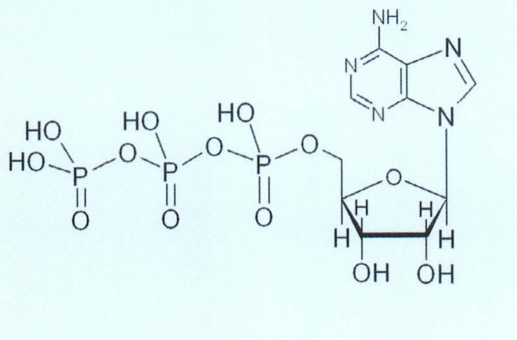
סוג שני: תהליכים בהם מולקולות גדולות מתפרקות ליחידות קטנות יותר (תהליכים קטאבוליים) תוך שיחרור אנרגיה.

לאור העובדות (שלמדתם בנושא האנרגיה), כי פירוק קשרים כימיים מלווה בהשקעת אנרגיה ויצירת קשרים כימיים מלווה בשיחרור אנרגיה – האין בכך סתירה? נסו להסביר.

אנרגיה בגוף האדם

מקור האנרגיה לגוף הוא המזון אותו אנו אוכלים. הגוף איננו יכול להשתמש ישירות במזון להפקת אנרגיה. המזון עובר שרשרת של תהליכים מורכבים, בהם מפורקים בעיקר שלושת המרכיבים המרכזיים שלו: פחמימות, שומנים וחלבונים. מרכיבים אלו מפורקים במערכת העיכול למולקולות פשוטות יותר. תהליכי פירוק אלה הינם בעיקר תהליכי הידרוליזה. בתהליך הנשימה התאית מפורקות מולקולות פשוטות אלו בתהליכי חימצון.

מולקולות ATP



תהליך הפירוק מלווה ביצירה של מולקולות ATP, המהווה מקור אנרגיה זמין בגוף.

רק 40% מהאנרגיה האצורה במזון משמשת בסופו של דבר לייצור ATP וכל השאר הופך לחום, המשמש בחלקו לחימום הגוף.

מולקולת Adenosine triphosphate - ATP הינה אחת המולקולות החשובות ביותר בתהליכי החיים. היא נוצרת ומשתתפת בתהליכים ביוכימיים בגוף ומספקת אנרגיה זמינה לקיום התהליכים השונים בגוף.

מולקולת ATP מורכבת מטבעת מחומשת של סוכר, אשר לקצה אחד שלה קשורה קבוצת אדנין – שתי טבעות של אטומי פחמן וחנקן עם קבוצה אמינית ($-NH_2$) ולקצה השני קשורה שרשרת של שלוש קבוצות של זרחות.

כאשר מולקולה של ATP עוברת הידרוליזה (פירוק באמצעות מים), משתחררת הקבוצה הזרחתית שבקצה המולקולה ומתקבלת מולקולת Adenosine diphosphate - ADP.

בתהליך זה משתחררת כמות של כ- 7 קילוקלוריות למול.

$$ATP + H_2O \rightleftharpoons ADP + Pi$$

(Pi - פוספט אנאורגני)

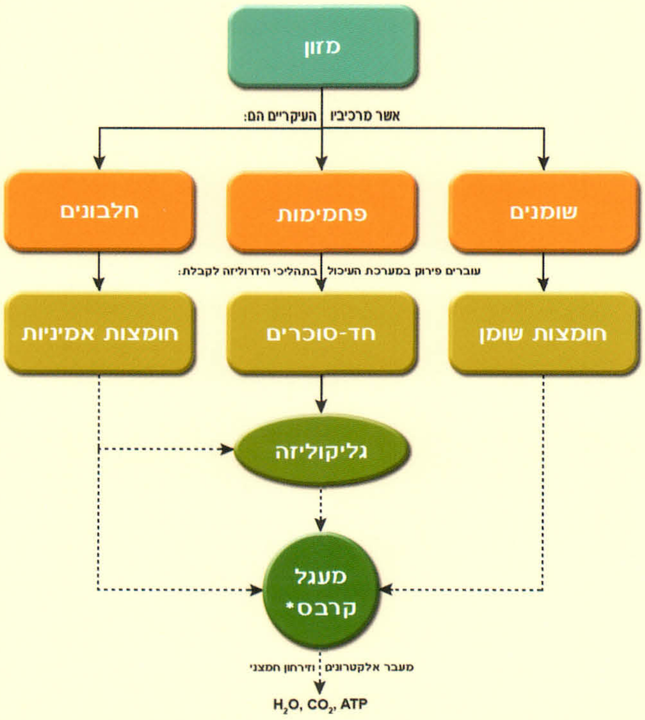
התהליך הינו הפיך – מולקולת ADP יכולה לקלוט אנרגיה ולהפוך שוב למולקולת ATP. ניתן להשוות את התהליך לפירוק וטעינה של סוללה.

אין מאגרי ATP בגוף. ייצור מולקולות ה- ATP נעשה סמוך לשימושן.

בתהליך העיכול מפורקים מרכיבי המזון העיקריים בתהליכי הידרוליזה למולקולות פשוטות יותר. הפחמימות המורכבות הופכות לחד-סוכרים (בעיקר גלוקוז ופרוקטוז), השומנים לחומצות שומן וגליצרול, והחלבונים לחומצות אמיניות. חלק ממולקולות הגלוקוז המתקבלות הופכות לגליקוגן, הנאגר בכבד ובשרירים. הגליקוגן משמש מקור זמין לגלוקוז בהפוגות שבין הארוחות או בזמן של פעילות גופנית מוגברת. במצב צום או לחץ מוגבר, גם חומצות השומן והחומצות האמיניות יכולות לשמש מקור לגלוקוז.

איור 2 מתאר, בצורה כללית, את השלבים המרכזיים בהפיכת המזון שאנו אוכלים לאנרגיה זמינה בצורת מולקולות ATP.

איור 2: סכימה כללית של תהליכי קבלת אנרגיה זמינה ממזון



* מידע נוסף על מעגל קרבס בשילוב אנימציה ניתן למצוא באתר:
http://nutrition.uvm.edu/nfs/htm/interactive_learning/tutorials/krebscycle.html

בתהליך הגליקוליזה מתקבלת חומצה פירובית. בהיעדר חמצן בכמות מספקת, למשל בזמן פעילות גופנית נמרצת, נוצר מצב אנאירובי חלקי והחומצה הפירובית הופכת לחומצה לקטית. בפעילות גופנית מאומצת (ריצה מהירה מאוד, עליית מדרגות מהירה, נשיאת משא כבד) וקצרה, פעילות הלב והריאות מוגברת מאוד ואין אספקה מספקת של חמצן, יש הצטברות של חומצה לקטית (חומצת חלב) בתאי השריר, וחשים בכאבי שרירים ובהתכווציות. פעילות אנאירובית תורמת פחות ל"שריפת" מזון ומתבטאת בייצור נמוך של ATP. לעומת זאת, פעילות אירובית מתונה מלווה באספקה נאותה של חמצן הדרוש ל"שריפה" – חימצון מלא של המזון – והפעילות הגופנית איננה מלווה בכאבי שרירים.

לאור זאת, הפעילות הגופנית המומלצת לאנשים בריאים היא פעילות אירובית מתונה של הליכה, רכיבה על אופניים, ריצה קלה, שחיה, ריקוד וכדומה, במהלך חצי שעה לפחות.

תרגיל 5: יישום ידע כימי ושיזוג מידע - יצירת אנרגיה בגוף האדם

1. בהתייחס למולקולת ATP:

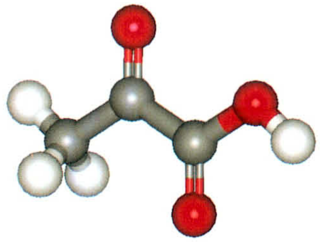
א. זהו וסמנו על המולקולה את שלושת החלקים מהם היא מורכבת.

ב. הוסיפו מימנים ומיצאו: מהי הנוסחה המולקולרית של המולקולה? מהי מסתה המולרית?

ג. מהן הקבוצות הפונקציונליות שהנכם מזהים במולקולת ה- ATP?

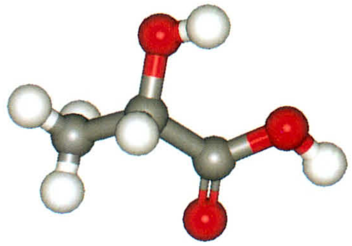
ד. הכמות הכוללת של מולקולות ATP בגוף ברגע נתון היא כ- 0.1 מול. כמה מולקולות ATP קיימות בגוף? מה מסתן? הסבירו את חישוביכם.

2. חומצה פירובית מתקבלת בתהליך הקרוי גליקוליזה (ראו איור 2). להלן מודל המתאר חומצה זו:



כדור אפור מייצג אטום פחמן
כדור אדום מייצג אטום חמצן
כדור לבן מייצג אטום מימן

חומצה זו, בהיעדר כמות מספקת של חמצן, למשל בזמן פעילות גופנית נמרצת, הופכת לחומצה לקטית. להלן מודל של חומצה לקטית:



כדור אפור מייצג אטום פחמן
כדור אדום מייצג אטום חמצן
כדור לבן מייצג אטום מימן

א. תארו, <u>באמצעות נוסחאות מבנה</u>, את תהליך מעבר החומצה הפירובית לחומצה לקטית.

ב. ציינו על גבי אטומי הפחמן במולקולות הללו את מספר החימצון שלהם ובהתאם קבעו מהו התהליך שהתרחש.

ערך קלורי של מזון

המזון מספק לגופנו את האנרגיה הנחוצה לקיומו. אנרגיה זו מתקבלת מניצול מרכיביו העיקריים: פחמימות, שומנים וחלבונים.

הפחמימות, בצורת סוכרים ועמילן, מתפרקות במערכת העיכול לסוכרים פשוטים המשמשים ליצירת גליקוגן, הנאגר בכבד ובשרירים.

השומנים, מתפרקים לחומצות שומן וגליצרול, המשמשים לאספקת אנרגיה וגם נאגרים כשומן, בעיקר מתחת לעור ומעט גם בשרירים. כמות השומן האגורה בגופנו הינה כמעט פי 50 מכמות הגליקוגן. כמות האנרגיה אשר מספקות חומצות השומן לגופנו היא, בממוצע, כפולה מזו של הפחמימות. בנוסף, השומן הינו הידרופובי ("שונא" מים) ולכן מאוחסן בצורה "יבשה". לעומת זאת, הגליקוגן הינו בעל תכונה הידרופילית ("אוהב" מים) ולכן סופח כמות מים רבה. למעשה, הגליקוגן מכיל 65% מים. לכן, האנרגיה המתקבלת ממאגרי השומן גבוהה, בממוצע, פי 6 מהאנרגיה המתקבלת מגליקוגן. משיקולי מסה, השומן מספק כמות כפולה של אנרגיה מזו שמספקות הפחמימות.

פרוק של 1 גר' פחמימה, מספק לגוף 4 קילו-קלוריות* ואלו פירוק של 1 גרם של שומן מספק לגופנו 9 קילו-קלוריות.

החלבונים, מתפרקים לחומצות אמיניות המרכיבות אותם. רק לאחר פירוקן של החומצות בכבד, הן הופכות לגלוקוז אשר "שריפתו" מספקת לנו אנרגיה. **פירוק של 1 גר' חלבון מספק לגוף 4 קילו-קלוריות**.

מרכיבי המזון האחרים, מינרלים וויטמינים, לא מספקים אנרגיה לגוף.

אלכוהול מספק אף הוא אנרגיה לגוף: פירוק של 1 גר' אלכוהול מספק 7 קילו-קלוריות.

החל משנת 1994, חלה על כל היצרנים והיבואנים בארץ חובה לסמן את מוצרי המזון הארוזים בסימון תזונתי. סימון זה מתייחס ל- 100 גר' (או 100 מ"ל) מוצר והוא כולל: אנרגיה (קילוקלוריות), חלבונים (גרם), פחמימות (גרם), שומנים - רוויים, לא-רוויים וכולסטרול (גרם) ויוני נתרן (מיליגרם). לעיתים מוסיפים היצרנים מידע נוסף לגבי כמות ויטמינים ומינרלים שונים במוצר.

כדי לשמור על משקל גוף תקין, יש ליצור איזון בין כמות האנרגיה המתקבלת במזון לבין כמות האנרגיה הנצרכת על-ידי התאים בגוף במהלך פעילות יומית.

---

* קילו-קלוריה היא יחידת מידה לחום ואנרגיה. זוהי כמות החום הדרושה כדי לחמם 1 קילוגרם מים במעלת צלזיוס אחת, בלחץ של אטמוספירה אחת. במזון, קילו-קלוריה שווה לאלף קלוריות. המלה קלוריה הפכה שגורה ורווחת כשהיא מחליפה את המילה קילו-קלוריה בשימושה העממי.

תרגיל 6: ניתוח מידע - ערך קלורי של מזון

1. לפניכם ערך תזונתי ל- 100 גרם גבינה לבנה רכה 1/2% שומן:

חלבון (גרם): 10

פחמימות (גרם): 3

שומן (גרם): 0.5

יוני נתרן (מיליגרם): 240

יוני סידן (מיליגרם): 100

כולסטרול (מיליגרם): 1.5

א. מהו הערך הקלורי של גבינה לבנה (1/2% שומן) בכמות של 100 גר'?

ב. כף גדושה של גבינה לבנה שוקלת 30 ג'. כמה קלוריות יש בכף גבינה?

2. הרכב תזונתי של 100 מ"ל בירה כולל:

שומנים (גרם): 0

חלבונים (גרם): 0.1

פחמימות (גרם): 4

אלכוהול (גרם): 3.9

א. מהו הערך הקלורי ב- 100 מ"ל בירה?

ב. בכוס בירה קטנה 330 מ"ל. כמה קלוריות יש בכוס בירה?

3. תהליכי חילוף החומרים ו"שריפת" מזון מתרחשים בגופנו כל הזמן, גם ללא פעילות גופנית כלשהי וגם בשעת שינה. עם זאת, בזמן פעילות גופנית, מואץ תהליך "שריפת" המזון ושיחרור אנרגיה. לפניכם טבלה המציגה את הזמן הדרוש ל"שריפת" מזון ושיחרור אנרגיה של מזונות שונים במהלך פעילויות גופניות שונות.

כמות וסוג המזון	ישיבה	ריצה
קוביית שוקולד	רבע שעה	דקה
100 גרם צ'יפס	7 שעות	חצי שעה
כוס מיץ תפוזים	שעה	5 דקות
מלפפון	7 דקות	חצי דקה
פרוסת לחם	שעה	5 דקות
שוק של עוף	שעתיים	8 דקות

א. איזה מזון מנוצל בזמן הקצר ביותר לשיחרור אנרגיה ואיזה בזמן הארוך ביותר? הציעו הסבר להבדלים אלה בהתייחס להרכב המזונות השונים.

ב. כיצד משתנה היחס בין "שריפת" המזון בישיבה לבין "שריפתו" בריצה, בסוגי המזונות השונים? הסבירו את תשובתכם. (רמז – הוסיפו עמודת עזר לטבלה)

שומנים ושמנים- עובדות מפתיעות

מטרות הפרק

היבט כימי	• הכרת מבנה השומנים וסיווגם • השפעת המבנה של מולקולות חומצות השומן על תכונות החומר • פעילות כימית של חומצות שומן
היבט תזונתי	• הכרת תפקידם וחשיבותם של שומנים וחומצות שומן בגופנו ובתזונתנו • מודעות לתכולת שומן במזונות שונים
היבט חברתי/אישי	• השפעתם של טריגליצרידים, כולסטרול וייצור חומצות שומן בגופנו על בריאותנו

תכנים ומושגים מרכזיים

היבט כימי	• מבנה ודרגת ריוויון של חומצת שומן • איזומריית ציס-טרנס • מבנה טריגליצרידים • תהליך איסטור • תהליך הידרוגנציה - סיפוח מימן לקשר כפול (עיקרון בלבד) • חימצון עצמי של קשר כפול ומבנה חומרים נוגדי חימצון (עקרון בלבד)
היבט תזונתי	• 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 • שמני מאכל
היבט חברתי/אישי	• טריגליצרידים וכולסטרול "טוב" ו"רע" • פיתוח תרופות למחלות הקשורות בחומצות שומן בגופנו - היבטים מוסריים (הרחבה)

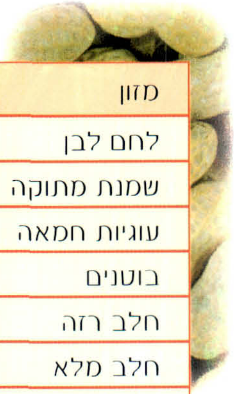
מה אנו יודעים על שומנים?

ידע מקדים

1. אלו סוגי שומנים הנכם מכירים ומה ההבדל ביניהם?
2. אכילת שומנים גורמת להשמנה ולכן עדיף לוותר עליהם. נכון או לא?
3. האם אכילת מאכלים עתירי שומן גורמת למחלות, כמו יתר לחץ דם והתקפי לב? אם כן, מדוע?
4. האם יש הבדל בין שמן, מרגרינה וחמאה? אם כן - מהו?

ניתוח מידע מטבלה

בטבלה שלפניכם מוצגים מזונות שונים ותכולת השומן הכוללת שלהם:



מזון	תכולת שומן (ב- %)	מזון	תכולת שומן (ב- %)
לחם לבן	1.9	גבינה צהובה (צ'דר)	34.9
שמנת מתוקה	38	שוקולד חלב	30.3
עוגיות חמאה	16.6	חמאה	81.7
בוטנים	49.8	פתיתים	1.8
חלב רזה	1.0	בשר בקר	20.5
חלב מלא	3.9	חלב סויה	1.9
מרגרינה	81.6	שמן למאכל	99.9
בשר כבש	29	שקדים	54
בשר עוף	5.5	בשר הודו	1.4

1. האם יש נתונים בטבלה אשר הפתיעו אתכם? אלו ומדוע?
2. נסחו שאלה, המעוררת בכם עניין, על המידע שבטבלה.
3. הכינו טבלה חדשה, שבה תמיינו את המזונות השונים לפי סוגיהם (מוצרי מאפה, מוצרי חלב וכדומה).
4. בחרו **בשלושה** סוגי מזון מתוך מיגוון אפשרויות המיון שהצעתם. הציגו את הנתונים בשלושה גרפי עמודות - גרף לכל סוג מזון שמיינתם (גרף למוצרי מאפה, גרף למוצרי חלב וכדומה).
5. על פי נתוני הגרפים שהצגתם, נסחו 2-3 מסקנות, שלדעתכם הן כלליות ומרכזיות, אודות תכולת השומן של מזונות אלה.

שומנים - "טובים" או "רעים"?

לשומנים חשיבות רבה בגופנו. הם מהווים מקור חשוב של אנרגיה: גרם שומן מספק 9 קילו- קלוריות, לעומת גרם של חלבונים ופחמימות, המספק רק 4 קילו-קלוריות. כמו כן, השומנים מאפשרים ספיגה טובה של ויטמינים (A, E, D ו- K) בגופנו. הם מסייעים בבניית קרומים הבונים את תאי הגוף, ויש להם תפקיד בייצור הורמונים שונים. מחסור בשומנים בגוף מתבטא, בין היתר, באיבוד שיער, בהופעת קשקשים על פני כל העור, ובהרגשת חולשה.

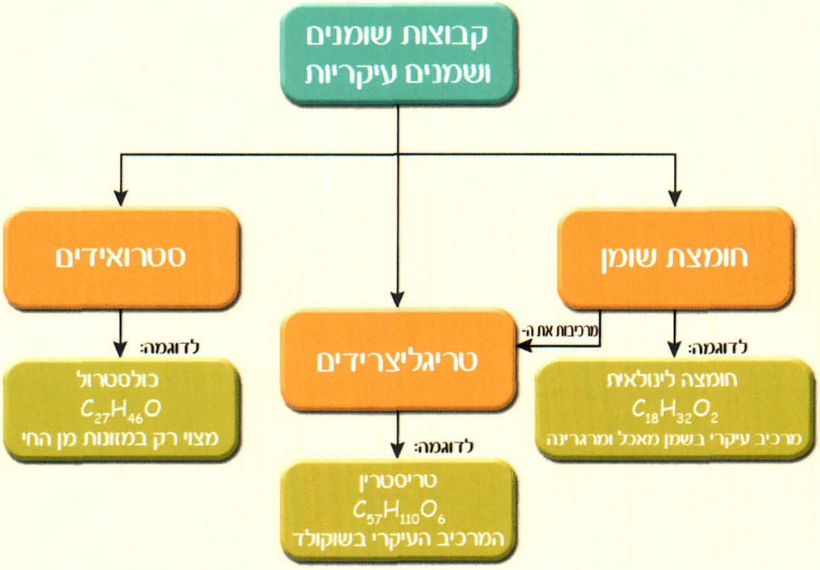
עם זאת, בעשורים האחרונים, הפכו השומן ואכילת מזונות עתירי שומנים לאויב מספר אחד בעולם המערבי. הדבר נגרם בעקבות גילוי הקשר שבין מחלות לב ודם וסוגים שונים של סרטן לבין השמנה. בשלושת העשורים האחרונים, הושקעו סכומים גדולים מאוד במסעות פרסום לדיאטות שונות ובייצור מוצרים שונים דלי שומן. עם זאת, בעיית ההשמנה רק הלכה וגדלה. כיום, מחצית מאוכלוסיית המבוגרים בארה"ב היא בעלת משקל עודף ויותר מ-20% מהמבוגרים שם מוגדרים כשמנים ביותר (שיעור כפול מאשר בשנות ה- 60). התוצאה היא, עליה הולכת וגדלה במחלות לב וכלי דם, שהן גורמי התמותה השכיחים ביותר בעולם המערבי. אחת הסיבות לכך, היא היעדר מודעות לסוגי השומן השונים. אכילת סוגי שומן "טובים" (רצויים) בכמות מתאימה והימנעות מאכילת שומנים לא רצויים הן המפתח להצלחה בשמירה על בריאות ומשקל תקינים.

מיון שומנים ושמנים

שומנים ושמנים שייכים למשפחה רחבה ומגוונת של חומרים המכונים "ליפידים". התכונה המשותפת לכולם היא אי מסיסותם במים. הם מסיסים במיגוון רחב של ממיסים לא קוטביים, כמו פחממנים, כוהלים ואתרים. אין הבדל בין המבנה הכימי של שומן ושמן. ההבחנה ביניהם היא לפי מצב הצבירה שלהם בטמפרטורת החדר: השומן מוצק ואילו השמן הוא נוזלי.

מבין קבוצות החומרים השייכים למשפחת הליפידים, אנו נעסוק בשלוש קבוצות עיקריות, החשובות לגופנו ולתפקודנו: חומצות שומן, טריגליצרידים וסטרואידים, כפי שמתואר באיור 1.

איור 1: קבוצות השומנים והשמנים העיקריות



חומצות שומן

חומצות שומן הן קבוצת תרכובות, המאופיינות על ידי שרשרת של אטומי פחמן, שאליהם קשורים אטומי מימן, ובקצה השרשרת – קבוצת אטומים (הכוללת פחמן, מימן וחמצן) הנקראת קבוצה קרבוקסילית (COOH). את שרשרת אטומי הפחמן ואטומי המימן הקשורים אליהם מסמנים באות R, ולכן נוסחת המבנה הכללית של חומצת שומן היא: RCOOH.

לדוגמה: החומצה הבוטירית מכילה 4 אטומי פחמן. נוסחת המבנה שלה כוללת שרשרת של 3 אטומי פחמן וקבוצה קרבוקסילית. איור 2 מציג צורות ייצוג שונות לחומצה הבוטירית.

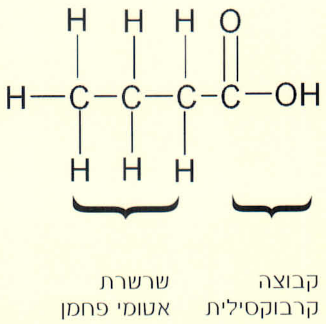
איור 2: צורות ייצוג שונות של מבנה החומצה הבוטירית (בוטנואית)

נוסחאות מולקולריות

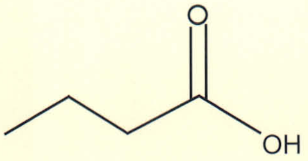
$C_4H_8O_2$ או: C_3H_7COOH

נוסחאות מבנה

$CH_3CH_2CH_2COOH$ או: $CH_3(CH_2)_2COOH$

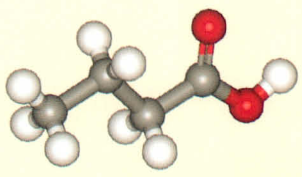


או:

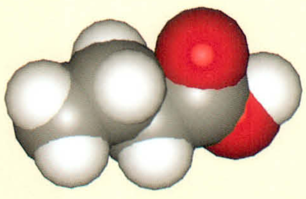


מודלים

כדור אדום מייצג אטום חמצן; כדור אפור מייצג אטום פחמן; כדור לבן מייצג אטום מימן



מודל כדור-מקל



מודל ממלא מרחב

ההבדל בין חומצות השומן השונות הוא במספר אטומי הפחמן בשרשרת, בסוגי הקשרים ביניהם: בודדים (–C–C–) בלבד או גם בודדים וגם כפולים (–C=C–), ובמיקומם של הקשרים הכפולים בשרשרת.
מלבד מספר יוצאות מן הכלל, חומצות השומן המצויות בטבע הן בעלות שרשרת ישרה של אטומי פחמן ומספר זוגי של אטומי פחמן, הנע בין 4 ל- 24 אטומים.

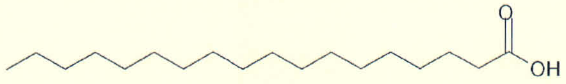
מבחינים בין שני סוגים של חומצות שומניות:

1. **חומצות שומן רוויות**, אשר אינן מכילות קשרים כפולים בין אטומי הפחמן בשרשרת - מתאימות לנוסחה הכללית: $C_nH_{2n+1}COOH$;
2. **חומצות שומן לא רוויות**, המכילות אחד או יותר קשרים כפולים בין אטומי הפחמן בשרשרת. חומצות שומן המכילות קשר כפול אחד נקראות חד לא-רוויות ומתאימות לנוסחה הכללית: $C_nH_{2n-1}COOH$; חומצות שומן המכילות שניים או יותר קשרים כפולים נקראות רב לא-רוויות ומתאימות לנוסחה הכללית: $C_nH_{2n+1-2x}COOH$, כאשר X מייצג את מספר הקשרים הכפולים.

נהוג לסמן כל חומצת שומן לפי מספר אטומי הפחמן שבה ומספר הקשרים הכפולים בה. ככל שמספר הקשרים הכפולים בשרשרת אטומי הפחמן קטן יותר, דרגת הריוויון של החומצה גבוהה יותר.
לדוגמה: החומצה הקפרואית (חומצה הקסנואית) מסומנת: C6:0, והמשמעות: היא מכילה 6 אטומי פחמן (כולל הפחמן של הקבוצה הקרבוקסילית) ואין בה קשרים כפולים.

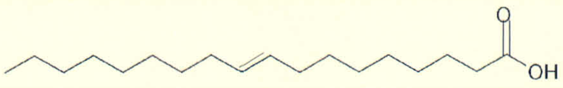
באיור 3 מוצגות שלש חומצות שומניות בעלות 18 אטומי פחמן אך בדרגת ריווין שונה.

איור 3: דרגות ריווין של חומצות שומן



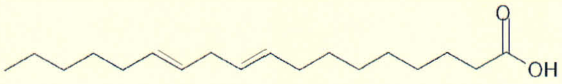
חומצה סטארית, C18:0 (חומצה רוויה)

מקור: כל עולם החי והצומח



חומצה אולאית, C18:1 (חומצה חד לא-רוויה)

מקור: שומנים מהחי (בקר, עוף) ומהצומח (שמן זית, בוטנים, אבוקדו)



חומצה לינולאית, C18:2 (חומצה רב לא-רוויה)

מקור: שמנים מהצומח (תירס, סויה, חריע)

בחומצות השומניות הלא-רוויות מקובלת חלוקה נוספת, לפי מיקום הקשר הכפול הראשון ביחס לפחמן הקיצוני בשרשרת אטומי הפחמן (אטום הפחמן אשר אליו קשורים 3 אטומי מימן). זהו אטום הפחמן המרוחק ביותר מהקבוצה הקרבוקסילית ונהוג לסמן אותו באות היוונית אומגה: ω. את מיקום הקשר הכפול הראשון נהוג לספור מפחמן קיצוני זה. בחומצות שומן, שבהן קיימים מספר קשרים כפולים, ממוקמים קשרים אלה בשרשרת כך שביניהן מרווח של קבוצת $-CH_2-$ אחת (פירוט בסעיף הבא אודות הקשר הכפול). לכן, נהוג לסמן את מקום הקשר הכפול הראשון בלבד.

כך לדוגמה, בחומצה: C18: 2ω6 שני קשרים כפולים - הראשון בפחמן מספר 6 ומקום הקשר הכפול השני הוא בפחמן 9.

איור 4 מציג דוגמה למבנה של חומצת שומן מסוג אומגה.

איור 4: צורות ייצוג של חומצת שומן מסוג אומגה 6: החומצה הלינולאית - $C_{18}H_{32}O_2$

נוסחה מולקולרית

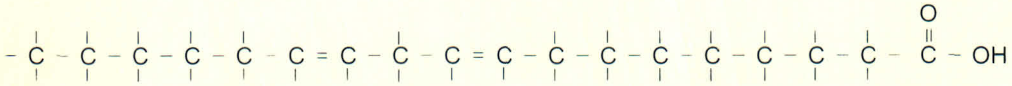
$C_{17}H_{31}COOH$

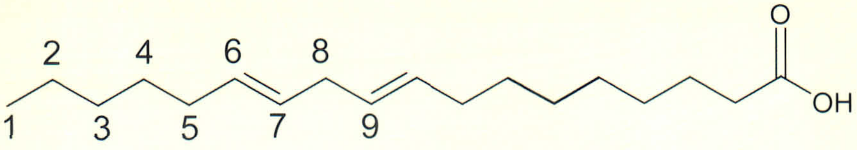
רישום מקוצר

C18: 2ω6

18 אטומי פחמן, 2 קשרים כפולים, קשר כפול ראשון נמצא בין אטום פחמן 6 לאטום פחמן 7 והקשר הכפול השני בין אטום פחמן 9 לאטום פחמן 10 (מספור מפחמן ω הקיצוני)

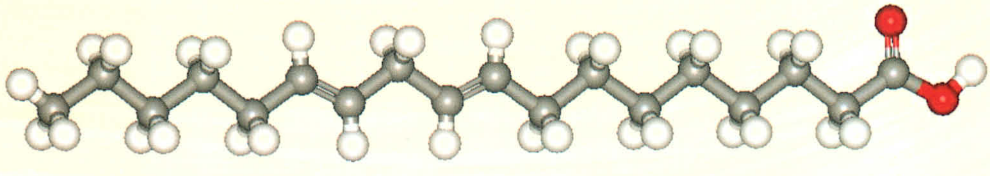
נוסחאות מבנה





מודל כדור-מקל

כדור אדום מייצג אטום חמצן; כדור אפור מייצג אטום פחמן; כדור לבן מייצג אטום מימן



בטבלה הבאה מפורטות מספר חומצות שומן נפוצות - שמותיהן, הרישום המקוצר שלהן והסמל המקוצר המקובל שלהן.

חומצות שומן נפוצות

שם החומצה	רישום מקוצר	סמל
בוטירית - Butyric	C4:0	B
קַפרואית - Caproic	C6:0	H
קַפרילית - Caprylic	C8:0	Oc
קַפרית - Capric	C10:0	D
לַאורית - Lauric	C12:0	La
מייריסטית - Myristic	C14:0	M
פַלמיטית - Palmitic	C16:0	P
סְטאָרית - Stearic	C18:0	St (או S)
איקוסַנואית - Eicosanoic	C20:0	Ad
פַלמיטולאית - Palmitoleic	C16:1ω7	Po
אולאית - Oleic	C18:1ω9	O
לינולאית - Linoleic	C18:2ω6	L
לינולנית - Linolenic	C18:3ω3	Ln
ארכידונית - Arachidonic	C20:4ω6	An

הערה: שמות החומצות המוצגות בטבלה הם שמותיהן הנפוצים ולא השמות הסיסטמטיים שלהן

תרגיל 1: ניתוח מידע בצורות ייצוג שונות - חומצות שומן

פסק זמן לחשיבה על חשיבה... רמות הבנה בכימיה*

הכימאים נוהגים להתייחס למידע כימי במספר רמות הבנה.
התרגיל שלפניכם כולל ארבע שאלות, שבהן נדרשות תשובות ברמות חשיבה שונות.

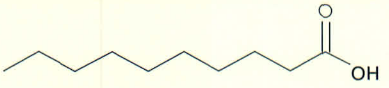
שימו ♥ שתשובותיכם אכן ברמות הבנה אלו.

בשאלה 1 הנכם מתבקשים להשלים נוסחאות של חומצות שומן נוספות. תשובותיכם לשאלה זו דורשות רמת הבנה אחת בכימיה – רמת הסמל.

שאלה 2 מתייחסת למספר רמות הבנה: סעיף א' קשור במעבר בין צורות ייצוג של מידע אודות חומצות שומן (מגרף לטבלה) והתייחסות לרמת הסמל – רישום נוסחה מולקולרית מקוצרת.
סעיף ב' קשור בשילוב שתי רמות הבנה - רמת התופעה והרמה החלקיקית של החומר - הסבר על הקשרים הבין-מולקולריים הקיימים בין מולקולות חומצות השומן בהתייחס לתופעה המיוצגת באמצעות טמפרטורת ההיתוך.
סעיף ג' מתייחס אף הוא לקשר שבין רמת התופעה לרמת החלקיקים - הסבר ברמת החלקיקים לשוני בנקודות ההיתוך (רמת התופעה) של חומצות השומן השונות.

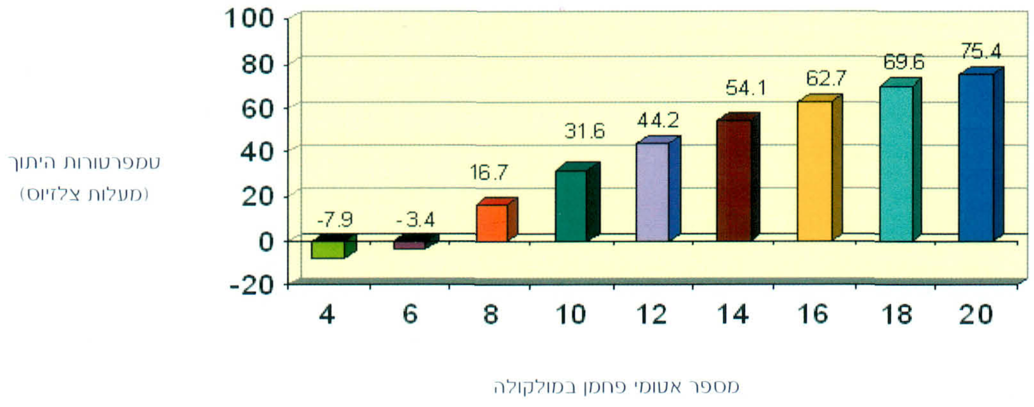
שאלה 3 מתייחסת לקשר שבין רמת התופעה לרמת החלקיקים - הסבר ברמה החלקיקית לשוני בנקודות ההיתוך (רמת התופעה) של חומצות השומן השונות.

1. העתיקו את הטבלה הבאה למחברותיכם והשלימו אותה:

שם החומצה	מקור עיקרי	נוסחה מולקולרית	רישום מקוצר	נוסחת מבנה
חומצות שומן רוויות				
בוטירית	חמאה	C_3H_7COOH	C4:0	
קפרית	קוקוס, גרעיני תמר, חמאה			
חומצות שומן חד לא-רוויות				
פלמיטולאית	קוקוס, גרעיני כותנה, זיתים, חמאה		C16:1ω7	
אולאית	קוקוס, חמאה קקאו, תירס, אבוקדו, זיתים, בקר, עוף, חזיר			
חומצות שומן רב לא-רוויות				
לינולנית	נבטי סויה, תירס, קנולה, חמאה		C18:3ω3	
איקוסאפנטאנואית	דגי ים (הרינג, סלמון)		C20:5ω3	

* הסבר על רמות הבנה בכימיה, ראו בנספח 1.

2. לפניכם גרף המתאר את נקודות ההיתוך של 9 חומצות שומן רוויות:



א. העבירו את המידע שבגרף לטבלה בת 3 עמודות: בראשונה – מספר אטומי פחמן, בשנייה – רישום מקוצר של המולקולה, ובשלישית – טמפרטורת ההיתוך.

ב. אלו חומצות שומן הן נוזליות ואלו מוצקות? האם תשובתכם מוחלטת? נמקו ברמה החלקיקית (רמת החלקיקים) ובהסתמך על המידע שבגרף ובטבלה שהכנתם.

ג. I. מה תוכלו להסיק מהמידע המוצג בגרף ובטבלה לגבי טמפרטורת ההיתוך של חומצות השומן?

II. נסו לשער האם טמפרטורת ההיתוך של החומצה הבאה, בעלת 22 אטומי פחמן, תהיה בערך 76, 79 או 85 מעלות? נמקו לפי המידע בגרף.

III. הסבירו ברמה החלקיקית את מסקנתכם.

3. לפניכם מידע לגבי נקודות היתוך של 4 חומצות שומן בעלות 18 אטומי פחמן.

שם החומצה	נוסחה מקוצרת	טמפרטורת היתוך (°c)
סטארית	C18:0	69.6
אולאית	C18:1ω9	18.9
לינולאית	C18:2ω6	-5.0
לינולנית	C18:3ω3	-11.0

א. נסחו שתי מסקנות העולות מהמידע בטבלה.

ב. מהו לדעתכם הבסיס הכימי למסקנות שהסקתם בסעיף א?

ג. נסחו שאלה שמטרתה לברר את הבסיס הכימי (ברמה החלקיקית) למסקנותיכם.

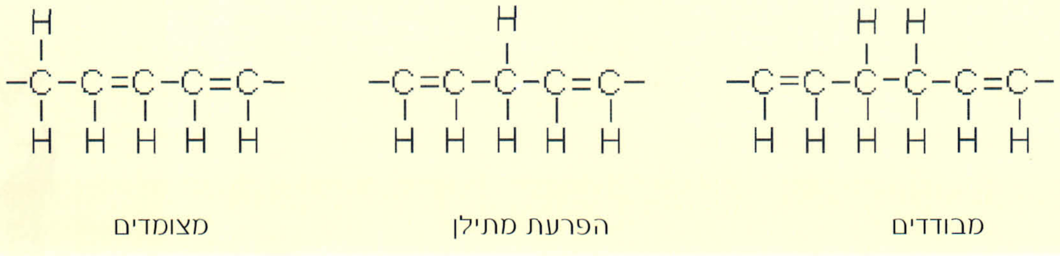
הקשר הכפול והשפעתו על תכונות החומר - חומצות שומן

במולקולות של חומצות שומן יכול להיות קשר כפול אחד או יותר – עד שישה קשרים כפולים. קשרים כפולים במולקולה יכולים להיות ממוקמים באחד משלושת המצבים הבאים:

- קשרים כפולים מצומדים – בין הקשרים הכפולים קיים רק קשר בודד אחד C–C;
- הפרעת מתילן – בין הקשרים הכפולים קיימת קבוצת $-CH_2$ אחת;
- קשרים כפולים מבודדים – בין הקשרים הכפולים קיימות שתי קבוצות $-CH_2$, או יותר.

מצבים אלו של מיקום הקשר הכפול מתוארים באיור 5 והם משפיעים על פעילות המולקולה (כפי שיתואר בהמשך הפרק).

איור 5: מצבים אפשריים למיקום קשרים כפולים במולקולה



במולקולה של חומצת שומן נפוץ המצב של הפרעת מתילן, כלומר קבוצת $-CH_2$ אחת בין שני קשרים כפולים.

כדי ללמוד על הקשר הכפול והשפעתו על מבנה המולקולה, ניעזר בפעילות חקר באמצעות מודלים מולקולריים.

תרגיל 2: פעילות חקר עם מודלים שונים

חלק א' – פעילות עם מודלים קשיחים מפלסטיק (רצוי מודל כדור-מקל)

1. בניית המודל

בנו מודל של מולקולת החומצה הסטארית C18:0 וציירו אותו במחברותיכם. הציבו את הכדורים במבנה זיגזג.

2. המבנה המרחבי

הסתכלו על המבנה המרחבי של האטומים סביב כל אחד מאטומי הפחמן. ציירו מבנה זה במחברותיכם (ציירו כדוגמה את קצה המולקולה: הפחמן הקיצוני עם 3 אטומי המימן סביבו). מבנה מרחבי זה קרוי: טטראדר. מה מאפיין אותו מבחינה מרחבית?

3. סיבוב חופשי

בחרו באחד מקשרי C–C במולקולה: האם ניתן לסובב את האטומים סביב קשר זה?

4. גמישות המולקולה

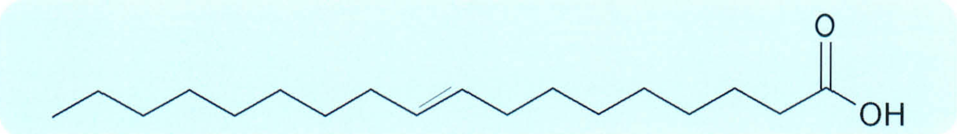
כדי לבחון את גמישות המולקולה, סובבו את האטומים סביב הקשרים השונים סיבוב חופשי. האם ניתן לסובב את המולקולה עד כדי קבלת מבנה כדורי?

5. חיזרו על פעילויות 1 – 4 עם מודל של מולקולת החומצה האולאית: C18:1ω9. שימו לב, כי ליצירת קשר כפול (בין פחמן 9 ל- 10) יש להוציא 2 אטומי מימן. (במרבית המודלים יש להחליף את המקל הקשיח המייצג קשר בודד בשני מקלות גמישים המאפשרים בניית קשר כפול). בסעיף 3, בדקו סיבוב חופשי בקשר הכפול.

6. השוו את המודל שבניתם למודלים שבנו חבריכם בכיתה. האם הם זהים? אם לא, במה הם שונים?

חלק ב' – פעילות בהדמיה מולקולרית ממוחשבת*

1. בנו בתוכנת ISIS את מולקולת החומצה האולאית: C18:1ω9:



2. הציגו אותה במבנה מרחבי והסתכלו בה בשלוש צורות הייצוג: כדור מקל, ממלא מרחב ומקלות. אלו יתרונות ואלו חסרונות אתם מוצאים בכל צורת ייצוג?

3. בחרו בקשר בודד C–C, מדדו את אורך הקשר ורשמו במחברותיכם. מדדו גם את אורך הקשר הכפול C=C במולקולה ורשמו במחברותיכם.

א. מה מסקנתכם?

ב. מה יכולה להיות הסיבה להבדל באורכי הקשרים?

ג. האם קשר משולש יהיה קצר, זהה, או ארוך מקשר כפול? מדוע?

ד. קשר מרובע (לדוגמה בין שני אטומי פחמן) לא קיים. מדוע, לדעתכם?

---

* הנחיות להכרת תוכנות ההדמיה, ניתן למצוא בחוברת: הרשקוביץ, קברמן, ששון, ודורי (2002). ניסויים ממוחשבים והדמיה מולקולרית בכימיה. המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים, הטכניון, חיפה.

4. מדדו את הזווית סביב אחד מאטומי הפחמן – לדוגמה סביב פחמן מס׳ 5, ורשמו במחברותיכם. מדדו בצורה דומה את הזווית סביב כל אחד מאטומי הפחמן שליד הקשר הכפול ורשמו במחברותיכם. מה מסקנתכם לגבי המבנה סביב אטום הפחמן בעל הקשרים הבודדים ואטום הפחמן היוצר קשר כפול?

סיכום:

הכינו במחברותיכם טבלת השוואה בין מאפיינים של הקשר הבודד C–C והקשר הכפול C=C, תוך התייחסות לנקודות הבאות: המבנה המרחבי סביב הקשר, יכולת הסיבוב של האטומים סביב הקשר, גמישות המולקולה, אורך הקשר, הזוויות סביב הקשר.

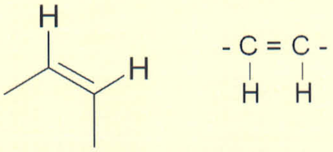
חלק ג׳ – פעילות עם מודלים קשיחים מפלסטיק – איזומריית ציס-טרנס

1. חיזרו למולקולת החומצה האולאית: C18:1ω9, שבניתם בשלב 5 בפעילות בחלק א׳, והתמקדו בסידור האטומים סביב הקשר הכפול.

קיימות שתי צורות של אירגון האטומים, כפי שניתן לראות באיור 6:

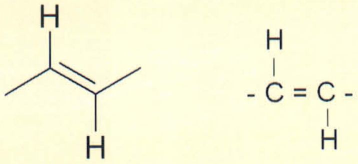
איור 6: צורות שונות לאירגון אטומים סביב הקשר הכפול

שני אטומי המימן נמצאים באותו צד של הקשר הכפול ופונים האחד כלפי השני (כמו קצוות האות c)



מבנה זה נקרא: ציס (cis)

שני אטומי המימן נמצאים משני צידי הקשר הכפול בצורה אלכסונית האחד לעומת השני (כמו קצוות האות s)



מבנה זה נקרא: טרנס (trans)

האם סידור האטומים במולקולה שבניתם הוא מסוג ציס או טרנס?

2. שנו את אירגון האטומים סביב הקשר הכפול למבנה השני: אם היה ציס העבירו לטרנס ולהיפך. מה היה עליכם לעשות כדי לבצע את השינוי? האם סיבוב האטומים הספיק?
3. מה ההבדל במבנה המרחבי של המולקולה כאשר היא מכילה קשר כפול במצב ציס לעומת קשר כפול במצב טרנס?
4. סכמו: במה דומות ובמה שונות מולקולת הציס והטרנס, שאותן בניתם?

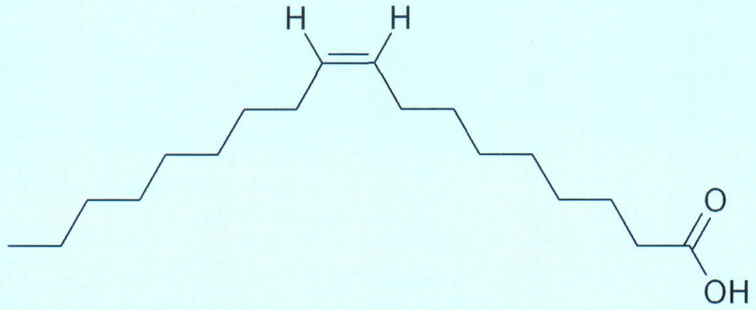
השפעת אירגון האטומים סביב הקשר הכפול על תכונות החומר

הקשר הכפול בין אטומי פחמן אינו מאפשר סיבוב חופשי של האטומים סביבו ולכן קיימות שתי אפשרויות לאירגון האטומים סביב הקשר: ציס וטרנס. כדי לעבור מאירגון אחד לשני, יש לנתק קשרים. שתי מולקולות בעלות אותה נוסחה מולקולרית (אותו מספר והרכב אטומים), אך באירגון מרחבי שונה סביב הקשר הכפול, נקראות **איזומרים מסוג ציס-טרנס** (איזומרים גיאומטריים). איזומרים אלו הם בעלי מבנה מרחבי שונה. למבנה המרחבי השונה של המולקולות יש השפעה על תכונות שונות של החומרים, כמו למשל על טמפרטורת היתוך.

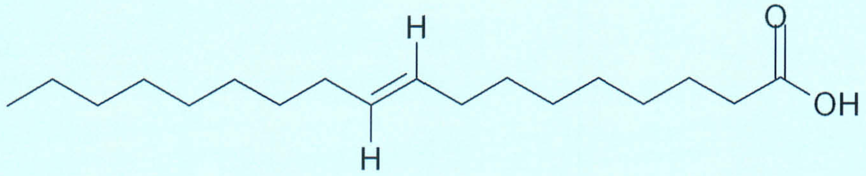
דוגמה – איזומריית ציס טרנס במולקולות חומצת השומן C18:1ω9

טמפרטורת היתוך של החומצה האולאית היא: 18.9 °C. במולקולה של החומצה האולאית, אטומי המימן הם במצב ציס. באיזומר שלה, במולקולת החומצה האלאידית, אטומי המימן הם במצב טרנס וטמפרטורת היתוך היא 43°C. הסיבה להבדל הגדול בטמפרטורת היתוך של שתי החומצות טמון במבנה המרחבי השונה של המולקולות שלהן. מבנה זה מקנה גמישות שונה למולקולות ומשפיע על אפשרות המולקולות להתארגן בינן לבין עצמן.

במולקולת החומצה האולאית, מסודרים האטומים במבנה ציס סביב הקשר הכפול, דבר הגורם לכיפוף במולקולה:



ואילו באיזומר שלה, במולקולת החומצה האלאידית, מסודרים האטומים במבנה טרנס סביב הקשר הכפול, דבר אשר איננו גורם לכיפוף או "עיוות" במולקולה.



כתוצאה מכך, מולקולות החומצה האולאית אינן מסתדרות באריזה צפופה בינן לבין עצמן. לכן, כוחות המשיכה הבין-מולקולריים (כוחות ון-דר-ולס) חלשים יותר, דבר המתבטא בטמפרטורת היתוך נמוכה יותר. מולקולות החומצה האלאידית מסוגלות להסתדר באריזה צפופה ומסודרת. לכן, כוחות המשיכה הבין-מולקולריים חזקים יותר וטמפרטורת היתוך גבוהה יותר.

חומצות השומן הטבעיות קיימות ברובן במצב ציס. בתהליכי ייצור של מזונות שונים, נוצרים גם האיזומרים טרנס של החומצות. בשני העשורים האחרונים נערכו מחקרים רבים על השפעתן של חומצות מסוג טרנס במוצרים מעובדים על גוף האדם. חלק גדול מהממצאים הראה, כי אכילה מוגברת של מוצרי מזון מעובדים המכילים חומצות אלו (בעיקר מרגרינה*), מעלה את רמת הכולסטרול* בדם. כתוצאה מכך, עולה הסכנה להתקפי לב, לסכרת ולסוגים אחדים של סרטן. עם זאת, יש חוקרים רבים הטוענים, כי הממצאים אינם חד משמעיים. הסיבות למחלוקות בין החוקרים, הן הקושי בעריכת מחקרים מבוקרים על בני-אדם מחד, והמורכבות בקביעה ברורה של אחוז חומצות הטרנס במאכלים שונים, מאידך. מחקר על בני-אדם צריך להימשך שנים רבות (10-20 שנה ואף יותר) ולכלול מידגם גדול של אוכלוסיה, עד שניתן יהיה להסיק מסקנות ברורות. כמו כן, קשה ואף בלתי אפשרי לשלוט באופן מדויק ומבוקר על הרכב המזון שאדם צורך.

חומצות שומן חשובות בגופנו

השומן הינו מרכיב חשוב במזוננו מרגע הלידה, בשלב שאנחנו ניזונים מחלב אם, ולאורך כל חיינו. במערכת העיכול מיוצר האנזים ליפז, המזרז את פירוק השומן לחומצות שומן חיוניות לגופנו.

גוף האדם, כמו גופם של בעלי חיים אחרים, מסוגל לייצר את מרבית חומצות השומן הרוויות והחד לא-רוויות להן הוא זקוק ממרכיבי המזון השונים, כמו פחמימות, אלכוהול וחלבונים. הגוף מסוגל לייצר חומצות שומן באורך של עד 18 אטומי פחמן במולקולה. הגוף אף מסוגל להפוך חומצות שומן רוויות ללא רוויות על ידי הוצאת אטומי מימן ויצירת קשרים כפולים. תהליכים אלו יכולים להתרחש רק במקומות אחדים לאורך השרשרת. כך למשל, מולקולות של חומצה סטארית C18:0 יכולות להפוך בגופנו, בתהליכים מתאימים, למולקולות של חומצה אולאית: C18:1ω9. לעומת זאת, הן לא יכולות להפוך למולקולות של חומצה לינולאית: C18:2ω6 ולא של חומצה לינולנית: C18:3ω3. שתי חומצות אלו, שהן חומצות מסוג אומגה 6 ואומגה 3, שהגוף זקוק להן אך אינו יכול לייצרן בעצמו, קרויות **חומצות שומן חיוניות**. מסיבה זו, עלינו לאכול מזונות אשר מכילים את החומצות האלו ולא ניתן להוציא לחלוטין את השומן מהמזון אותו אנו צורכים.

חומצות אלו מצויות במזונות רבים. החומצה הלינולאית, C18:2ω6, מצויה בריכוז גבוה בשמנים רבים, כמו שמן סויה, תירס, חריע וחמניות. החומצה הלינולנית, C18:3ω3, מצויה בריכוז נמוך יחסית בשמן סויה ובקנולה ובריכוז גבוה בשמן פשתן.

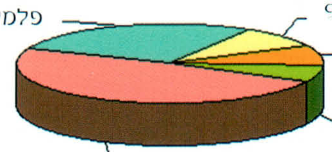
שתי חומצות שומן חיוניות אלה משמשות בגוף כחומר מוצא לייצור חומצות שומן מורכבות יותר. החומצה הלינולאית, C18:2ω6, משמשת חומר מוצא לייצור חומצת השומן: C20:4ω6, והחומצה הלינולנית, C18:3ω3, משמשת חומר מוצא לייצור חומצת השומן: C20:5ω3 וגם לייצור חומצת השומן: C22:6ω3, החשובה להתפתחות המוח, ולכן מוסיפים אותה למזון לתינוקות ולפגים. שתי חומצות השומן האחרונות (C20:5ω3 ו- C22:6ω3) מצויות בדגי ים, ובמיוחד בדגי מים קרים כמו בים הצפוני.

כיום ידוע, כי חומצות השומן החיוניות לגופנו, מהוות גם את הבסיס ליצירת קבוצה חשובה של מולקולות בעלות פעילות הורמונלית מקומית בגוף, הקרויות "פרוסטאגלנדינים". לפרוסטאגלנדינים תפקיד חשוב במערכת קרישת הדם ובפעילות דלקתית בגוף.

* הרחבה בהמשך הפרק

תרגיל 3: ניתוח מידע מגרף - הרכב חומצות שומן בגופנו

לפניכם גרף המתאר את הרכב חומצות השומן העיקריות בגופנו.



בהסתמך על טבלת חומצות השומן, המפרטת את נוסחאותיהן הכימיות, ענו על השאלות הבאות:

א. מיינו את חומצות השומן בגופנו לרוויות, חד לא-רוויות ורב לא-רוויות.

ב. מהו יחס החומצות הרוויות בגופנו לעומת הלא רוויות?

ג. מהו יחס החומצות החד-לא-רוויות בגופנו לעומת הרב-לא רוויות?

ד. האם יש בגופנו חומצות אומגה 3 ואומגה 6? אם כן, אלו?

ה. לסיכום, מה תוכלו להסיק לגבי הרכב חומצות השומן בגופנו?

תרגיל 4: הקשר בין מבנה, תכונות ותפקיד - עובדות, מידע ושאלות למחשבה

לפניכם קטעי מידע ולאחריהם שאלות המתייחסות למידע הנתון. השאלות ממוקדות בקשר שבין מבנה וקישור כימי (הרמה החלקיקית - המיקרוסקופית) לבין תכונות החומר ותפקידו (רמת התופעה - הרמה המאקרוסקופית).

בחומצה אולאית (C18:1), עקב הימצאות הקשר הכפול הגורם לחוסר גמישות (באזור הקשר), המולקולות אינן ארוזות בצפיפות כמו בחומצה הסטארית (C18:0), כוחות ון-דר-ולס בין המולקולות חלשים יותר, ולכן טמפרטורת ההיתוך שלה נמוכה יותר. זו הסיבה לכך, שבייצור שמן לסלט, מקררים, מפרידים ומרחיקים את המוצקים הנוצרים כדי למנוע יצירת עכירות של השמן כאשר הוא נמצא במקרר.

1. האם המוצקים המורחקים בקירור הם החומצות הרוויות או הלא רוויות? נמקו ברמה החלקיקית.

שומן של עוף רך יותר משומן של בקר וכבש עקב הרכב שונה של חומצות שומן. בשומן בקר וכבש יש אחוז גבוה יותר של חומצות שומן רוויות מאשר בשומן עוף.

2. הציעו הסבר להבדל ברכות השומן ברמה החלקיקית.

חומצות שומן רב לא-רוויות מכילות מספר קשרים כפולים בשרשרת. דוגמאות לחומצות כאלה, החשובות לגופנו, הן חומצות מסוג אומגה 3 ואומגה 6. ניתן למצוא חומצות מסוג אומגה 3 בעיקר בדגי ים ובמיוחד באזורים קרים כמו בים הצפוני.

3. הסבירו, ברמה החלקיקית, מה היתרון בהימצאות חומצות רב לא-רוויות מסוג אומגה 3 לדגי ים ובמיוחד לדגי הים הצפוני?

שמן פישתן מכיל בעיקר את החומצה הלינולנית C18:3ω3, אשר במולקולה שלה שלושה קשרים כפולים. קיום המספר הגבוה יחסית של קשרים כפולים במולקולה גורם לה להיות פעילה מבחינה כימית, מכיוון שהקשרים הכפולים מהווים מוקד לתגובה עם חומרים שונים. כאשר השמן חשוף לאוויר, עלול להיווצר קרום דק על פניו. הסיבה לכך היא התגובה שמתרחשת בין חמצן (בתהליך בו משתתפים רדיקלים חופשיים) לבין הקשרים הכפולים במולקולות השמן. בתהליך מתרחשת תגובת פילמור ונוצרים פולימרים - מולקולות ענק - המורכבים ממספר רב של מולקולות שומן מחומצנות הקשורות זו לזו. התופעה גורמת לעליה בצמיגות השמן ואף להיווצרות קרום המכסה את פני השמן.

4. א. מדוע תהליך הפילמור מואץ כאשר משתמשים בשמן לצורך טיגון? הסבירו ברמה החלקיקית.
ב. העלו השערה מדוע שמן כזה איננו בריא למאכל?

הטמפרטורה בתאי הצמחים נקבעת על ידי טמפרטורת הסביבה ועשויה להגיע לערכים נמוכים מאוד בלילה או בחורף. נמצא, כי בצמחים נפוצות חומצות שומן לא רוויות.
לעומת זאת, לבעלי חיים מקבוצת היונקים יש מנגנונים השומרים על טמפרטורת גוף קבועה. נמצא, כי ביונקים בעיקר נפוצות חומצות שומן רוויות, אשר מלבד היותן מקור להפקת אנרגיה הן מסייעות בתמיכה מכאנית של איברי הגוף.

5. המידע המתואר לעיל הינו ברמת התופעה. ענו על השאלה הבאה תוך מתן הסברים ברמה החלקיקית:
מה היתרון בהימצאות חומצות שומן לא-רוויות בצמחים, וחומצות שומן רוויות בבעלי חיים?

השמן של לורנצו - גלגולו של תהליך מחקרי

הסרט "השמן של לורנזו", שהפיק ג'ורג' מילר בשנת 1992 וכיכבו בו ניק נולטה וסוזן סרנדון, הרטיט לבבות רבים וזכה בפרסי אוסקר אחדים. הסרט מבוסס על סיפור אמיתי אודות נער בשם לורנזו אודונה אשר לקה במחלה קשה (Adrenoleukodystrophy - ALD) וחשוכת מרפא. ALD היא מחלה גנטית הגורמת להפרעה ביכולת הגוף לטפל בחומצות שומן בעלות שרשרות ארוכות מאוד*. הדבר גורם לפגיעה במיאלין (החומר העוטף את תאי העצב) במוח והתוצאה היא פגיעה בכל מערכות הגוף. הגורם לתופעה הוא גן פגוע העובר מאם לבן. הוריו של לורנזו סירבו להיכנע והקדישו את חייהם, מרגע האבחנה במחלה של בנם, ללימוד והתמחות בנושא.

אחד הסימנים למחלה הוא רמה גבוהה במיוחד של **חומצות שומן רוויות** בעלות שרשרות ארוכות מאוד. הוריו של לורנזו האמינו תחילה, שיש להימנע לחלוטין ממאכלים המכילים חומצות שומן רוויות ארוכות. כשזה לא עזר, החלו להאכילו בכמויות גדולות של **חומצת שומן לא רוויה** בעלת שרשרת ארוכה. הם בחרו תחילה בחומצה האולאית: C18:1ω9 וכשזה לא עזר, הם הוסיפו גם חומצת שומן ארוכה מאוד – החומצה הארוסית (Erucic acid), C22:1ω9, ואף מצאו חברה אנגלית שהפיקה עבורם את השמן. אכילת כמויות גדולות של השמן אכן גרמה לירידה משמעותית בריכוז החומצות הרוויות בדם של לורנזו וההידרדרות במצבו נעצרה.

למרות, שכבכל סרט הוליוודי, הסוף נראה מבטיח מבחינתו של לורנזו, למעשה כבר לא ניתן היה לשפר את מצבו. הנזק שנגרם לו היה בלתי הפיך והוא חי כיום, בסוף שנות העשרים לחייו, מרותק למיטתו. כמו כן, השימוש בשמן לא נימצא כפיתרון מוחלט למחלה הקשה, אך הסרט העלה למודעות הציבור את קיומה של המחלה הפוגעת רק בבנים, אחד מתוך 25,000, ומחקר רב ממשיך להתבצע במטרה למצוא מרפא למחלה זו.

מידע נוסף על הסרט והמחלה ניתן למצוא באתר:

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

האתר של משפחתו של לורנזו הוא:

http://www.myelin.org/aboutlorenzo.htm. מומלץ להיכנס אליו.

1. נסחו 2–3 שאלות, העולות מתוך האירוע ו/או הסרט שראיתם, ולא קיבלתם מענה עליהן.
2. הסרט והשתלשלות המחקר, שערכו הוריו של לורנזו, מעלים מספר פרדוקסים:

א. בשלב ההתחלתי, כאשר התגלה כי רמת חומצות השומן הארוכות מאוד בדמו של לורנזו גבוהות

* חומצות שומן ארוכות מאוד מכילות 24 ו- 26 אטומי פחמן בשרשרת. חומצות שומן "רגילות" מכילות 14, 16 ו- 18 אטומי פחמן בשרשרת. במחלת ALD נוצרות חומצות שומן ארוכות מאוד בכמות של פי 2–4 מאשר במצב תקין. נוצרות בעיקר החומצות: C26:0 ו- C24:0.

מהרגיל, הם דאגו שלא יאכל לחלוטין מאכלים המכילים חומצות שומן ארוכות (חמאת בוטנים, תרד וכדומה). למרות זאת, רמת חומצות השומן הארוכות מאוד בדמו המשיכה לעלות. כיצד ניתן להסביר זאת?

ב. בהנחה שהגוף משתמש בחומצות שומן לא רוויות קצרות כדי לבנות את חומצות השומן הרוויות, הוסיפו הוריו של לורנזו לאוכל כמויות גדולות של החומצה הלא רוויה – אולאית: C18:1. בתחילה זה עזר והייתה ירידה משמעותית ברמת חומצות השומן הארוכות מאוד בדמו. כיצד ניתן להסביר זאת?

ג. למרות צריכת כמויות גדולות של החומצה האולאית, לאחר 3 חודשים רמתן של חומצות השומן הארוכות מאוד חזרה ועלתה בדמו של לורנזו. כיצד ניתן להסביר זאת?

ד. בשלב הבא, הניחו הוריו של לורנזו כי השימוש בחומצת שומן ארוכה לא רוויה – החומצה הארוסית Erucic acid, C22:1ω9, תמנע לחלוטין את יצירת חומצות השומן הרוויות הארוכות מאוד, ואכן זה עזר ורמת חומצות השומן הארוכות מאוד בדמו של לורנזו ירדה. כיצד ניתן להסביר זאת?

ה. השמן של לורנזו מורכב מתערובת של חומצה אולאית והחומצה ארוסית ביחס של 4:1, למרות שנימצא כי החומצה הארוסית היא זו שיעילה למחלה ולא החומצה האולאית. מה יכולה להיות הסיבה לכך?

3. הסרט והמקרה של לורנזו מעלה מספר דילמות אתיות. נסו להתייחס ולהביע את דעתכם:

א. חברות התרופות נמנעו מלממן מחקר שמטרתו לחפש תרופה למחלת ALD כיוון שזו מחלה נדירה יחסית ומציאת תרופה לא תביא להן רווח כלכלי שיצדיק מחקר ארוך ויקר. האם זה מוצדק? האם צריך לחייב בחוק את חברות התרופות לממן מחקרים כאלו?

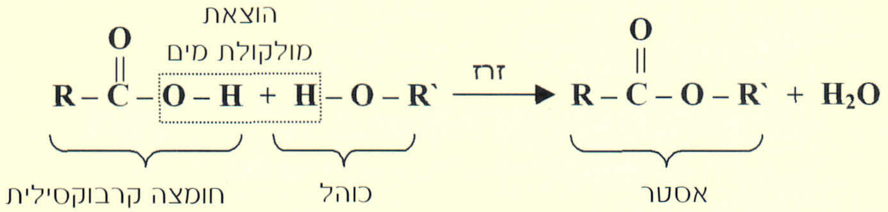
ב. כאישה, אם יתגלה כי הינך נושאת את הגן שעלול לגרום למחלת ALD, האם היית נמנעת מלהביא ילדים לעולם? (מצב של נשאות ללא מחלה אפשרי רק בנקבה).

ג. האם יש לחוקק חוק שימנע מאמהות הנושאות את הגן הפגום מלהוליד ילדים, אשר יחלו במחלה או יהיו נשאי הגן הפגום? האם יש להבחין בין בנים ובנות בהקשר זה?

טריגליצרידים

כאשר חומצה קרבוקסילית מגיבה עם כוהל, מתקבלים מים ותרכובת הנקראת "אסטר".
התהליך מתרחש באמצעות זרז, ומתואר באופן כללי באיור 7.

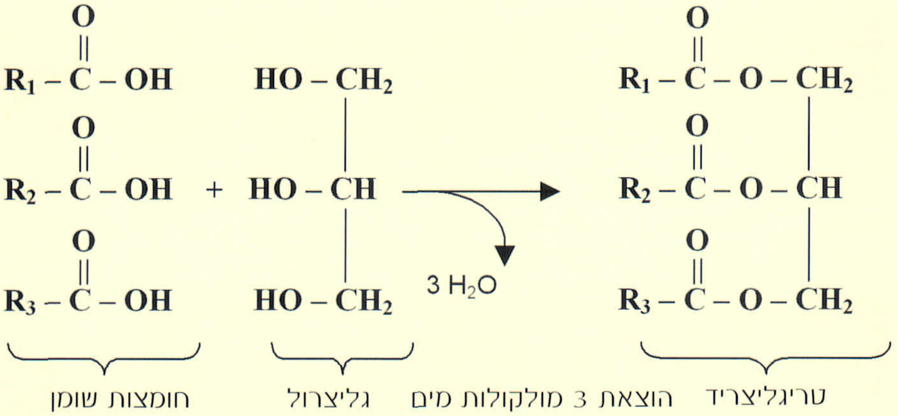
איור 7: תיאור כללי של תגובה לקבלת אסטר



R' R. מייצגות קבוצות אלקיליות (שרשרות בעלות מספר שונה של אטומי פחמן ומימן)

כאשר החומצה הקרבוקסילית היא חומצת שומן והכוהל הוא גליצרול (המכיל שלש קבוצות הידרוכסיליות) מתקבל שומן – טריגליצריד המכיל שלש קבוצות אסטריות. בתהליך מתקבלות גם שלוש מולקולות מים, כפי שניתן לראות באיור 8.

איור 8: תיאור כללי של יצירת טריגליצריד



התגובה לקבלת טריגליצריד נעשית בטבע באמצעות אנזימים. התגובה יכולה להתרחש גם בכיוון ההפוך – פירוק באמצעות מים (הידרוליזה) לקבלת חומצות שומן וגליצרול.

הטריגליצריד יכול להיות מורכב משלוש חומצות שומן זהות או שונות. הטריגליצריד העיקרי בשמן זית הוא: טריאולאין, המורכב משלוש חומצות שומן זהות, שהן החומצה האולאית.

בטריגליצריד מעורב, יכולות להיות שתיים או שלוש חומצות שומן שונות הקשורות לגליצרול. כך לדוגמה, המרכיב העיקרי בחמאת קקאו הוא טריגליצריד המורכב משלוש חומצות שומן שונות: פלמיטית, אולאית וסטארית.

הטריגליצרים מצויים במוצרי מזון רבים כגון: שמנים למיניהם (100%), חמאה (82%), מרגרינה (81%), מיונית (71%), שמנת מתוקה (32%), אגוזים (70%-60%), זיתים (13% - 22%), חלמון ביצה (32.5%), ועוד.

בגוף האדם מרוכזים הטריגליצרידים בעיקר ברקמות השומן, מהן הם מועברים, באמצעות מערכת הדם, אל תאי הגוף. ריכוז גבוה מדי של טריגליצרידים בדם, עקב תזונה לא מתאימה או עקב תכונות תורשתיות, עלול

לגרום למחלות לב וכלי דם.

כיום מומלץ להמעיט בצריכת השומנים במזון, ובעיקר כאלו שהטריגליצרידים הם המרכיב העיקרי בהם.

תרגיל 6: ניתוח מידע מטבלה - הקשר בין מבנה ותכונות של טריגליצרידים

פסק זמן לחשיבה על חשיבה... רמות הבנה בכימיה*

הכימאים נוהגים להתייחס למידע כימי במספר רמות הבנה.
התרגיל שלפניכם, כולל שש שאלות, בהן נדרשות תשובות ברמות חשיבה שונות.

שימו ♥ שתשובותיכם אכן ברמות הבנה אלו.

בשאלה 1 הנכם מתבקשים לרשום ניסוח לתהליך קבלת טריגליצריד ולהסביר את המתרחש בתהליך. תשובתכם לשאלה זו דורשת שילוב של שתי רמות הבנה בכימיה - רמת הסמל (ניסוח התהליך) ורמת התהליך (הסבר מילולי למתרחש בתהליך).

שאלה 2 מתייחסת לרמת הבנה אחת - רמת הסמל - הבנת צורות ייצוג שונות של טריגליצרידים.

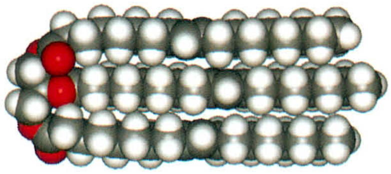
לפניכם מידע לגבי נקודות היתוך של מספר טריגליצרידים המכילים, כל אחד, שלוש חומצות שומן זהות :

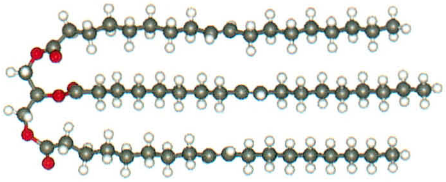
שם הטריגליצריד	שם מקוצר	חומצות השומן בטריגליצריד	טמפרטורת היתוך ($^{\circ}$c)
טריפלמיטין	PPP	C16:0	66
טריסטרין	SSS	C18:0	73
טריאלידין	EEE	C18:1, trans	42
טריאולאין	OOO	C18:1, cis	5
טרילינולאין	LLL	C18:2, cis, cis	-13

השמות המקוצרים מייצגים את האותיות הראשונות של שמות חומצות השומן המרכיבות את הטריגליצריד. ראו פרוט בטבלת שמות ונוסחאות חומצות השומן הנפוצות. (האות E מייצגת את החומצה האלאידית)

1. רשמו באמצעות נוסחאות מבנה את תהליך קבלת הטריגליצריד:PPP מחומצות השומן המתאימות וגליצרול (היעזרו באיור 8). הסבירו את המתרחש בתהליך.

2. לפניכם שתי צורות ייצוג של טריגליצריד. את מי מהטריגליצרידים שבטבלה מייצגים המודלים? הסבירו מדוע.





כדור אדום מייצג אטום חמצן; כדור אפור מייצג אטום פחמן; כדור לבן מייצג אטום מימן

* הסבר על רמות הבנה בכימיה, ראו בנספח 1.

פסק זמן לחשיבה על חשיבה... רמות הבנה בכימיה

שאלות 3, 5, 4, מתייחסות לקשר שבין רמת התופעה – נקודות היתוך של טריגליצרידים, לרמת החלקיקים – הכוחות הבין-מולקולריים אשר בין מולקולות הטריגליצרידים.

שאלה 6 מתייחסת למספר רמות הבנה:
סעיף א׳ קשור לרמת הסמל והתהליך – הבנת תהליך קבלת הטריגליצריד מחומצות שומן וגליצרול וניסוח תהליך זה באמצעות סמלים.
סעיף ב׳ קשור בשילוב של רמת התופעה (המתבטאת באמצעות טמפרטורת היתוך) ורמת החלקיקים – הסבר ברמה החלקיקית לשוני בטמפרטורת ההיתוך של שני טריגליצרידים.

שימו ♥ שתשובותיכם אכן ברמות הבנה אלו.

3. א. כיצד מושפעת טמפרטורת ההיתוך של הטריגליצריד **מאורך חומצות השומן** המרכיבות אותו? אלו טריגליצרידים עליכם להשוות כדי לענות על כך?
ב. מה הסיבה לכך? נמקו ברמה החלקיקית.

4. א. כיצד מושפעת טמפרטורת ההיתוך של הטריגליצריד **ממידת הריוויון** (מספר קשרים כפולים) של חומצות השומן המרכיבות אותו? אלו טריגליצרידים עליכם להשוות כדי לענות על כך?
ב. מה הסיבה לכך? נמקו ברמה החלקיקית.

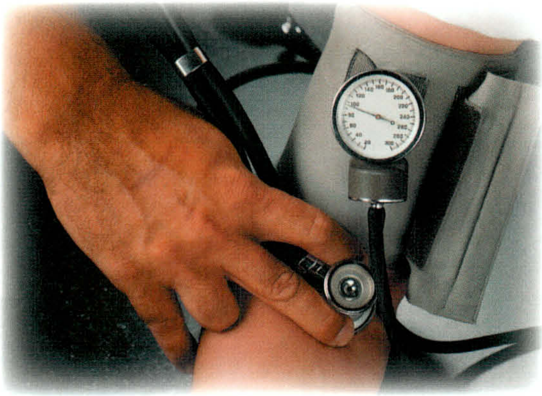
5. א. כיצד מושפעת טמפרטורת ההיתוך של הטריגליצריד **מהמבנה המרחבי** (איזומריית ציס-טרנס) סביב הקשר הכפול של חומצות השומן המרכיבות אותו? אלו טריגליצרידים עליכם להשוות כדי לענות על כך?
ב. מה הסיבה לכך? נמקו ברמה החלקיקית.

6. א. הטריגליצריד POP מכיל שתי חומצות שומן P ואחת O. רשמו באמצעות נוסחאות מבנה את תהליך קבלת הטריגליצריד. (ניתן להיעזר בטבלת חומצות השומן).
ב. טמפרטורת היתוך של הטריגליצריד POP היא $37^{\circ}C$. מדוע טמפרטורת היתוך זו נמוכה מטמפרטורת ההיתוך של הטריגליצריד: PPP, וגבוהה משל הטריגליצריד: OOO? נמקו ברמה החלקיקית.

כולסטרול

הכולסטרול נמנה עם השומנים המרכיבים את קרומי התא ועיקר חשיבותו בוויסות צמיגותם. לכולסטרול חשיבות רבה בפעילות תקינה של תהליכים ביוכימיים בגוף, בין היתר לייצור ויטמין D, הורמונים סטרואידיים וייצור מלחי מרה בכבד, המסייעים בעיכול שומנים.

מבחינה כימית, הכולסטרול שייך למשפחה גדולה של חומרים – סטרואידים, שאליהם שייכים גם הורמוני המין, קורטיזון, וויטמין D. הכולסטרול מיוצר בכל תאי הגוף, אך בעיקר בכבד. הכולסטרול מצוי אך ורק במזונות מן החי, בעיקר בחלמון ביצה ובאיברים פנימיים של בעלי חיים. אצל מרבית בני האדם, הכולסטרול שבמזון משפיע אך במעט על רמת הכולסטרול בדם. כשני שלישים מכמות הכולסטרול בדם מיוצרים בגוף עצמו ורמתו קבועה יחסית עקב פעילות של מנגנון וויסות עצמי בגוף. עם זאת, אכילת כמות רבה של מאכלים עתירי שומן וכולסטרול, מעלה גם את רמתו בדם. דבר זה עלול לגרום להיצרות כלי דם ולבעיות במערכת הלב ויתר לחץ דם.



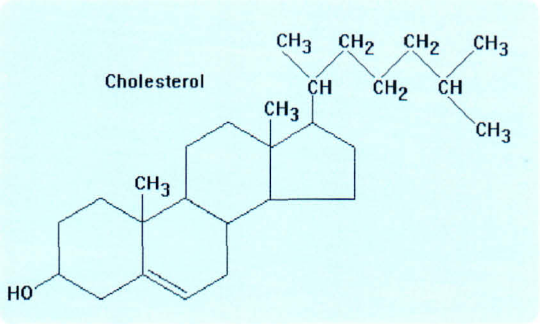
כ-93% מכמות הכולסטרול בגוף מצויים בתאים. שאר 7% נמצאים במערכת הדם. הכולסטרול, כמו שאר השומנים, איננו מסיס במים ולכן גם איננו מסיס בדם. בדם, מולקולות הכולסטרול והטריגליצרידים מצויים בתוך חלקיקים הקרויים "ליפופרוטאינים" (Lipoprotein). חלקיקים אלו בנויים מחלבונים ושומנים, וכך הם מסוגלים גם להתקשר למולקולות השומניות ולכולסטרול וגם להתמוסס בדם. הליפופרוטיאינים יכולים להיות בעלי גדלים שונים, לפי יחס החלבון והשומן בהם. אלו שהם בעלי מעט שומן ויותר חלבון, דחוסים יותר ומכונים: HDL (High Density Lipoprotein) החלקיקים בעלי יחס גבוה של שומן לעומת חלבון, פחות דחוסים ופחות צפופים, ומכונים: LDL (Low Density Lipoprotein) בתאי הגוף קיימים קולטנים (receptors) מיוחדים, המזהים חלקיקי LDL ו"מאפשרים" את כניסתם לתאים. כמות קולטנים אלו בתאים נקבעת באופן תורשתי. לכן, אצל אנשים שלהם כמות קטנה יחסית של הקולטנים, פחות חלקיקי LDL ייכנסו לתאים וכמותם בדם תהיה גבוהה יותר. אנשים אלו יהיו בעלי רמת כולסטרול (המבוטא ביחידות LDL) גבוהה בדם, דבר המהווה גורם סיכון למחלות כלי דם ומעלה את הסיכון להתקפי לב.

לעומת זאת, חלקיקי HDL נספגים בתאים ובכך מקטינים את כמות הכולסטרול בדם. עודף HDL מגיע לכבד ושם מתפרק, מולקולות הכולסטרול "משתחררות" והתהליך מתחיל מחדש.

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

1. בהתייחס למידע המפורט לעיל:
   א. הכולסטרול - "טוב" או "רע"?
   ב. כיצד ייתכן שלאדם רזה, שאיננו אוכל מאכלים עתירי שומן וכולסטרול, תהייה רמת כולסטרול גבוהה בדם?
   ג. מיהו הכולסטרול המכונה "הטוב" ומיהו הכולסטרול "הרע"? מה דומה ומה שונה ביניהם?

2. בהתייחס למבנה מולקולת הכולסטרול המוצגת להלן:



   א. מהי נוסחתו המולקולרית של הכולסטרול?
   ב. לאיזו משפחה שייך הכולסטרול מבחינת מבנהו הכימי?
   ג. האם הכולסטרול יכול ליצור אסטר? אם כן, איזה חומר נוסף דרוש לשם כך? אם לא, הסבירו מדוע.

3. למרות שכ- 67% מהכולסטרול מיוצר בגוף ורק כ- 33% מקורו במזון, לסוגי המזון שאנו אוכלים יש השפעה מסוימת על רמת הכולסטרול בדם. בטבלה שלפניכם, פירוט של סוגי שומנים ממקורות מזון שונים והשפעתם על רמת הכולסטרול בדם.

סוג חומצות השומן	מקורות במזון	השפעה על רמת כולסטרול בדם
חד- לא רוויות	זיתים, שמן זית, שמן קנולה, אגוזים, שקדים, אבוקדו	מוריד את רמת ה- LDL מעלה את רמת ה- HDL
רב-לא רוויות	תירס, פולי סויה, שמן חמניות, שמן פשתן, דגים	מוריד את רמת ה- LDL מעלה את רמת ה- HDL
רוויות	חלב מלא, חמאה, גבינה, גלידה, בשר אדום, שוקולד, קוקוס.	מעלה את רמת ה- LDL מעלה את רמת ה- HDL
טרנס	רוב המרגרינות, צ'יפס מטוגן, רוב מוצרי מזון מהיר, דברי מאפה מוכנים.	מעלה את רמת ה- LDL

   א. לפי הטבלה:
      I. אלו סוגי חומצות שומן רצויות במזוננו ואלו לא? מדוע?
      II. שוקולד - "טוב" או "רע"? נמקו.
   ב. חפשו באתר של Harvard School of Public Health בכתובת: http://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/fats.html טבלה המציגה את הרכב חומצות השומן בשמנים ושומנים. לפי טבלה זו, מהם השמנים המומלצים ביותר למאכל ומהם השמנים הפחות מומלצים? נמקו.

4. חפשו וסכמו בקצרה נקודות מרכזיות הקשורות בגילוי הכולסטרול ובקשר שלו לפרס נובל בשנת 1964, לפי האתר של הפקולטה לכימיה באוניברסיטת בריסטול באנגליה, בכתובת:
http://www.chm.bris.ac.uk/webprojects2003/hails/web1.htm

5. היכנסו לאתר האוכל של וואלה, בכתובת: http://food.walla.co.il/?w=/917/642940
וענו על השאלה: מדוע דיאטה נטולת כולסטרול אינה טובה וגורמת לעיתים להעלאה של רמת הכולסטרול בדם?

פעילות כימית של חומצות שומן

פעילותן הכימית של חומצות השומן הלא רוויות תלויה במיקום הקשרים הכפולים ובמספרם במולקולה. הפעילות גדלה כאשר מספר הקשרים הכפולים במולקולה גדל, בתנאי שמתקיים אחד מהתנאים הבאים:

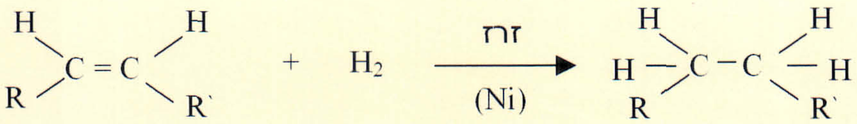
- בין הקשרים הכפולים קיימת קבוצת $-CH_2$ אחת, מצב הנקרא "הפרעת מתילן" (ראו איור 5: מצבים אפשריים למיקום קשרים כפולים במולקולה).
- בין הקשרים הכפולים קיים רק קשר בודד אחד C–C, מבנה הנקרא קשרים כפולים מצומדים (ראו איור 5) מצב זה נדיר בחומצות שומן.

אם הקשרים הכפולים מרוחקים האחד מהשני (שתי קבוצות $-CH_2$ או יותר), הפעילות גדולה רק במעט יותר מאשר בחומצה שומנית שבה קיים רק קשר כפול אחד. הבדלים אלו משמעותיים כאשר מתרחשים תהליכי חימצון עצמי או סיפוח.

סיפוח אטומי מימן לקשר הכפול - הידרוגנציה

הזרמת גז מימן, בנוכחות זרז מתאים (בדרך כלל מתכת ניקל Ni) מעל חומצות שומן לא רוויות, גורמת לפתיחת הקשרים הכפולים, סיפוח של אטומי מימן, וכתוצאה מכך - לקבלת חומצות שומן רוויות.
תיאור סכמאטי של התהליך מוצג באיור 9.

איור 9: תהליך הידרוגנציה - סיפוח מימן לקשר כפול בחומצות שומן



R, R' מייצגים קבוצות אלקיליות

לתהליך ההידרוגנציה חשיבות רבה בייצור מזון, כיוון שזו הדרך להפוך שמנים נוזליים למוצקים בטמפרטורת החדר, ועל כך מבוסס תהליך ייצור המרגרינה.
קבלת חומצת שומן רוויה מחומצת שומן לא רוויה, הופכת את חומר הגלם הנוזלי (שמן) לתוצר מוצק ובעל טמפרטורת היתוך גבוהה יותר. מידת המוצקות והעלייה בטמפרטורת ההיתוך תלויות בכמות הקשרים הלא-רוויים שנותרו בתוצר. ככל שמספרם נמוך יותר, כך טמפרטורת ההיתוך ומוצקות התוצר גדלות.

"הקרב" בין החמאה למרגרינה

חמאה מיוצרת מחלב על ידי החבצת השמנת. בתהליך זה, שומני החלב (המכילים חומצות שומן קצרות רוויות) מתמזגים ומתקבל מרקם מוצק. הנוזל שנותר משמש לשתיה ומוכר בשם רוויון (Buttermilk). החמאה מכילה 80% שומן, פחות מאחוז אחד של חלבון, מינרלים וויטמינים, והשאר - מים. החמאה, המיוצרת מן החי, מכילה ריכוז גבוה של חומצות שומן רוויות ולכן נחשבת כמעלה את הסיכון להתקפי לב.

הכנת מרגרינה החלה עם הכרזתו של נפוליאון ה- III בשנת 1869 על תחרות להכנת שומן זול ועמיד, שיחליף את החמאה עבור מעמד הפועלים בכלל והצבא בפרט. הכימאי Hippolyte Mege-Mouries, שזכה בתחרות, פיתח שיטה להכנת תחליף לחמאה, המיוצר על ידי תערובת של חלב ושומן בקר. כיום, ייצור המרגרינה מורכב הרבה יותר ומבוסס על שמני מאכל ותוספים. התהליך כולל הרווית הקשרים הכפולים בחומצות השומן שבשמן על ידי הזרמת מימן בנוכחות זרז (ניקל). תהליך זה נקרא "הידרוגנציה" והוא מתבצע בטמפרטורה ובלחץ גבוהים (2-10 אטמוספירות וטמפרטורה שבין 160-220 מעלות צלזיוס). באמצעות הלחץ, הטמפרטורה וכמות המימן המוזרמת, ניתן לשלוט במהלך התהליך על כמות הקשרים הכפולים שתישאר בסיומו. ככל שמספר הקשרים הכפולים קטן יותר, המרגרינה שתתקבל תהייה קשה יותר. כמו כן, מוסיפים ויטמינים מסיסים בשומן (A, D ו- E), חומר צבע (בטא-קרוטן) ומלח.

בזמן תהליך ההידרוגנציה, חלים שינויים לא רצויים בחומצות השומן. מתברר, שחלק מהקשרים הכפולים שנשארים בסיום התהליך עוברים ממבנה ציס (המבנה הטבעי) למבנה טרנס, וכן יש "נדידה" של חלק מהקשרים הכפולים למצב לא טבעי בשרשרת של חומצות השומן.
אם כי אין הוכחה חד משמעית לנזקים בריאותיים הנובעים מנוכחות של חומצות שומן טרנס במזון, הרי שבהיותן לא טבעיות, נחשבות כיום חומצות שומן טרנס לגורם סיכון בהתקפי לב וסרטן. (ראו פירוט על חומצות שומן במבנה טרנס בסעיפים קודמים בפרק).
מרגרינה מכילה אחוז גבוה של חומצות שומן מסוג טרנס, ובמרגרינות תעשייתיות (המשמשות במאכלים מעובדים רבים, בעיקר בצקים, צ'יפס מוכן וכדומה) כמותן מגיעה לשיעור גבוה הרבה יותר. זו הסיבה למגמה הרווחת בשנים האחרונות, להעדיף צריכת חמאה על מרגרינה, ועל שתיהן עדיף - לצרוך שמן.

בתעשיית המזון בעולם נערכים בשנים האחרונות מחקרים רבים, שמטרתם לפתח טכנולוגיות חדשניות, הכוללות גם שימוש באנזימים שונים, להקשיית שמנים, בתהליכים אשר לא נוצרות בהם חומצות שומן טרנס.

תרגיל 8: הקשר בין מבנה ותכונות - המאה לעומת מרגרינה

1. הסבירו ברמה החלקיקית את ההיגדים הבאים אודות ייצור מרגרינה:
   - בתהליך ייצור מרגרינה מתרחש תהליך של הרווית קשרים כפולים;
   - ככל שכמות הקשרים הכפולים קטנה יותר, המרגרינה שתתקבל תהיה קשה יותר.

2. הוויטמינים, שאותם מוסיפים בתהליך ייצור המרגרינה, מסיסים בשומן. האם לדעתכם יש להוסיפם בתחילת התהליך (לפני ההידרוגנציה) או בסיומו? הסבירו ברמה המולקולרית.

3. כיצד תסבירו את העובדות הבאות: מרגרינה רכה (למריחה) מכילה אחוז נמוך יחסית של חומצות שומן מסוג טרנס ומרגרינה קשה (זו הנמכרת בעטיפות הנייר) מכילה אחוז גבוה בהרבה, ואילו השמן ממנו מיוצרות המרגרינות איננו מכיל כלל חומצות שומן מסוג טרנס?

4. למרות שמשתמשים במרגרינה כבר שנים רבות, מדוע לדעתכם עדיין אין מידע חד-משמעי לגבי הסיכונים הבריאותיים הכרוכים בנוכחות חומצות שומן טרנס במזון?

5. בשנים האחרונות נעשו ניסיונות למצוא פיתרון לתהליך ההידרוגנציה, הגורם ליצירת חומצות שומן מסוג טרנס. אחד הפתרונות הוא פטנט ישראלי חדש, לפיו מייצרים מרגרינה משומן צמחי בתהליך חדשני הנקרא (Pure Natural Process) PNP, ואשר מיושם בייצור מרגרינה "ויקול" של חברת "אוליביה".
   לפי המידע בטבלה המצורפת, המשווה בין שני סוגי מרגרינה, לאלו תכונות תצפו משני סוגי המרגרינה? התייחסו בתשובתכם לרמת התופעה (הרמה המאקרוסקופית) ולרמה החלקיקית בהקשר לקשיות המרגרינה, זמן מדף (זמן תפוגת המוצר למאכל), היבט בריאותי.

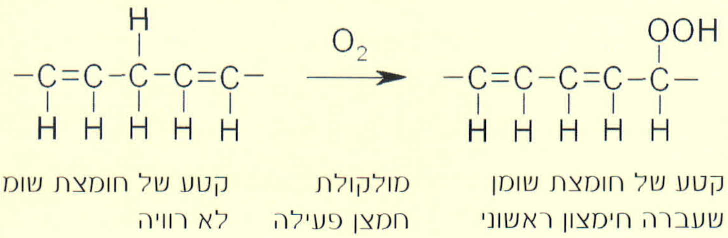
טבלת השוואה בין שני סוגי מרגרינה (לקוחה מאתר של חברת אוליביה, 2005: www.Olivia.co.il):

	מרגרינה ViCOL של אוליביה	מרגרינה מזולה
סוגי שמנים	שמן זית / קנולה	שמן דקלים / תירס
% שומן	22% - 18.5%	70%
שומן רווי (גרם ב- 100 גר' מוצר)	4-5.3	20.2
חומצות שומן טרנס	-	פחות מ- 2%
קלוריות (ל- 100 גר' מוצר)	227	630
סיבים תזונתיים	21%-25%	-

חימצון עצמי של הקשר הכפול והוספת חומרים נוגדי חמצון - אנטיאוקסידנטים

הקשרים הכפולים בחומצות השומן נוטים לעבור חימצון עצמי עקב "התקפה" של מולקולות חמצן פעילות מאוד מבחינה כימית. מולקולות חמצן פעילות נוצרות עקב השראה של קרינה (למשל, קרינת שמש). כתוצאה מכך, חל שינוי מסוים בסידור האלקטרונים במולקולה והיא הופכת מעוררת ופעילה מאוד מבחינה כימית. מולקולת חמצן פעילה זו יכולה "להתקיף" קשר כפול, כפי שמתואר באיור 10.

איור 10: תחילת תהליך חימצון עצמי של הקשר הכפול בחומצת שומן



מולקולה של חומצה שומנית, המכילה אטומי חמצן (כמתואר באיור 10), איננה יציבה. היא מתפרקת למולקולות ולרדיקלים חופשיים* קצרים יותר. התהליך ממשיך ומעורבים בו גם רדיקלים חופשיים של חומצות שומן וגם מולקולות רגילות של חומצות שומן. הרדיקלים החופשיים של חומצות השומן ממשיכים בתהליך חימצון השמן שמתפתח ומניע את עצמו.

מהירות תהליך החימצון העצמי תלויה במספר הקשרים הכפולים במולקולה. מהירות החימצון העצמי בחומצה לינולאית, בעלת שני קשרים כפולים, הוא פי 10 מאשר בחומצה אולאית, בעלת קשר כפול אחד. בחומצה לינולנית, בעלת שלושה קשרים כפולים, מהירות החימצון העצמי גדולה פי 25 מאשר בחומצה אולאית.

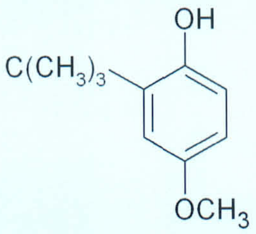
מניעת החימצון העצמי של חומצות שומן הינה בעלת חשיבות רבה בייצור מזון ושימורו, מכיוון שהתהליך גורם לבאוש המזון. הדבר מתבטא בריח רע ובטעמי לוואי מרירים ולא רצויים. כמו כן, יש אובדן של הערך התזונתי של חומצות שומן חיוניות לגוף, נוצרים חומרים רעילים, ולעיתים נוצרים גם חומרים בעלי צבע הפוגמים במוצר.

הוספת חומרים נוגדי חימצון, **אנטיאוקסידנטים**, למזון כדי למנוע את באושו, נעשית מזה שנים רבות, אך רק לאחרונה הובנו חשיבותם ומנגנון פעולתם. האנטיאוקסידנטים, שבהם משתמשים מזה אלפי שנים, הם התבלינים השונים המוספים למזון. מרווה, ציפורן, רוזמרין ועימין מכילים תרכובות פנוליות, הדומות במבנה שלהן לתרכובות אותן מוסיפים כיום למזון כאנטיאוקסידנטים. גם וויטמין E פעילות מונעת חימצון במזון. התרכובות, המשמשות כחומרים נוגדי חימצון, עוברות בעצמן את תהליך החימצון ויוצרות רדיקל יציב יחסית. בכך, הן גורמות להאטה, ולעיתים אף לבלימה, של תהליך החימצון של מולקולות חומצות השומן.

* רדיקל חופשי הוא חלקיק (אטום, יון, מולקולה), המכיל אלקטרון בלתי מזווג ופעיל מאוד מבחינה כימית.

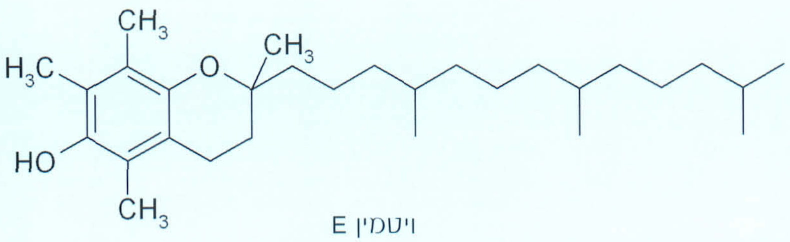
תרגיל 9: הקשר בין מבנה ותכונות האנטיאוקסידנטים

1. החומרים נוגדי החימצון בהם נוהגים להשתמש בייצור מזון הם: BHA ו- BHT.
(Butylated Hydroxyanisole ו- Butylated Hydroxytoluene בהתאמה).
ויטמין E פועל כחומר נוגד חימצון טבעי בגוף. להלן המבנה של חומרים אלו:



BHA

BHT



ויטמין E

מה משותף לשלושת החומרים האלו, המשמשים כאנטיאוקסידנטים?

2. הדרך הטובה ביותר לשמור שמן מאכל בבית היא בבקבוק זכוכית ובמקום חשוך, ולא בבקבוק פלסטיק חשוף לאור. הסבירו מדוע.

3. בבית נוהגים לטגן בשמני מאכל. בתעשייה, לרוב, לא מטגנים בשמנים אלו, אלא נוהגים להקשותם לפני כן. הסבירו מדוע תוך התייחסות לקשר שבין רמת התופעה והרמה החלקיקית של החומר.

4. בשמנים הנמכרים לצריכה ביתית, לא מוסיפים חומרים נוגדי חימצון. לעומת זאת, בתעשיית המזון, בעיקר בשמנים לטיגון, מוסיפים חומרים נוגדי חימצון. מדוע?

תרגיל 10: חקר אירוע - אנטיאוקסידנטים

שוקולד - חטיף בריאות חדש נולד?

עד לא מזמן, נחשב השוקולד, אותו אוכלים ילדים ומבוגרים בהנאה כה רבה, לממתק משמין המסב נזק לשיניים. בתקופה האחרונה הולך ומשתנה המוניטין של השוקולד "המושמץ". יש מדענים, הטוענים על סמך מחקרים שונים, כי לשוקולד תרומה בריאותית בהורדת הסיכונים למחלות לב וכלי הדם. כיצד קרה שינוי מהפכני זה בגישת המדענים לשוקולד?

במחקרים שונים נמצא, כי אבקת הקקאו, המופקת מפולי עץ הקקאו ואשר ממנה מיוצר השוקולד, מכילה מיגוון רחב של חומרים נוגדי חימצון, הנקראים **פלבונואידים**. תרכובות נוגדות חימצון אלו מגינות מפני חימצון שומנים בדם. תגובות חימצון השומנים בדם תורמות להתפתחות מחלת טרשת העורקים, אשר הינה גורם התחלואה והתמותה העיקרי בעולם המערבי. מחלה זו מאופיינת בהצטברות רובד טרשתי, המכיל כולסטרול בדופן העורק .

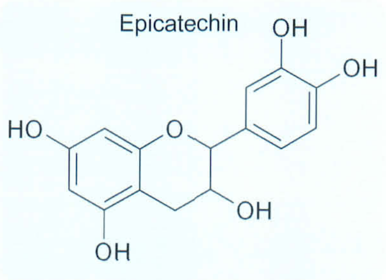
במחקר, שנערך באוניברסיטת קליפורניה, הוזנו מתנדבים בכמויות שונות של שוקולד מריר. נמצא, כי בדמם של משתתפי המחקר, אשר צרכו את כמויות השוקולד הגבוהות ביותר, הייתה הרמה הגבוהה ביותר של פלבונואיד ייחודי לשוקולד, הנקרא Epicatechin. החוקרים הבחינו, שצריכת שוקולד מוגברת הגדילה את הכמות הכוללת של חומרים נוגדי חימצון בדם והקטינה את הנזק של שומנים בדם. תוצאות אלו הובילו למסקנה, כי צריכה קבועה של שוקולד עשויה לסייע במניעת מחלות הקשורות ללב ולכלי הדם.

מעובד לפי: Science News, Vol. 157, 18 March 2000, pages 188-189

1. במידע שקראתם, שלוש פיסקאות. תנו כותרת לכל פיסקה, אשר תסכם את המידע המרכזי המובא בה.

2. נסחו שתי שאלות, המתעוררות בעקבות קריאת האירוע, ושאין עליהן תשובה בקטע.

3. לפניכם נוסחת המבנה של הפלבנואיד המצוי בשוקולד - Epicatechin:



א. כל קודקוד בטבעות המשושות מייצג אטום פחמן. מהי הנוסחה המולקולרית של Epicatechin, בהתבסס על נוסחת המבנה הנתונה (יש לקחת בחשבון אטומי מימן נוספים שאינם מצוירים)?

ב. במה דומה מבנה ה- Epicatechin למבנה אנטיאוקסידנטים אחרים (לדוגמה, אלו המופיעים בתרגיל 9)?

ג. ב- Epicatechin שני סוגים של קבוצות פונקציונאליות.

I. מהן קבוצות אלו?

II. ציירו נוסחת מבנה אפשרית למולקולה קווית בעלת חמישה אטומי פחמן המכילה את שתי הקבוצות הפונקציונאליות אשר זיהיתם ב- Epicatechin.

III. השוו את טמפרטורת הרתיחה של Epicatechin ושל החומר שציירתם בסעיף הקודם והסבירו את ההבדל ביניהם.

4. בירקות ובפירות, המכילים אף הם חומרים נוגדי חימצון (כולל פלבנואידים), יש מרכיבים תזונתיים נוספים, כמו סיבים תזונתיים, ויטמין C ובטא קרוטן. לאור זאת, האם נכון, לדעתכם, להמליץ על הוספת שוקולד לדיאטה היומית שלנו כדי לשפר את מצב הלב? נמקו. (רמז, היעזרו גם במידע אשר בטבלה הנתונה בשאלה 3 בתרגיל 7).

שמני מאכל

כולנו משתמשים בשמני מאכל שונים מדי יום אך רובנו לא יודעים מה יש בשמן הצלול והבהיר אותו אנו צורכים וכיצד הוא מופק. קיימות שתי דרכים עיקריות לייצור שמן מאכל:

1. הפקת שמן מזוכך באמצעות ממס אורגני.
2. הפקת שמן בתהליך של כבישה קרה, בעיקר להפקת שמן זית.

הפקת שמן מאכל מזוכך

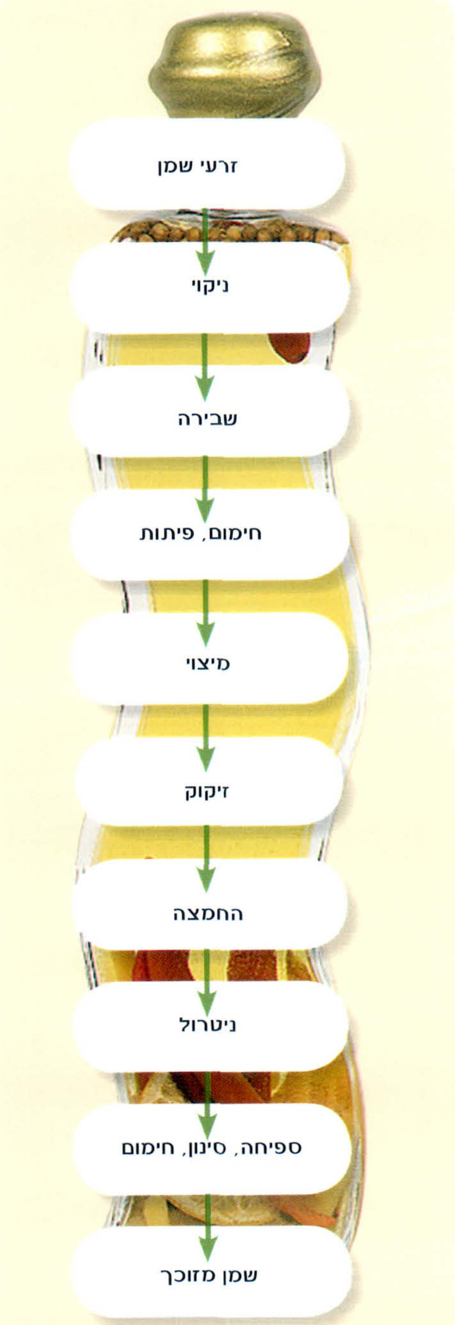
בשיטה זו, מייצרים שמן מאכל בעיקר ממקורות צמחיים, בין השאר מסויה, תירס, חריע, חמניות, ליפתית (קנולה*), כותנה ובוטנים. השמן מצוי בדרך כלל בזרעים של הצמחים (שמכילים 20-50% שמן) והם מכונים זרעי שמן.

מרבית השמנים הצמחיים מורכבים מטריגליצרידים, המכילים חומצות שומן חד ורב בלתי רוויות, הכוללות קשרים כפולים רבים. אי רוויון גבוה של חומצות השומן גורם לאי יציבות השמן עקב נטייתו להתחמצן. כדי להאריך את חיי המדף של השמנים, משתמשים בתהליך רב-שלבי, אשר בסופו מתקבל שמן מזוכך. תהליך זה אכן מאריך את חיי המדף של השמן, אך גם גורם לאיבוד מרכיבים תזונתיים חשובים, בעיקר אנטיאוקסידנטים טבעיים הקיימים בצמח ממנו מופק השמן.

באיור 11 מתוארים השלבים העיקריים להפקת שמן סויה. שלבים אלה אופייניים להפקת מרבית שמני המאכל המזוככים. בתחילת התהליך, עוברים זרעי השמן ניקוי מכני במטרה להרחיק גרגירי חול, אבנים וחלקי מתכות.

לאחר מכן, עוברים הזרעים תהליך של שבירה והרחקת הקליפות. תכולת הזרעים מחוממת ל- 65-70 מעלות צלזיוס על מנת לגרום לניזול השמן וכדי להרוס אנזימים שונים המחישים את פירוק השמן.

בשלב זה, החומר נמעך לשם יצירת פתיתים (תהליך פיתות) לצורך הגדלת שטח הפנים.



איור 11: תהליך כללי להפקת שמן סויה

* שמן קנולה עשוי מצמח הליפתית. אין צמח בשם "קנולה" ושמו של השמן הוא בעצם קיצור של צירוף המילים: "קנדיאן אויל", מאחר שהקנדים נוהגים לייצא אותו.
בשמן קנולה שאינו בפיקוח עלול להיות אחוז גבוה של חומצה ארוסית המסוכנת לבריאות.

כדי **למצות** שמן רב יותר מהזרעים, שוטפים את הפתיתים בממס אורגני, בדרך כלל הכסאן חם. מתקבלת תערובת של שמן וממס. שאריות זרעי הצמח (כוספה) מורחקות בשלב זה והן משמשות בעיקר להזנת בעלי-חיים אך גם בתעשיית מזונות מעובדים שונים, כגון תחליפי בשר המבוססים על חלבון סויה.

תערובת השמן והממס עוברת חימום בוואקום, להפרדתו והרחקתו של הממס **בזיקוק**. מתקבל שמן גולמי. לשמן זה מוסיפים תמיסה מהולה של **חומצה** (H_3PO_4) ותערובת הפוספוליפידים, המכונה לציטין מסחרי, עוברת לפאזה המימית ומופרדת מהשמן בצנטריפוגה. הלציטין הינו בעל חשיבות רבה בתעשיית המזון בין השאר, במוצרי שוקולד, מיני מאפה, גלידה, מיונז, ממתקים ועוד.
בשלב זה, השמן הגולמי מחומצן והוא בעל טעם וריח לא נעימים. הדבר נובע בחלקו מנוכחות חומצות שומן חופשיות. כדי **לנטרל** את החומציות, מוסיפים חומר בסיסי (בדרך כלל, סודה קאוסטית, NaOH). מכיוון שצבע השמן כהה מדי, יש להבהירו. לשם כך מוסיפים אדמת ביהור - טיט מיוחד **הסופח** חומרי צבע. **מחממים** את השמן לטמפרטורה גבוהה (כ-230 מעלות צלזיוס), והמולקולות האחראיות לריחות מתאדות. **מסננים**, ומתקבל שמן מזוכך.

הפקת שמן בתהליך של כבישה קרה

שמן איכותי מיוצר בתהליך המכונה כבישה קרה. כבישה קרה מתייחסת להפקת השמן ללא חימום וללא תוספת של חומרים כימיים. הכבישה נעשית באבן ריחיים או באמצעי מכני דומה. בדרך זו, נשמרים הרכיבים התזונתיים הנמצאים בצמח המקורי שממנו הופק השמן. כל עוד נשמר השמן במקום קריר ואפל, ערכו וטעמו נשמר, אך כאשר הוא נחשף לאור ולאוויר, הוא מתקלקל.
בעוד שכבישה קרה מתייחסת למיצוי השמן בטמפרטורה שאינה עולה על 30 מעלות צלזיוס, ללא חימום וללא תוספת של חומרים כימיים, כבישה חמה מתייחסת למיצוי השמן בתהליך חימום בטמפרטורה גבוהה. בתהליך זה ניתן להפיק יותר שמן וכמובן שזה מוזיל את המוצר, אך פוגע בטעם השמן ובאיכותו. את המושג "כבישה חמה" לא נראה על תווית בקבוק השמן, אך אם לא מצוין אחרת, השמן מוצה בכבישה חמה.
שמן זית ושמן אגוזי לוז מופקים בדרך כלל בכבישה קרה. הם מכילים אחוז גבוה של חומצות שומן חד-בלתי רוויות ונחשבים כמועילים לבריאות.

שמן זית

לשמן זית איכויות שונות המוגדרות על-ידי תקן בינלאומי וישראלי. התקן מתייחס לשמן זית כתית (VIRGIN). זהו שמן זית, שהופק אך ורק בתהליך מכני (בכבישה), לא עבר טיפול כימי, והוא לא עורבב עם שמן זית שהופק בתהליך אחר.

ישנם כמה סוגים של שמן זית כתית,לפי דרגת החומציות שלו. חומציות השמן נובעת מתהליכי פירוק הגורמים לקבלת חומצות שומן חופשיות*. קיימות שלוש דרגות של שמן זית:

1. שמן זית כתית מעולה – EXTRA VIRGIN – שבו דרגת החומציות אינה עולה על 1%.
2. שמן זית כתית משובח – FINE VIRGIN – שבו דרגת החומציות היא 1 – 1.5%.
3. שמן זית כתית – VIRGIN – שבו דרגת החומציות היא עד 3.3%.

שמן זית שבו דרגת חומציות גבוהה מ- 3.3% אינו ראוי למאכל. שמן זית זה יכול לשמש למאור או לתעשיית סבונים.

התווית: "שמן זית מזוכך" מעידה על כך, ששמן הזית עבר טיפול כימי, שבו נסתרה חומציותו היתרה ונספגו הריחות הרעים באמצעים כימיים. זהו שמן זית מזוכך עם תוספת של 10%- 30% שמן זית כתית, שהוסף לצורכי טעם וריח. בדרך זו, מתקבל שמן זית עם חומציות נמוכה. כמובן, שאיכותו של שמן זה נמוכה יחסית לאיכותו של שמן זית כתית.

כאשר קונים פח שמן, במיוחד שמן זית, ומשתמשים בו לאורך זמן, יש לדעת כי בכל פעם שפותחים את פח השמן נכנס לתוכו אוויר שגורם לחימצון השמן ולקילקולו. אם קונים פח שמן, רצוי לחלק אותו לבקבוקי זכוכית כהים קטנים, כדי למנוע ככל האפשר חדירת חמצן ואור המזרזים את חימצון השמן. אפשר לשמור שמנים בטמפרטורת החדר, אך רצוי יותר לשמרם במקום קריר וחשוך. אפשר לשמור שמנים בכבישה קרה גם במקרר.

* חומצות שומן חופשיות מהוות מדד לאיכות השמן. ראו ניסוי בהקשר זה בנספח 2.

פחמימות לטוב ולרע

מטרות הפרק

היבט כימי	• הכרת המבנה הכימי של סוכרים ומיונם לחד-סוכרים, דו-סוכרים ורב-סוכרים
היבט תזונתי	• הכרת הפחמימות כמרכיב משמעותי במזון • משמעות צריכת פחמימות מורכבות לעומת פחמימות פשוטות
היבט חברתי/ אישי	• הבנת המשמעות (כצרכן וככימאי) של דבש טהור לעומת דבש מזויף • הכרת מחלה הקשורה בפחמימות

תכנים ומושגים מרכזיים

היבט כימי	• קבוצות פונקציונליות בסוכרים: כהל, אלדהיד, קטון • נוסחת פישר ושיטת היוורת לייצוג סוכרים • אנומרים ותהליך מוטרוטציה • איזומריה אופטית בחד-סוכרים (הרחבה) • קשר גליקוזידי ותגובת דחיסה לקבלת דו-סוכר • מבנה עמילן ומבנה תאית (צלולוז)
היבט תזונתי	• ערך גליקמי של פחמימות • דרגת מתיקות של סוכרים שונים ומשמעותה במזון • הרכב סוכרים בפירות וירקות שונים • עמילן כמקור לסירופ סוכר • סיבים תזונתיים
היבט חברתי/ אישי	• דבש מזויף – מה ההבדל בינו לבין דבש טהור? • מחלות של אגירת גליקוגן

מה אנו יודעים על פחמימות?

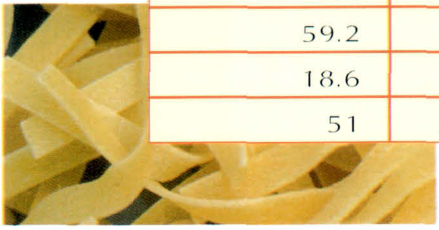
ידע מקדים

1. אלו סוגי פחמימות הנכם מכירים?
2. אלו סוגים של פחמימות טובים לגופנו ואלו עלולים להזיק לבריאותנו ומדוע?
3. מהו טעמן של הפחמימות? האם לכולן טעם זהה?
4. מה ההבדל בין סוכר ביתי רגיל לבין הסוכר בחלב אם?

ניתוח מידע מטבלה וגרף

1. בטבלה שלפניכם מוצג שיעור הפחמימות (באחוזים) במזונות שונים. הפחמימות מחושבות כצירוף של הסוכרים השונים יחדיו.

מאכל	אחוז הפחמימות	מאכל	אחוז הפחמימות
בשר	0.1	מיץ תפוזים	8.2
דבש	82.3	צימוקים	59.2
סירופ מייפל	65.5	בוטנים	18.6
חלב	4.9	מזון תינוקות	51



א. האם בטבלה מוצגים נתונים אשר הפתיעו אתכם? הסבירו מדוע.

ב. מזון תינוקות מכיל יותר מ- 50% סוכר. עם זאת, הוא בעל מתיקות נמוכה. כיצד תוכלו להסביר עובדה זו?

2. בתזונה הממוצעת שלנו, הפחמימות תורמות למחצית תצרוכת הקלוריות היומית. מקור הפחמימות בתזונתנו הוא בעיקר בשבעה סוגי מזון: לחם (15%), משקאות קלים (9%), דברי מאפה שונים (7%), סוכר, סירופים וריבות (6%), תפוחי אדמה (5%), דגני בוקר (5%) וחלב (5%).

א. הציגו נתונים אלו בגרף מתאים. ציינו כותרות לצירים ולגרף.

ב. נסחו שאלה המתעוררת מניתוח המידע שבגרף ונסו לענות עליה.

אכילת פחמימות - "טובה" או "רעה"?

הפחמימות (מוכרות גם בשם סוכרים) הן משפחת החומרים האורגניים הנפוצה ביותר בעולם החי והצומח על פני כדור הארץ. התאית הינה הפחמימה המהווה את המרכיב המבני העיקרי של עצים וצמחים אחרים (75% מהמסה היבשה של הצמח).

הפחמימות מהוות מקור אנרגיה לגוף. מאז ומעולם, כללה תזונת האדם פחמימות מהיותן זמינות: הן מצויות בשפע בזרעי הדגנים למיניהם וגם בירקות ופירות. עד היום, הפחמימות הן מקור המזון העיקרי בכל העולם, בזכות עלותם הנמוכה של מזונות המכילים אותן, ובזכות העובדה שאת חלק ממזונות אלה אפשר לאחסן לאורך זמן.

מרכיב המזון העיקרי הנצרך על ידי האדם הוא עמילן, המספק כ-50% מצריכת הקלוריות היומית. גוף האדם מסוגל לייצר פחמימות ממרכיבי מזון אחרים, כגון חלבונים ושומנים. עודפי הפחמימות בגוף נאגרים בצורת גליקוגן אשר משמש בשעת הצורך להפקת אנרגיה.

בעבר נהגו למיין את הפחמימות לשני סוגים: פחמימות פשוטות ופחמימות מורכבות. הפחמימות הפשוטות נספגות במהירות בדופן המעי ומספקות לנו אנרגיה מידית. עודפים של פחמימות פשוטות, שהגוף אינו זקוק להן כמקור אנרגיה, הופכות בגוף לשומן בתהליכי חילוף חומרים, ולכן אינן רצויות. בין אלו נכלל גם הסוכר המוכר לנו משימוש ביתי. הפחמימות המורכבות הן מרכיב חשוב בתזונתנו. הן כוללות בעיקר עמילן המפורק במערכת העיכול לפחמימה פשוטה – גלוקוז, וכן תאית וסיבים תזונתיים אחרים, שמעשית אינם מתעכלים במערכת העיכול בגופנו. כיום, חולקים על מיון פשטני זה. לא כל הפחמימות הפשוטות מזיקות לנו ולא כל הפחמימות המורכבות חשובות ו"טובות" עבורנו.

מיון הפחמימות נעשה כיום בהתאם ל**ערך הגליקמי** שלהן, מדד להשפעתן של הפחמימות על רמת הגלוקוז (סוכר) בדם. מזונות פחמימתיים שונים, סוכרים לסוגיהם ועמילנים, מתעכלים במעי, נספגים לדם ומעלים בו את רמת הגלוקוז. אם הסוכר מתעכל, נספג במהירות והנו גלוקוז, או שהופך בקצב מהיר לגלוקוז, הוא מעלה במהירות ובמידה רבה את רמת הגלוקוז בדם. זהו סוכר בעל ערך גליקמי גבוה. כתוצאה מהעלייה המהירה ברמת הגלוקוז בדם, הגוף נאלץ להפריש כמות רבה של אינסולין לשם הורדת רמת הסוכר. רמת סוכר גבוהה בדם מזיקה בגלל תהליכים הפוגעים בחלבונים שונים, כמו המוגלובין בגוף. רמת אינסולין מוגברת בדם אינה רצויה וקשורה למחלת הסכרת ולמחלות נוספות. ככל שהערך הגליקמי של הפחמימה נמוך יותר, כך היא טובה יותר לבריאותנו וגורמת להרגשת שובע לטווח ארוך יותר.

בעקבות מחקרים שנערכו בעשרות השנים האחרונות, מומלץ על צריכת פחמימות יומית של 55%-60% מכלל צריכת האנרגיה היומית, בעיקר של פחמימות מורכבות. המלצה זו מבוססת על ההנחה, כי 40%-45% מכלל צריכת האנרגיה במזון מתקבלת מאכילת חלבונים ושומנים.

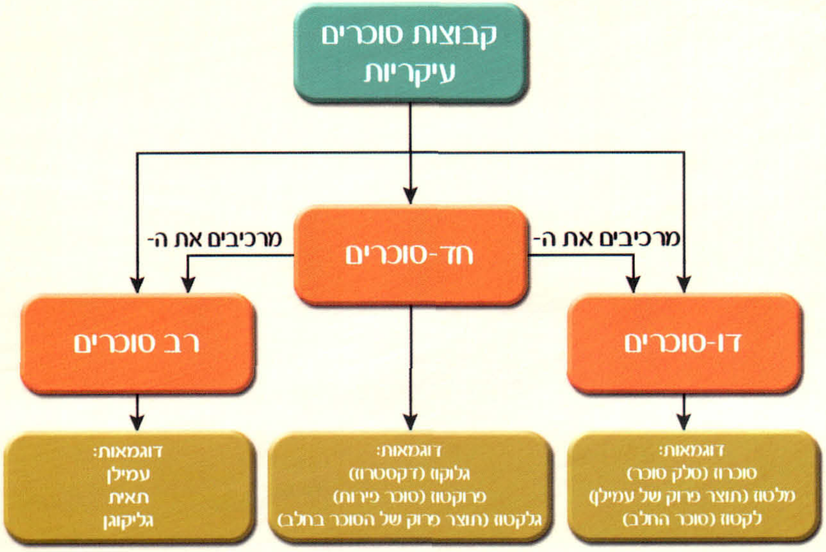
המבנה הכימי של פחמימות וסיווגן

הפחמימות הינן תרכובות הבנויות מאטומי פחמן, חמצן ומימן.

מקור השם פחמימה (Carbohydrate) נגזר מהמילים פחמן (Carbon) והידרט (Hydrate) – תרכובת המכילה מולקולות מים. שמן של הפחמימות נעוץ בהרכבן הכימי כיוון שבעבר סברו שהן מורכבות ממספר מסוים של אטומי פחמן וממספר זהה של מולקולות מים.

ניתן למיין את הסוכרים לשלוש קבוצות עיקריות: חד-סוכרים, דו-סוכרים ורב-סוכרים, כפי שניתן לראות באיור 1.

איור 1: מיון סוכרים לקבוצות עיקריות



חד-סוכרים

החד-סוכרים נקראים גם סוכרים פשוטים משום שאינם עוברים פירוק (באמצעות מים בתהליך הידרוליזה) לתרכובות או סוכרים פשוטים יותר. נוסחתם האמפירית היא $(CH_2O)_n$ כאשר $n \geq 3$.

מבחינה כימית, החד-סוכרים הם רב-כהלים (לפחות שתי קבוצות כהליות), המכילים גם קבוצה קרבונילית – אלדהיד או קטון.

סוכרים, שבמבנה המולקולרי שלהם מצויה קבוצת אלדהיד, מכונים **אלדוזות** (aldoses), ואילו סוכרים, שבמבנה המולקולרי שלהם כלולה קבוצה קטונית, מכונים **קטוזות** (ketoses).

חד-סוכרים נפוצים הם הגלוקוז והפרוקטוז. הסיומת **וז** מקובלת בעיקר עבור חד-סוכרים ודו-סוכרים והיא מציינת שהתרכובת היא סוכר.

בטבע, החד-סוכרים אינם מופיעים בדרך כלל כמולקולות בודדות, אלא כיחידות מבנה בדו-סוכרים, ברב-סוכרים או במולקולות מורכבות אחרות כגון חומצות גרעין.

תרגיל 1: "ישום ידע כימי - קבוצות פונקציונליות נפוצות בחד-סוכרים

פסק זמן לחשיבה על חשיבה... רמות הבנה בכימיה*

הכימאים נוהגים להתייחס למידע כימי במספר רמות הבנה.
התרגיל שלפניכם, כולל חמש שאלות, בהן נדרשות תשובות ברמות הבנה שונות.

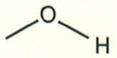
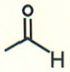
שימו ♥ שתשובותיכם הן אכן ברמות הבנה אלו.

בשאלה 1 הנכם מתבקשים לערוך השוואה בין האלדהיד לבין הקטון על פי נוסחאותיהם האמפיריות. תשובותיכם לשאלה זו מתייחסות לרמת הבנה אחת בכימיה - רמת הסמל.

שאלה 2 מתייחסת גם היא לרמת הסמל, תוך ביצוע מעברים בין נוסחת המבנה של החומר לבין נוסחת המבנה המפורטת שלו.
סעיף א' מתייחס למעבר בין רישום מקוצר של המולקולה לבין רישום מפורט בו מוצגים הקשרים בין כל אטום ואטום במולקולה.
סעיף ב' מתייחס לאיתור הקבוצה הפונקציונלית, כפי שהוצגה לפניכם באמצעות סמלים, מתוך נוסחת המבנה המפורטת שרשמתם.

שאלה 3 מתייחסת להבנת הקשר הקיים בין הסמל - נוסחת המבנה, לבין רמת החלקיקים - הסבר לגבי הקשרים הבין מולקולריים הקיימים בין מולקולות החומרים. הבנה זו תשפוך אור על רמת התופעה המתבטאת באמצעות טמפרטורות רתיחה שונות.

היעזרו במידע שבטבלה הבאה אודות קבוצות פונקציונליות של תרכובות אורגניות שונות כדי לענות על השאלות שבהמשך.

משפחת התרכובת	קבוצה פונקציונלית	נוסחה אמפירית של משפחת התרכובת
כהל		$C_nH_{2n+2}O$
אלדהיד		$C_nH_{2n}O$
קטון		$C_nH_{2n}O$

1. על פי הנוסחאות האמפיריות המוצגות בטבלה, מה משותף לאלדהיד ולקטון?

* הסבר על רמות הבנה בכימיה, ראו בנספח 1.

2. לפניכם נוסחאות של חמש תרכובות:

V	IV	III	II	I
$CH_3(CH_2)_3CHO$	$CH_3CH_2COCH_3$	CH_3CH_2OH	$CH_3CH(OH)CH_2CH_3$	CH_3CH_2CHO

א. ציירו נוסחת מבנה מפורטת לכל תרכובת וסמנו בה את הקבוצה הפונקציונלית.

ב. ציינו לגבי כל תרכובת האם היא שייכת למשפחת הכהלים, האלדהידים או הקטונים.

3. לאיזה מבין חמשת החומרים בשאלה 2, טמפרטורת הרתיחה הגבוהה ביותר? נמקו ברמה החלקיקית.

פסק זמן לחשיבה על חשיבה... רמות הבנה בכימיה

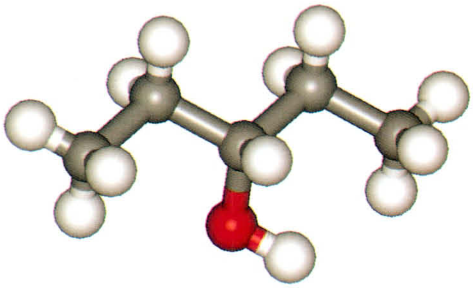
שאלה 4 מתייחסת לרמת הסמל ובודקת יכולת מעבר בין ייצוג מרחבי של מולקולות - מודל, לבין נוסחה מולקולרית ונוסחת מבנה מפורטת.

שאלה 5 מתייחסת לרמת הסמל ובודקת יכולת ביצוע מעברים בין מיגוון סמלים בהם משתמשים המדענים לשם ייצוג החומרים השונים. צורות הייצוג השונות כוללות נוסחה מולקולרית, נוסחת מבנה, נוסחת מבנה מפורטת, מודל וכן הבנת הקבוצה הפונקציונלית מתוך מיגוון צורות הייצוג.

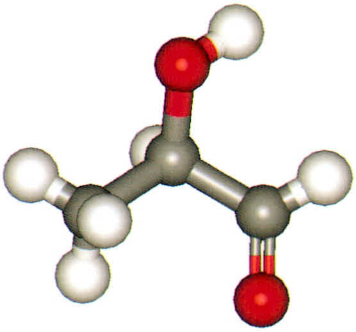
שימו ♥ שתשובותיכם אכן ברמות הבנה אלו.

4. רשמו את הנוסחאות המולקולריות ואת נוסחאות המבנה המפורטות עבור החומרים המוצגים להלן באמצעות מודלים של כדור-מקל:

מודל א

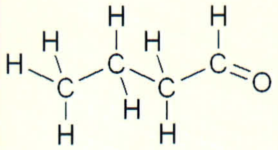
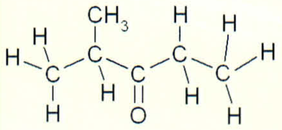
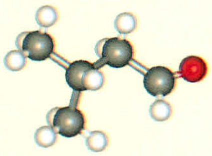
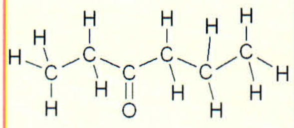


מודל ב



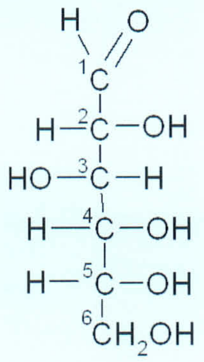
כדור אדום מייצג אטום חמצן; כדור אפור מייצג אטום פחמן; כדור לבן מייצג אטום מימן

5. הטבלה הבאה עוסקת בצורות ייצוג שונות של מולקולות. העתיקו את הטבלה למחברותיכם והשלימו אותה:

נוסחה מולקולרית	קבוצה פונקציונלית	נוסחת מבנה	נוסחת מבנה מפורטת	מודל כדור מקל
C_3H_8O או C_3H_7OH		$CH_3CH_2CH_2OH$		
		$CH_3CH_2CH_2CHO$		
				
$C_5H_{10}O$				
				
		$CH_3CH(OH)CH_2CHO$		

הגלוקוז

החד-סוכר המוכר ביותר הוא הגלוקוז (מיוונית: מתוק – glykis), מצוי בפירות רבים ובדבש. הגלוקוז משמש כמקור אנרגיה מרכזי לכל הרקמות בגוף האדם. הוא נספג במערכת העיכול ישירות מהמזון, או משתחרר במערכת העיכול מפירוק אנזימטי של הדו-סוכר סוכרוז, או מפירוק של הרב-סוכר עמילן. גלוקוז נוצר בגוף אף מפירוק הרב-סוכר גליקוגן הנאגר בכבד וברקמות שריר.
הגלוקוז מובל לאברי הגוף השונים באמצעות הדם ולכן הוא נקרא גם "סוכר הדם".
מולקולת הגלוקוז מכילה ששה אטומי פחמן והיא שייכת לקבוצת הסוכרים המכונים הכסוזות (הכסה = 6). גלוקוז עשוי להופיע גם במבנה של טבעת מחומשת אך בריכוזים נמוכים.
קיימים שני איזומרים של גלוקוז: D גלוקוז ו – L גלוקוז.
בפרק זה יתמקד הדיון באיזומר D גלוקוז בלבד *.



נוסחת פישר לייצוג D גלוקוז

שיטה נוחה לרישום סידור אטומי הפחמן במולקולות החד-סוכרים פותחה בידי אמיל פישר עוד במאה ה-19: את שרשרת אטומי הפחמן רושמים בצורה מאונכת, כך שאטום הפחמן מקבוצה אלדהידית יהיה כלפי מעלה (CHO במולקולת הגלוקוז) ואילו אטום הפחמן המחוזר ביותר יירשם בתחתית הנוסחה (CH_2OH במולקולת הגלוקוז).
מספור אטומי הפחמן מתבצע מלמעלה למטה.

תרגיל 2: הכרת מולקולת הגלוקוז

1. רשמו את הנוסחה המולקולרית של גלוקוז והשוו לנוסחה האמפירית של החד-סוכרים. מהו ה – n?
2. זהו ורשמו את הקבוצות הפונקציונליות שמכילה מולקולת הגלוקוז. איזו קבוצת אטומים ממוקמת על פחמן מספר 1? איזו קבוצת אטומים ממוקמת על אטומי הפחמן 6-2?
3. רק אטום פחמן אחד מבין אטומי הפחמן במולקולת הגלוקוז הוא מישורי. סמנו אותו והסבירו מדוע.
4. הגלוקוז שייך לקבוצת הסוכרים המכונים אלדוזות. נסו להסביר מדוע.
5. רשמו את תהליך המסת הגלוקוז במים. הסבירו, ברמה החלקיקית, מדוע מתמוסס הגלוקוז במים?

---

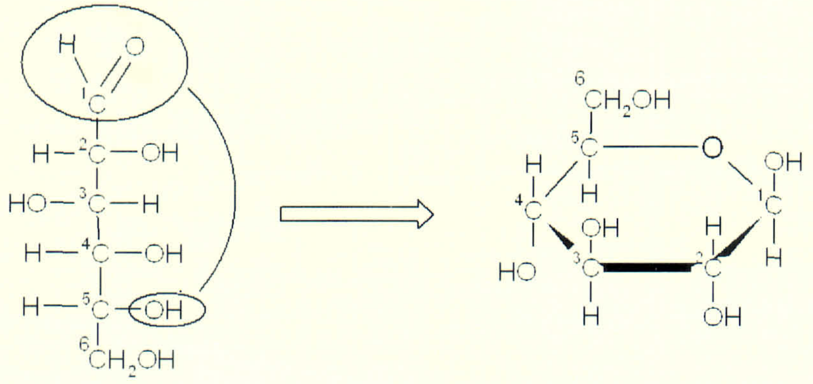
* הרחבה לגבי L גלוקוז ראו בהמשך, בנושא איזומריה אופטית.

טבעת ה - D גלוקוז

על פי רוב, חד-סוכרים, שבמבנה המולקולות שלהם חמישה אטומי פחמן ויותר, מצויים בתמיסה מימית במבנה טבעתי. כיצד נסגרת השרשרת לטבעת?

קבוצת האלדהיד על פחמן מספר 1 במולקולת הגלוקוז מגיבה עם הקבוצה הכהלית על פחמן מספר 5 לסגירת טבעת באמצעות יצירת קשרים קוולנטיים חדשים. כתוצאה מהתגובה, מתקבלת טבעת משושה הכוללת חמישה אטומי פחמן ואטום חמצן אחד. קבוצת ה- CH_2OH, שמקורה בפחמן מספר 6, נמצאת מחוץ לטבעת ונקראת **מתילול**. התהליך מתואר באיור 2.

איור 2: סגירת שרשרת גלוקוז לטבעת

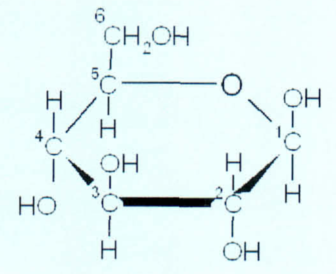


תרגיל 3: פעילות חקר באמצעות מודלים מפלסטיק - מבנה מולקולת הגלוקוז

שלב א'

1. נסו לבנות באמצעות מודל מפלסטיק את טבעת הגלוקוז המוצגת באיור 2.
2. השוו את המודל שבניתם למודלים שבנו חבריכם בכיתה. האם הם זהים לחלוטין? אם לא, במה הם שונים?

כפי שראיתם, קיימת יותר מאפשרות אחת לסידור קבוצות ה-OH ואטומי המימן ביחס למישור הטבעת. לסידור קבוצות אלו יש חשיבות בקביעת סוג הסוכר ועל כן מקובל לייצג את טבעת הסוכר באמצעות נוסחת מבנה בשיטת הייוורת*.



שיטת הייוורת (Haworth) לייצוג מבנה טבעת ה-D גלוקוז

בשיטה זו, מישור הטבעת ניצב למישור הדף. המתמירים המופנים כלפי מעלה הם מעל מישור הטבעת ואילו אלו המופנים כלפי מטה הם מתחת למישור הטבעת. האזור המושחר בטבעת בולט ממישור הדף.

מספור אטומי הפחמן זהה לזה המקובל בשיטת פישר.

---

* קיימות שיטות נוספות לייצוג נוסחאות מבנה של טבעות סוכר. ביחידת הלימוד נתמקד רק בצורת ייצוג בשיטת הייוורת.

שלב ב'

בנו את טבעת הגלוקוז באמצעות מודל מפלסטיק לפי השלבים הבאים:

- בנו תחילה את הטבעת הבסיסית המורכבת מאטום חמצן אחד ומחמישה אטומי פחמן. (שימו לב שאטום פחמן מספר 1 ואטום פחמן מספר 5 קשורים אל אטום החמצן)
- כעת, חברו לכל אחד מאטומי הפחמן 4 – 1 אטום מימן אחד וקבוצת OH אחת.
  1. מקמו את קבוצת ה-OH על פחמן מספר 1 מעל המישור.
  2. המשיכו לפחמן מספר 2 ומקמו את קבוצת ה-OH מתחת למישור.
  3. המשיכו וחברו לאטומי הפחמן מספר 3 עד 4 את קבוצות ה-OH מעל ומתחת למישור לסירוגין.
  4. חברו את אטומי המימן לחמשת אטומי הפחמן בטבעת. בדקו, כי גם הם ממוקמים מעל המישור ומתחתיו לסירוגין.
- לפחמן מספר 5 חברו קבוצת מתילול (CH_2OH) מעל המישור וכן אטום מימן.

אנומרים של גלוקוז טבעתי

קבוצת ה-OH על פחמן מספר 1, C-1, מתנהגת באופן שונה מקבוצות ה-OH אשר ממוקמות על אטומי הפחמן 2-4. כאשר נסגרת הטבעת, קבוצת OH זו יכולה להימצא מעל מישור הטבעת או מתחתיו. שני מצבים אלו קרויים: β D גלוקוז ו- α D גלוקוז בהתאמה.

β D – **גלוקוז** - טבעת גלוקוז, אשר בה קבוצת ה-OH על C-1 נמצאת מעל מישור הטבעת, בדומה לעמדה של המתילול.

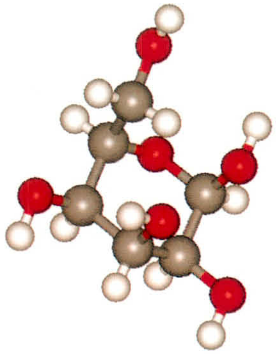
α D – **גלוקוז** - טבעת גלוקוז, אשר בה קבוצת ה-OH על C-1, נמצאת מתחת למישור הטבעת, בניגוד לעמדה של המתילול הנמצא מעל מישור הטבעת.

β ו - α D – גלוקוז נקראים **אנומרים**. אטום הפחמן C-1 מכונה פחמן אנומרי.

נובע מכך, שאנומרים הם איזומרים הנבדלים ביניהם בסידור המרחבי של הקבוצות H ו-OH הקשורות לפחמן C-1

תרגיל 4: ייצוג מידע - טבעת ה- D גלוקוז בשיטת הייוורת

1. על פי המידע הנוסף שקיבלתם, איזה אנומר, α או β, של מולקולת ה-D גלוקוז בניתם באמצעות המודלים? הסבירו (המודל שבניתם נבנה לפי טבעת הגלוקוז המתוארת באיור 2).
2. ציירו במחברותיכם את האנומר השני של טבעת ה-D גלוקוז בשיטת היוורת. מומלץ להיעזר במודל מפלסטיק שבניתם בתרגיל 3.
3. לפניכם מודל כדור-מקל של אחד האנומרים של טבעת ה-D גלוקוז. האם זהו אנומר α או β? נמקו את בחירתכם.



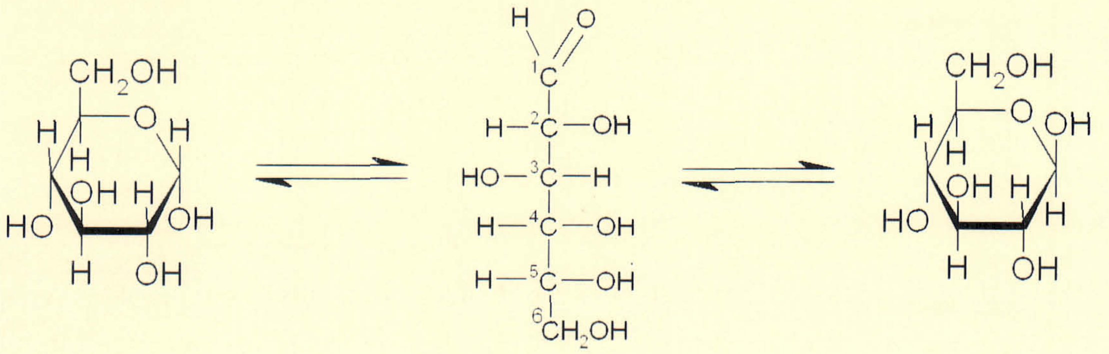
כדור אדום מייצג אטום חמצן; כדור אפור מייצג אטום פחמן; כדור לבן מייצג אטום מימן

תהליך המוטרוטציה

בתמיסה מימית, מולקולות של חד-סוכר יכולות לעבור מאנומר α לאנומר β ולהיפך, עד להשגת שיווי משקל דינמי. התהליך קרוי מוטרוטציה ומתרחש דרך צורת השרשרת הפתוחה של מולקולות הסוכר. בתמיסה שהגיעה לשיווי משקל, נמצאות מולקולות החד-סוכר במבנה α יחד עם מולקולות החד סוכר במבנה β, אך קיימת גם כמות קטנה של מולקולות אותו חד-סוכר במבנה של שרשרת פתוחה. באורגניזם החי, מזורז תהליך המוטרוטציה על ידי האנזים מוטרוטאז.

תהליך המוטרוטציה מתואר באיור 3:

איור 3: תהליך מוטרוטציה בגלוקוז



גלוקוז D α   גלוקוז   גלוקוז D β

תרגיל 5: חקר אירוע - עטיפות לסנדוויץ'

עטיפות אכילות - בטוחות, חזקות ו... טעימות!

הכנת סנדוויץ' פירושה להחליט באיזה לחם ובאיזה ממרח להשתמש. בקרוב נצטרך גם להחליט באיזה טעם לבחור את שקית העטיפה לסנדוויץ'.

שקיות הפלסטיק הן דקות, קלות וזולות והן משמשות כחומר אריזה נפוץ מאוד. תפקידן הוא למנוע מלחות וזיהום לחדור למזון. אך מההיבט הסביבתי הן מהוות בעיה. הן מיוצרות מנפט גולמי (או תוצרי לוואי שלו), שהינו משאב טבע מתכלה מחד, והן אינן מתכלות בטבע מאידך.

העטיפות האכילות מיוצרות ממחית מרוכזת של פירות או ירקות, המכילה סוכר, אותה יוצקים לתבניות טפלון. לאחר תהליך של ייבוש, מתקבל ציפוי דק וגמיש בטעם הפרי או הירק ממנו נוצר.

עטיפה המיוצרת מפירות או ירקות מונעת חדירת אוויר למזון העטוף בה, אך איננה יעילה כנגד לחות. לכך יתרונות וחסרונות - העטיפה נמסה בקלות בפה בזמן אכילתה, אך גם סופגת לחות ונמסה במים אם היא נרטבת. הסיבה היא **ההידרופיליות** של מולקולות הסוכר. כדי להקטין את ההידרופיליות של העטיפה, בתהליך הייצור מוסיפים שומנים למחית.

בנוסף להיותן ידידותיות לסביבה (מתכלות תוך זמן קצר לאחר זריקתן לאשפה), לשימוש בעטיפות אכילות לסנדוויץ' יש יתרון נוסף והוא ערכן התזונתי. עטיפה אחת שווה, בערך התזונתי שלה, למנת פרי אחת. אכילת מספר עטיפות ביום מהווה תוספת תזונתית חשובה למנת האוכל היומית שלנו.

(מעובד מעיתון ChemMatters, April 2003)

1. א. באירוע מוזכרים שלושה יתרונות לשימוש בעטיפות אכילות. הסבירו יתרונות אלו.
ב. למרות היתרונות של השימוש בעטיפות אכילות, הן אינן יכולות להחליף לחלוטין את שקית הפלסטיק. מדוע?

2. הסוכרים, דוגמת הגלוקוז, הינם הידרופיליים.
א. הסבירו את ההידרופיליות של חומר ברמה המיקרוסקופית (הרמה החלקיקית) וברמה המאקרוסקופית (רמת התופעה הנצפית).
ב. בהתייחס למבנה מולקולת הגלוקוז, הסבירו מדוע היא הידרופילית.
ג. עטיפות אכילות העשויות מירקות עמידות יותר כנגד לחות (פחות הידרופיליות) מאלו העשויות מפירות. העלו השערה מדוע.

3. הצטרפתם לצוות מהנדסי מזון, החוקר את עמידות עטיפה אכילה העשויה ממחית ברוקולי כנגד מים, באמצעות הוספת שמן תירס למחית. תארו באופן כללי ניסוי מתאים למחקר זה והסבירו.

הפרוקטוז

גם הפרוקטוז, כמו הגלוקוז, הוא חד-סוכר נפוץ מאוד בטבע, בעיקר בפירות ובדבש. הוא מסווג כסוכר הטבעי המתוק ביותר.
ניתן לדרג מתיקות לפי סטנדרד מתיקות של סוכרוז. לדוגמה, אם לתמיסת חומר מסוים בריכוז 1% יש אותה מתיקות כמו לתמיסת סוכרוז 10%, נאמר כי מתיקות החומר גדולה פי 10 מזו של הסוכרוז.
כיום, נמצאים בשימוש מסחרי חומרים מתוקים אחרים שאינם סוכרים, להנאתם של אנשים האוהבים דברי מתיקה אך נמנעים מאכילת סוכר בגלל מצב בריאותם או בשל רצונם לשמור על גיזרה נאה.
ראויה לציון תופעה מעניינת וייחודית: לעיתים, תוצאת שילוב בין שני ממתיקים היא רמת מתיקות הגבוהה מסכום שתי רמות המתיקות המקוריות של הממתיקים. זו הסיבה, שבתעשיית משקאות קלים דיאטטיים משתמשים בשילוב של שני ממתיקים מלאכותיים: אספרטם ואסולפם K ועל ידי כך חוסכים בריכוז הממתיקים לקבלת מתיקות רצויה של המשקה. תופעה מסוג זה נקראת "סינרגיזם".

תרגיל 6: ניתוח מידע מטבלה וחקירת מבנה מולקולת הפרוקטוז

1. לפניכם טבלה* המפרטת את דרגת מתיקותם של ממתיקים טבעיים ומלאכותיים שונים בטמפרטורת החדר:

הממתיק	דרגת המתיקות
סוכרוז	100
D - גלוקוז	70
D - פרוקטוז	140
לקטוז (סוכר החלב)	20
סורביטול	50
סכרין	50000
אסולפם K	19000
אספרטם	20000

הערה - דרגת המתיקות של ממתקים נקבעה יחסית לסוכרוז, שעבורו נקבע הערך השרירותי 100.

א. שלושת הממתיקים האחרונים בטבלה הם ממתיקים מלאכותיים. מה תוכלו לומר על דרגת המתיקות של הממתיקים הטבעיים בהשוואה לזו של הממתיקים המלאכותיים? אלו השלכות יש לכך?

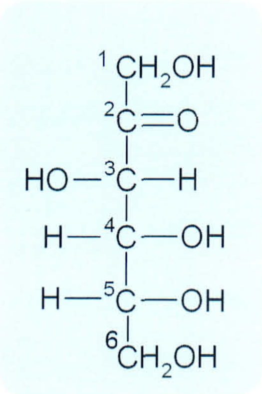
ב. מרבית האנשים ממתיקים כוס קפה בכפית סוכר (סוכרוז).

I איזו כמות של סורביטול יצטרכו להוסיף לקפה כדי להמתיקו?

II איזו כמות של אספרטם תידרש להמתקת הקפה?

ג. גם הפרוקטוז, כמו הסוכרוז הנמצא בשימוש יום יומי, מספק אנרגיה בסך 4 קלוריות ל - 1 - גרם מוצר באיזה סוכר מבין השניים תמליצו לחבריכם להשתמש על מנת "לחסוך" בקלוריות? נמקו.

2. לפניכם נוסחת פישר לייצוג D פרוקטוז:



א. רשמו את נוסחתו המולקולרית של הפרוקטוז והשוו לנוסחה האמפירית של החד-סוכרים. מהו ה -n?

ב. השוו את נוסחתו המולקולרית לזו של הגלוקוז. מה מסקנתכם?

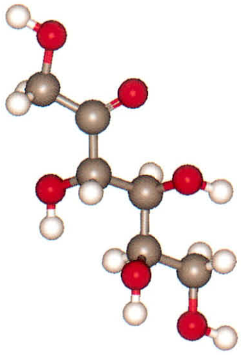
* נתוני הטבלה לקוחים מתוך: http://www.lindt.com/public/canada/chocomania/sweetness.pdf

ג. ערכו השוואה בין מולקולת הגלוקוז למולקולת הפרוקטוז בייצוג לפי שיטת פישר.
העתיקו את הטבלה הבאה למחברותיכם והשלימו אותה.

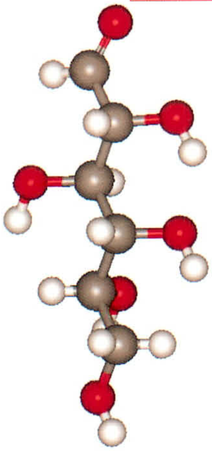
מאפיין	גלוקוז	פרוקטוז
הנוסחה המולקולרית		
הגדרה על פי מספר אטומי פחמן	הכסוזה	
קבוצות פונקציונליות		
הגדרה על פי קבוצה פונקציונלית ראשית	אלדוזה	
מספרו של אטום הפחמן עליו ממוקמת הקבוצה הפונקציונלית הראשית		
מסיסות במים		

3. לפניכם מודלים I ו- II של מולקולות הגלוקוז והפרוקטוז השרשרתיות (ייצוג לפי פישר).
רשמו איזה מודל מייצג את מולקולת הגלוקוז ואיזה מהם מייצג את מולקולת הפרוקטוז.

כדור אדום מייצג אטום חמצן
כדור אפור מייצג אטום פחמן
כדור לבן מייצג אטום מימן

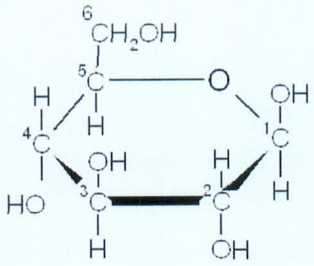


מודל I

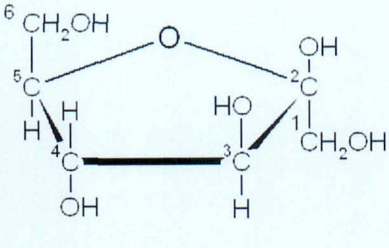


מודל II

4. לפניכם נוסחאות הייצוג הטבעתיות (לפי היוורת) של D גלוקוז ו- D פרוקטוז.



D גלוקוז



D פרוקטוז

א. D גלוקוז הינה מולקולה טבעתית משושה ואילו D פרוקטוז הינה מולקולה טבעתית מחומשת. העלו השערה ממה נובע הבדל זה.

ב. השלימו את קטע המידע הבא:

הקבוצה הפונקציונלית המאפיינת את הפרוקטוז היא קבוצת קטון על אטום פחמן מספר ___ במולקולה. לעומת זאת, הקבוצה הפונקציונלית המאפיינת את הגלוקוז היא קבוצת אלדהיד על אטום פחמן מספר בשרשרת. נוכחותה של קבוצת הקטון בשרשרת הפרוקטוז משפיעה על מבנה הטבעת הנוצרת בצורה הבאה: קבוצת הקטון על פחמן מספר ____ במולקולת הפרוקטוז, מגיבה עם הקבוצה הכהלית על פחמן מספר ___ לסגירת הטבעת. בטבעת הפרוקטוז המְחומשת שנוצרת, ישנן שתי קבוצות ___ מחוץ לטבעת, שמקורן באטומי הפחמן מספר ____ ו - ___ .

תרגיל 7: פעילות חקר באמצעות מודלים מפלסטיק - מבנה מולקולת הפרוקטוז

1. בנו מודל של מולקולת פרוקטוז שרשרתית באמצעות מודל כדור – מקל מפלסטיק.
2. נסו לסגור את הטבעת. התייחסו לכך, שהתגובה מתרחשת בין קבוצת הקטון על פחמן מספר 2 לבין קבוצת ה–OH על פחמן מספר 5.
3. אם יש צורך, שנו את מיקום קבוצות הצד מעל ומתחת למישור הטבעת על פי ייצוג המולקולה בשיטת היוורת.
4. האם בניתם את אנומר α D – פרוקטוז או β D – פרוקטוז? הסבירו את התלבטויותיכם.

אנומרים של פרוקטוז טבעתי

האנומרים בפרוקטוז נקבעים על פי עמדת קבוצת ה–OH על פחמן מספר 2.

β D – פרוקטוז: כאשר קבוצת ה–OH על C–2 נמצאת מעל מישור הטבעת, בדומה לעמדת המתילול על C–5. המתילול על C–2 נמצא מתחת למישור הטבעת.

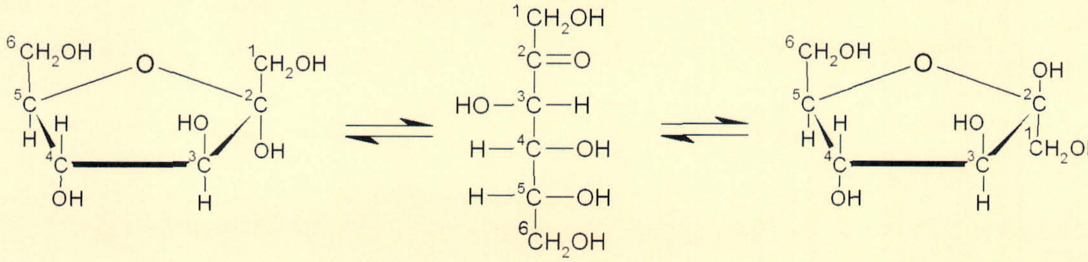
α D – פרוקטוז: כאשר קבוצת ה–OH על C–2 נמצאת מתחת למישור הטבעת, בניגוד לעמדת המתילול על C–5. המתילול על C–2 נמצא מעל מישור הטבעת.

אטום הפחמן C–2 הוא הפחמן האנומרי בפרוקטוז.

תהליך המוטרוטציה בפרוקטוז

גם בפרוקטוז כמו בגלוקוז קיימת תופעה של מוטרוטציה. כלומר, בתמיסה מימית קיים שיווי משקל בין האנומרים α D – פרוקטוז, β D – פרוקטוז והפרוקטוז השרשרתי כפי שניתן לראות באיור 4.

איור 4: תהליך מוטרוטציה בפרוקטוז



איזומריה אופטית ויישומה בחד-סוכרים

הגדרות:

איזומריה - תופעה שבה לתרכובות בעלות אותה נוסחה מולקולרית יש סידור שונה של האטומים (היערכות שונה של האטומים במולקולה) וכתוצאה מכך יש להן תכונות שונות. קיימים סוגים שונים של איזומריה.

אטום פחמן אסימטרי (פחמן כירלי) - זהו אטום פחמן שאליו קשורות ארבע קבוצות שונות של אטומים.

איזומרים אופטיים - מולקולות בעלות אותה נוסחה מולקולרית ונוסחת מבנה, אך בעלות סידור שונה של מתמירים (אטומים או קבוצות אטומים) מסביב לפחמן אסימטרי (אחד לפחות).

איזומרים אופטיים מסובבים את מישור האור המקוטב בזווית שווה, אך בכיוונים מנוגדים.

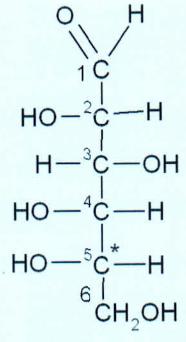
אננטיומרים - איזומרים אופטיים המהווים דמויות ראי ואינם ניתנים לחפיפה.

דיאמרים - איזומרים אופטיים שאינם דמויות ראי, נבדלים ביניהם בתבנית של שני אטומי פחמן אסימטריים ומעלה.

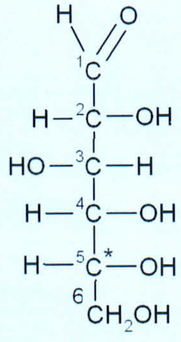
אפימרים – איזומרים אופטיים שאינם דמויות ראי, נבדלים ביניהם בתבנית של אטום פחמן אסימטרי אחד בלבד.

L גלוקוז ו- D גלוקוז

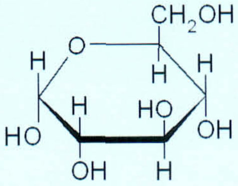
לפניכם האיזומרים האופטיים של הגלוקוז בשתי צורות הייצוג. מולקולות אלו הן **דמויות ראי** אחת של השנייה, הן אינן ניתנות לחפיפה והן מטות את מישור האור המקוטב לשני כיוונים שונים. מולקולות אלו הן **אננטיומרים.**



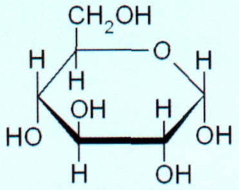
L גלוקוז



D גלוקוז



α L גלוקוז



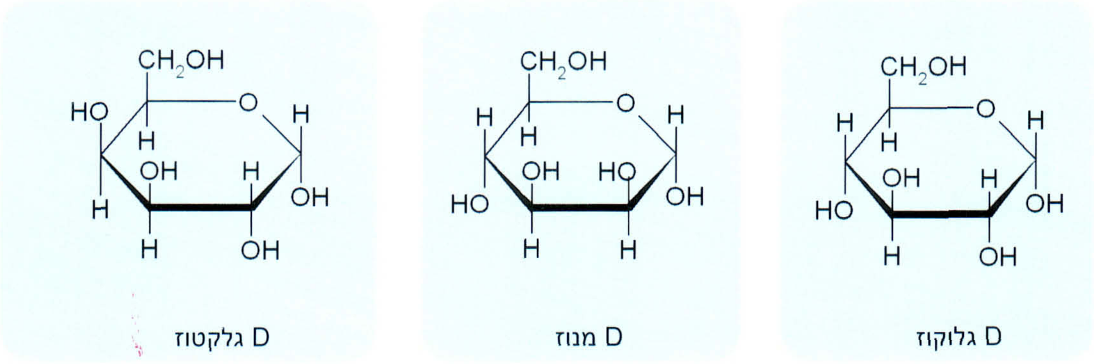
α D גלוקוז

D ו-L נקבעים על פי הפחמן האסימטרי האחרון לפני הקבוצה הטרמינלית (במקרה זה, על פי הפחמן החמישי המסומן בכוכבית). האיזומר D מטה את האור המקוטב בזווית עם כיוון השעון ואילו האיזומר L מטה את האור המקוטב באותה זווית אך נגד כיוון השעון.

רק איזומר D גלוקוז מקיים פעילות ביולוגית בגופנו ועל כן מורחב הדיבור לגביו.

תרגיל 8: איזומריה אופטית בחד-סוכרים

1. לפניכם נוסחאות המבנה של גלקטוז, מנוז וגלוקוז:

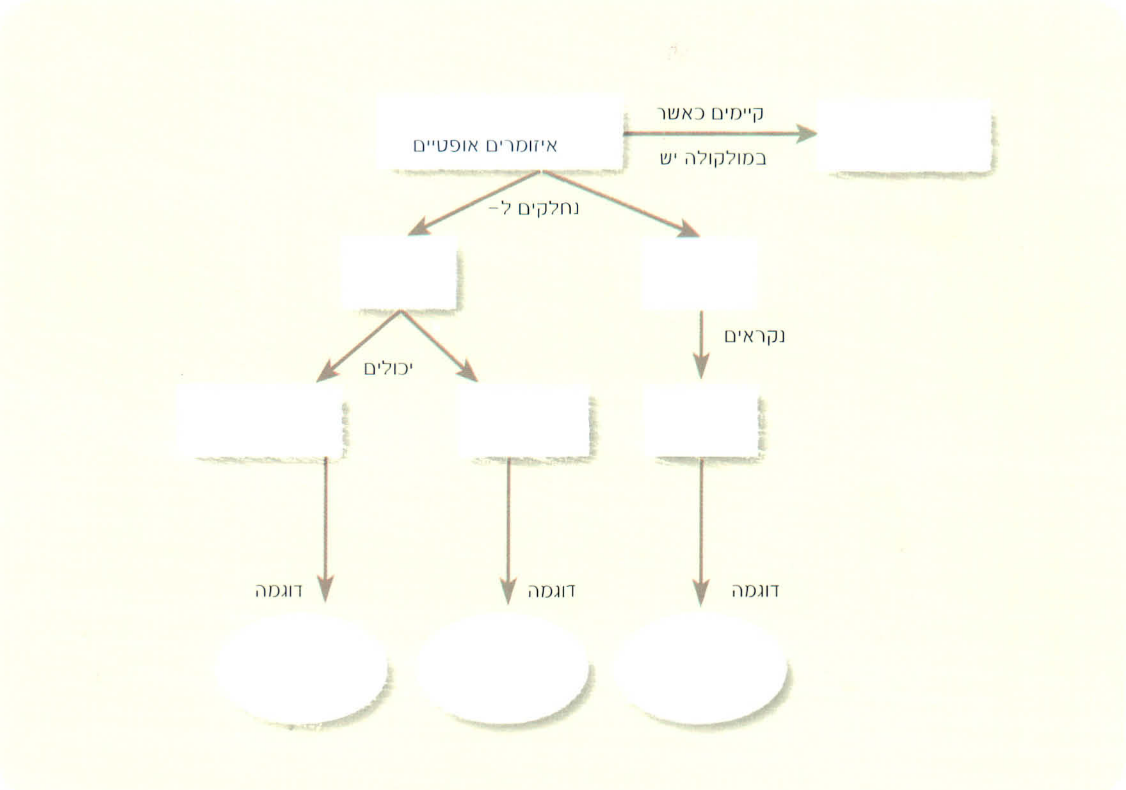


א. מה משותף לכולם?

ב. במה נבדלים הגלקטוז והגלוקוז? כיצד מוגדרים האיזומרים האופטיים שלהם?

ג. במה נבדלים הגלקטוז והמנוז? כיצד מוגדרים האיזומרים האופטיים שלהם?

2. השלימו את מפת המושגים הבאה באמצעות המושגים וההגדים המופיעים להלן:
אננטיומרים, שאינם דמויות ראי, D גלוקוז ו- L גלוקוז, לפחות פחמן אסימטרי אחד, דיאמרים, D גלוקוז D גלקטוז, דמויות ראי, D מנוז ו- D גלקטוז. אפימרים, D גלוקוז ו- D מנוז.



דו-סוכרים

הדו-סוכרים הם פחמימות אשר המולקולות שלהן מורכבות משתי יחידות של חד-סוכר. בדומה לחד-סוכרים, הדו-סוכרים הם לרוב מתוקים ומסיסים במים.

בטבלה הבאה מוצגות דוגמאות של שלושה דו-סוכרים, מקורם והרכבם:

הדו-סוכר	מקורו	הרכב החד-סוכרים
סוכרוז	סלק, קנה סוכר	גלוקוז + פרוקטוז
לקטוז	הסוכר העיקרי בחלב	גלקטוז + גלוקוז
מלטוז	פירוק של עמילן	גלוקוז + גלוקוז

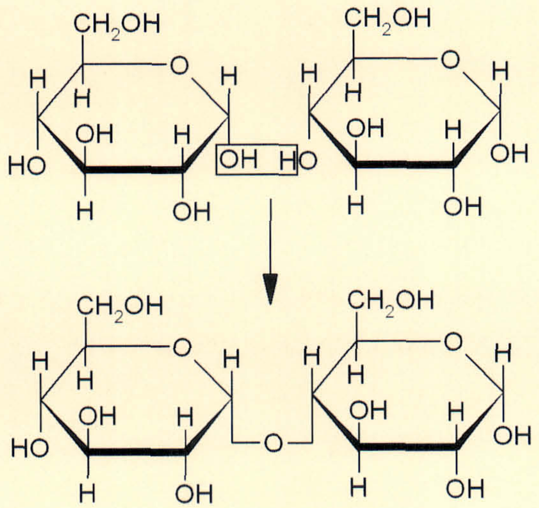
דו-סוכרים מתקבלים בתגובת דחיסה, שבה מכל שתי מולקולות של חד-סוכר, נוצרת מולקולה של דו סוכר. ניתן לפרק את הדו-סוכר לחד-סוכרים המרכיבים אותו על-ידי הידרוליזה (פירוק באמצעות מולקולות מים).

להלן תגובת דחיסה בין שתי קבוצות כוהליות לקבלת אתר ומולקולת מים:

$$R - OH + HO - R' \underset{}{\overset{H_3O^+_{(aq)}}{\rightleftharpoons}} R - O - R' + H_2O$$

כאשר מולקולת גלוקוז מתחברת למולקולת גלוקוז נוספת, מתרחשת תגובת דחיסה ומתקבלת מולקולת מלטוז, כפי שניתן לראות באיור 5.

איור 5: תגובת דחיסה בין שתי מולקולות גלוקוז ליצירת מולקולה של הדו-סוכר מלטוז



תגובת הדחיסה מתרחשת בין הקבוצה הכהלית על C-1 במולקולת הגלוקוז השמאלית (באיור 5) לבין הקבוצה הכהלית על C-4 במולקולת הגלוקוז הימנית. בתגובת הדחיסה, נפלטת מולקולת מים והקשר שנוצר בין שתי יחידות הגלוקוז נקרא **קשר גליקוזידי.**

ביצירת הקשר הגליקוזידי ישנה חשיבות לסוג האנומרים המשתתפים בקשר.

בהתייחס לאיור 5, שימו לב כי:

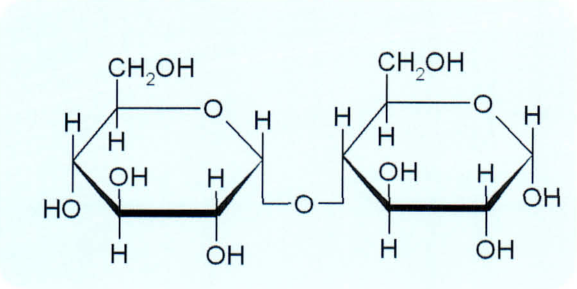
- טבעת הגלוקוז השמאלית היא α D - גלוקוז. פירושו, כי קבוצת ה-OH על C-1 ממוקמת מתחת למישור הטבעת.
- הטבעת הימנית נקשרת לשמאלית דרך C-4 שאינו פחמן אנומרי, ולכן קבוצת ה - OH על פחמן זה נמצאת באופן קבוע מתחת למישור הטבעת.
- בטבעת הימנית קבוצת ה-OH על C-1 חופשייה מקשר ועל כן עדיין קיימת תופעת המוטרוטציה - מצב של שיווי משקל בין שני האנומרים α ו - β.
- קשר זה הינו קשר גליקוזידי אותו נהוג לסמן: α(1-4). ברישום זה ה - α מסמן את מיקום קבוצת ה - OH על הפחמן האנומרי, C-1 במקרה זה, הקשור ל - C-4 בטבעת הימנית.

רוב הדו-סוכרים מתקבלים בהידרוליזה (פרוק באמצעות מים וזרזים) של רב-סוכרים ורק מעטים נוצרים באמצעות קשירת שני חד-סוכרים זה לזה תוך יצירת קשר גליקוזידי.

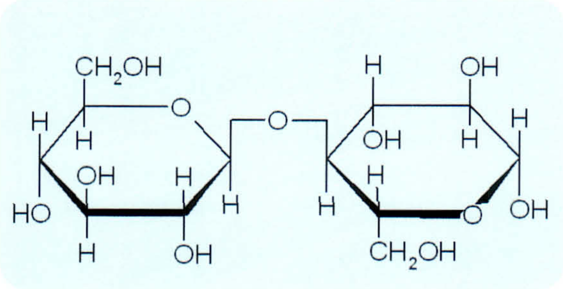
המלטוז (סוכר הלתת), המתואר באיור 5, הוא לרוב תוצר הידרוליזה של מולקולות גדולות יותר, כמו עמילן. למשל, בתהליך הנביטה של השעורה באמצעות אנזימים.

תרגיל 9: ניתוח מידע - מבנה וצורות ייצוג של דו-סוכרים

1. לפניכם נוסחאות מבנה של הדו-סוכרים מלטוז וצלוביוז:



מלטוז



צלוביוז

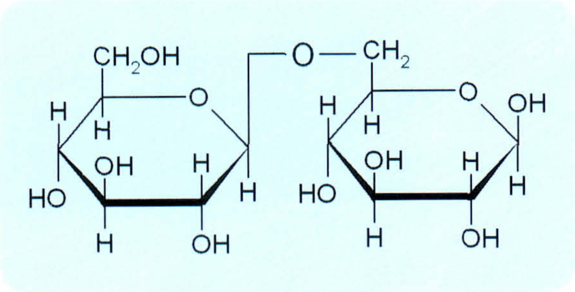
א. במה דומות ובמה שונות מולקולות המלטוז והצלוביוז?

ב. הצלוביוז הוא תוצר פירוק של הצלולוז (תאית). בגוף האדם לא קיים אנזים המפרק את הקשרים הגליקוזידיים הקיימים בין אבני הבניין של התאית ועל כן האדם אינו מעכל תאית. למיקרואורגניזמים רבים יש אנזים מתאים - צלולאז, והם מייצרים את הצלוביוז כתוצר ביניים בתהליך פירוק התאית. המלטוז הוא תוצר פירוק של עמילן והוא קיים בבירה שחורה ובמוצרי מזון נוספים. הציעו הסבר לעובדה, כי המלטוז ניתן לעיכול על ידי האדם ואילו הצלוביוז אינו מתעכל במערכת העיכול.

2. הדו-סוכר המתקבל מגלוקוז ומגלקטוז נקרא לקטוז או סוכר החלב. הלקטוז מיוצר על ידי תאי בלוטת החלב ביונקים בתקופת ההנקה. ציירו נוסחת היוורת לדו-סוכר לקטוז (נוסחה לגלקטוז תוכלו למצוא בהסבר על איזומריה אופטית).

היעזרו במידע הבא: הקשר הגליקוזידי נוצר בין C-1 במולקולת הגלקטוז, כאשר קבוצת ה-OH היא במצב β, ובין C-4 במולקולת הגלוקוז.

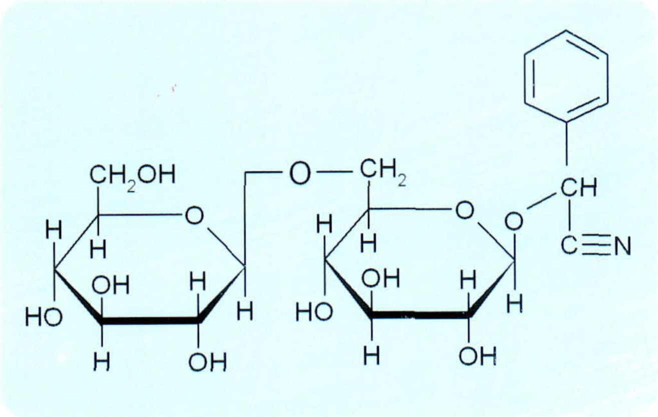
3. לפניכם נוסחת הייוורת לדו-סוכר הנקרא גנטיוביוז. דו-סוכר זה מתקבל בעיקר באמצעים מלאכותיים במעבדה.



א. מהם החד-סוכרים המשתתפים בקשר הגליקוזידי?

ב. בין אלו אטומי פחמן של החד-סוכרים נוצר הקשר הגליקוזידי?

4. לפניכם תרכובת גליקוזידית (בעלת קשר גליקוזידי) המצויה באגוזים ובשקדים ונקראת אמיגדלין (amygdalin).



בהידרוליזה של האמיגדלין משתחררת חומצה ציאנית (HCN). חומצה זו רעילה ביותר לאדם, משום שהיא נקשרת לאתרי הקישור של החמצן בהמוגלובין. כ-0.05 גרם של החומצה הם מנה קטלנית לאדם בוגר. בשקדים מרים קיים האנזים אמולסין הגורם להידרוליזה ולשיחרור החומצה הציאנית ולכן אכילת שקדים מרים עלולה להיות מסוכנת. בשקדים מתוקים אחוז האמיגדלין מועט מאוד ולכן הסכנה אפסית.

האם תוכלו למצוא נקודות דמיון בין הגנטיוביוז לבין האמיגדלין? נמקו.

5. ערכו טבלת השוואת בין הדו-סוכרים לקטוז, צלוביוז, גנטיוביוז ומלטוז בהיבטים הבאים:

החד-סוכרים המשתתפים בקשר הגליקוזידי, סוג הקשר הגליקוזידי, מקור הדו-סוכר.

הסוכרוז

הסוכרוז הינו הדו-סוכר המוכר והנפוץ ביותר. כינויו העממי של הסוכרוז הוא "סוכר", או "סוכר השולחן". והוא משמש להמתקת מזון. צריכת הסוכרוז מהווה 20%-30% מכלל צריכת הפחמימות של אוכלוסיית ארצות המערב. הוא מצוי בשפע בקנה הסוכר, בסלק הסוכר, בנוזל המופרש מעץ האדר (maple syrop), בפירות רבים ובגזר. סוכרוז מצוי בריכוז נמוך גם בדבש, יחד עם תוצרי ההידרוליזה שלו - גלוקוז ופרוקטוז.

כבר בתקופה הפרה-היסטורית הופק הסוכר מקנה הסוכר בגיניאה החדשה באמצעות לעיסת הצמח. לאירופה הגיע הסוכר על ידי אלכסנדר מוקדון, שהביאו מהודו. השיטות להפקת סוכר מקנה סוכר פותחו בהודו בתחילת המאה החמישית לפני הספירה, ולאירופה הן הובאו יחד עם צמח קנה הסוכר רק במאה ה-12 על ידי הצלבנים שהגיעו מארץ ישראל. בתחילה, התייחסו האירופים לסוכר כאל תבלין והוסיפוהו לתבשיליהם השונים ולהמתקת תרופות מרות, אך מחירו הרב הגביל אותו לשימוש על ידי האצולה בלבד.

במאה ה-18 הפיק לראשונה הכימאי הגרמני מארגראף, סוכר מסלק הסוכר והוכיח כי הוא זהה בכל לסוכר הקנה. במהרה, השתנתה תעשיית הסוכר באירופה כולה והסוכר הפך לנחלת הכלל. סלק הסוכר דחק את קנה הסוכר, בעיקר משום שהוא מתאים לגידול באזורי אקלים שונים, בכללם קנדה וארצות הברית.

צריכת הסוכר (סוכרוז) גברה מאוד במאות ה-19 וה-20. בחברה המערבית, כולל בישראל, הצריכה הממוצעת של סוכר הינה כ-50 ק"ג לאדם לשנה. צריכה גבוהה זו מהווה גורם מרכזי להשמנה ולהשמנת יתר בחברה המערבית ואף בארצות מתפתחות. זאת, מכיוון שעודף סוכר מעבר לדרוש לאדם לצורכי אנרגיה, הופך בתהליכי חילוף החומרים לשומן הנאגר בגוף, דבר המתבטא בהשמנה ובהשמנת יתר.

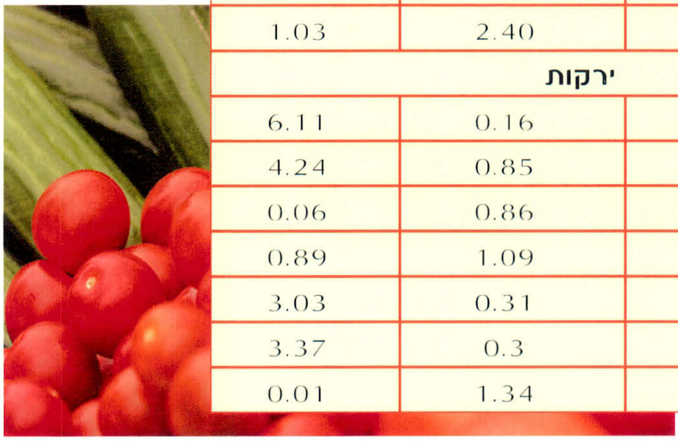
הסוכרוז גורם להתפתחות עששת יותר מכל סוכר אחר. זאת, משום שהחיידקים גורמי העששת בחלל הפה, מנצלים ביעילות רבה את הסוכרוז על ידי פירוקו לשני מרכיביו החד-סוכריים. את הפרוקטוז מנצלים החיידקים להתפתחותם, ומהגלוקוז הם בונים פולימר הקרוי דקסטרן. בעזרת הפולימר הם נצמדים לשיניים ומשחררים חומצות אורגניות, הגורמות להמסת המינרל באמייל השן ולעששת. בשנים האחרונות, הוגברה המודעות להפחתה בצריכת הסוכר בעולם המערבי, בעיקר כדי למנוע השמנה ועששת.

בעבר, גידלו בישראל סלק סוכר והפיקו ממנו סוכר בשני מפעלים בעפולה ובקרית גת. אולם בשל אי כדאיות כלכלית הופסקו הגידול והייצור בארץ.

תרגיל 10: ניתוח מידע וחקר מבנה - הסוכרוז

1. בטבלה שלפניכם נתונים על אחוז גלוקוז, פרוקטוז וסוכרוז בפירות וירקות.

המאכל	D-גלוקוז (%)	D-פרוקטוז (%)	סוכרוז (%)
פירות			
תפוח	1.17	6.04	3.78
ענבים	6.86	7.84	2.25
אפרסק	0.91	1.18	6.92
אגס	0.95	6.77	1.61
דובדבן	6.49	7.34	0.22
תות	2.09	2.40	1.03
ירקות			
סלק	0.18	0.16	6.11
גזר	0.85	0.85	4.24
מלפפון	0.86	0.86	0.06
בצל	2.07	1.09	0.89
תירס	0.34	0.31	3.03
בטטה	0.33	0.3	3.37
עגבנייה	1.12	1.34	0.01

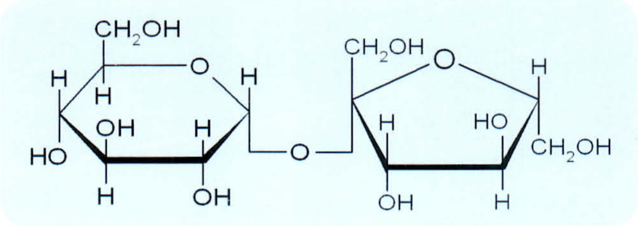


א. מה תוכלו להסיק באופן כללי, לגבי תכולת הסוכרים בפירות לעומת ירקות?

ב. לאפרסק תכולת הסוכרוז הגבוהה ביותר מבין הפירות. למרות זאת, הוא פחות מתוק מענבים. מדוע?

ג. מהו הירק, שסך תכולת הסוכרים בו היא הקטנה ביותר והוא הפחות מתוק מבין הירקות?

2. לפניכם נוסחת המבנה של הסוכרוז



א. שתי יחידות חד-הסוכרים המשתתפות בקשר הגליקוזידי ליצירת סוכרוז הינן הגלוקוז והפרוקטוז. סמנו אותם בנוסחת המבנה.

ב. מַספרו את אטומי הפחמן על טבעת הפרוקטוז ועל טבעת הגלוקוז. העזרו במידע כי הפרוקטוז מחובר לגלוקוז דרך הפחמן האנומרי שלו.

ג. מה סוג הקשר הגליקוזידי הקיים במולקולת הסוכרוז בין הגלוקוז לפרוקטוז?

ד. האם בתמיסתו המימית של סוכרוז מתרחשת מוטרוטציה? אם כן, ביחידה של איזה חד-סוכר היא מתרחשת? אם לא, הסבירו מדוע

תרגיל 11: חקר אירוע ופעילות מלוות רשת בנושא דבש

דבש אמיתי שמקורו בכוורת או שמא זיוף?

אלפי צנצנות של דבש מזויף, שהיו מיועדות לשיווק ברחבי הארץ לקראת חג הפסח, התגלו בפשיטה שערכו אנשי מועצת הדבש והמשטרה על בית מלאכה מחתרתי שפעל בחולון *. במסגרת החקירה, נשלחו מספר דגימות לבדיקה במכון התקנים והתברר, כי המוצר כלל אינו דבש. את "הדבש" ייצרו הזייפנים מסוכר מבושל ומכרו אותו כאילו יובא מספרד.

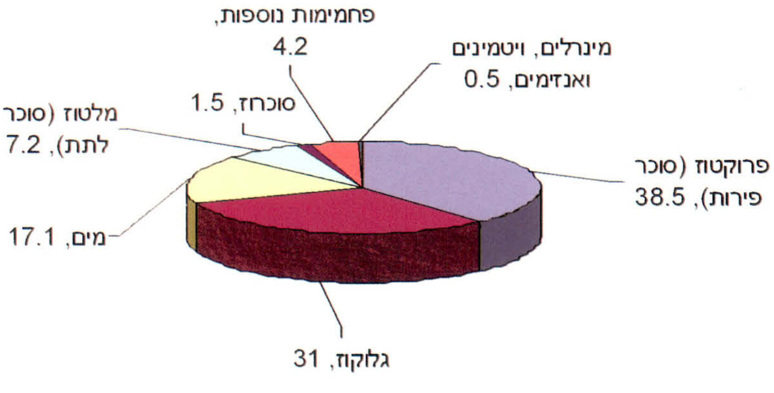
חומר הגלם לייצור הדבש הוא צוף הפרחים – הנֶקְטָר (Nectar). זהו נוזל מימי, שקוף ומתקתק. כבר במעופה מהפרחים לכוורת, מוסיפה הדבורה לצוף נוזל המופרש מבלוטות המצויות בקדמת הפה שלה. הנוזל הזה מכיל בעיקר אנזימים מפרקי סוכרים, כמו האינברטאז. האינברטאז מפרק את הדו-סוכר סוכרוז, הקיים בצוף, לחד-סוכרים ולכן הדבש מכיל תערובת מכמויות כמעט שוות של גלוקוז ופרוקטוז. ניתן לזייף דבש באמצעות פירוק הסוכרוז על ידי הידרוליזה חומצית בחימום או על ידי אינברטאז מסחרי.

דבש מכונה גם סוכר אינברטי, כיוון שסוכרים הם תרכובות כירליות (מכילות פחמן אסימטרי ופעילות אופטית). כל סוכר מסובב את מישור האור המקוטב בשיעור אופייני. בעוד שסוכרוז מסובב את מישור האור המקוטב ימינה, בשיעור חיובי, תערובת של גלוקוז ופרוקטוז מסובבת אותו שמאלה, בשיעור שלילי. בשל ההיפוך בסיבוב מישור האור המקוטב, קרוי תהליך ההידרוליזה של סוכרוז "אינברסיה" דהיינו "היפוך"

ההרכב הכימי של הדבש נחקר בצורה נרחבת ונמצאו בו יותר מ-180 מרכיבים כימיים. חלקם משותפים לכל סוגי הדבש וחלקם ייחודים לדבש מסוג מסוים.

בתרשים שלפניכם מתוארים המרכיבים השונים בדבש וריכוזיהם באחוזים

הרכב כימי של דבש (באחוזים)



1. מדוע חשוב למנוע זיופי דבש? מהם יתרונותיו של הדבש על פני "הסוכר המבושל"? לשם קבלת תשובה, תוכלו לעיין באתר בכתובת הבאה: http://www.tevalife.com/article.asp?id=1381

2. ניתן לאחסן דבש בטמפרטורת החדר לזמן ממושך ללא חשש לקילקול. היעזרו באתר ויקיפדיה: http://he.wikipedia.org/wiki במילה דבש, והסבירו מדוע.

---

* מתוך חדשות INN, www.inn.co.il. 19.1.03

רב-סוכרים

רוב הפחמימות בטבע מופיעות כרב-סוכרים בעלי מסה מולרית גבוהה, כאשר D גלוקוז הוא חד-הסוכר הנפוץ ביותר בהרכבי הרב-סוכרים השונים.

בניגוד לסוכרים הפשוטים, אין טעמם של הרב-סוכרים מתוק, אך הם בעלי חשיבות מרכזית בתזונת האדם כמקור לגלוקוז ולסיבים תזונתיים.

פחמימות אשר המולקולות שלהן בנויות משניים עד עשרה שיירי חד-סוכרים, הקשורים זה לזה בקשרים גליקוזידיים, מכונות **אוליגו - סוכרים**. פחמימות אשר המולקולות שלהן בנויות מיותר מעשרה שיירי חד-סוכרים קרויות **רב-סוכרים**.

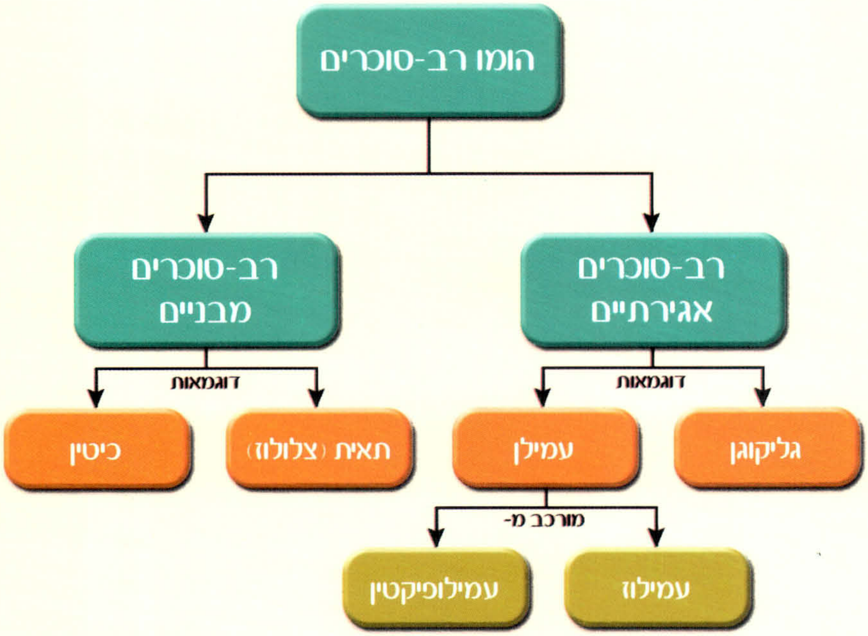
האוליגו-סוכרים: רפינוז - תלת-סוכר אשר המולקולות שלו בנוי משלושה שיירים של חד-סוכרים, וסטכיוז - הבנוי מארבעה שיירים של חד-סוכרים, מצויים בקטניות כגון שעועית, סויה וחומוס. האנזימים במערכת העיכול בגופנו אינם מפרקים רפינוז וסטכיוז ועם הגעתם של אוליגו-סוכרים אלו למעי הגס הם מתפרקים על ידי חיידקים וגורמים לשילשולים ולכאבי בטן.

בהידרוליזה מלאה של רב-סוכרים על ידי חומצה או אנזימים ספציפיים, מתקבלים חד-סוכרים או נגזרות שלהם.

אם שיירי החד-סוכר במולקולת הרב-סוכר זהים זה לזה, התרכובת קרויה **הומו רב-סוכר**, ואם הם שונים זה מזה - התרכובת קרויה **הטרו רב-סוכר**.

הדיון בפרק זה יתמקד בהומו רב-סוכרים, אשר מורכבים ממולקולות D גלוקוז וממוינים כפי שניתן לראות באיור 6.

איור 6: מיון הומו רב-סוכרים



רב-סוכרים אגירתיים

במהלך האבולוציה, פיתחו הצמחים ובעלי החיים אמצעים לאחסון תרכובות, שחימצונן בעת הצורך יכול לספק אנרגיה לקיומם. תרכובות אלו מכונות תרכובות אגירה או חומרי תשמורת.

מולקולות של גלוקוז, שנוצרו בתא הצמח בתהליך הפוטוסינתזה, הופכות כמעט באופן מיידי **לעמילן**. העמילן מהווה חומר תשמורת עיקרי בצמחים ונאגר באברי אגירה כמו פקעות, שורשים וזרעים. בעת הצורך, חומר התשמורת מפורק באופן מיידי לגלוקוז מסיס וכך המולקולות של הגלוקוז עוברות בקלות לאיברים בהם הן נחוצות.

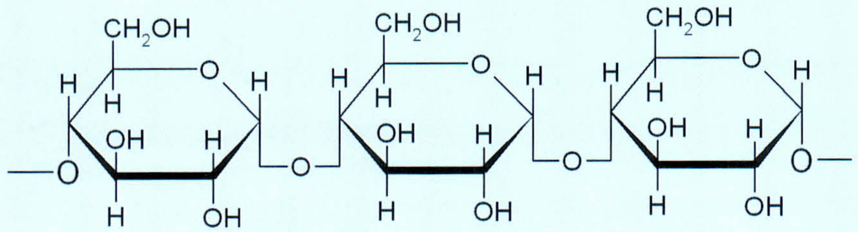
הגליקוגן משמש חומר תשמורת לגלוקוז בגוף האדם ונאגר בעיקר בכבד, בשרירים ומעט גם בכליות. הגליקוגן מרוכז בתאים בצורת גרגרים שקוטרם 10-40 ננומטר* ויחד עם הגליקוגן, מצויים בתוך הגרגרים גם האנזימים המפרקים אותו והאנזימים המייצרים אותו. בזמנים שבין הארוחות מתפרק הגליקוגן ליחידות גלוקוז בודדות המועברות באמצעות הדם מהכבד אל תאי הגוף, וכך הוא משתתף בשמירת רמת הגלוקוז הקבועה בדם. פירוק הגליקוגן לגלוקוז מתבצע גם במצבים מיוחדים, בהם נוצר צורך מוגבר בגלוקוז, כגון בזמן פעילות גופנית מוגברת או במצבי עקה פתאומיים.

העמילן

מהווה מרכיב מרכזי בתזונת האדם. צריכת העמילן בתזונה של אוכלוסיית העולם המערבי ירדה מאז שנות ה-50 של המאה ה-20 לכדי 30%-40% מכלל צריכת הפחמימות, עקב עליה בצריכת הפחמימות הפשוטות, בעיקר סוכרוז. כיום, מומלץ להגדיל את חלקו של העמילן, כפי שהיה נהוג בעבר ל-60%-80% מכלל צריכת הפחמימות, אם כי לאחרונה מתברר שלעמילנים ממקורות שונים, כגון לחם לבן או תפוח אדמה מבושל, יש ערך גליקמי גבוה.

העמילן בנוי משני מרכיבים פולימריים**, השונים זה מזה במבנם. מרכיב אחד הוא עמילוז והמרכיב האחר הוא עמילופקטין.

העמילוז הוא פולימר שרשרתי לא מסועף, אשר כל שרשרת שלו מורכבת מ-1000-4500 יחידות של גלוקוז כתלות במקורו. מסתן המולרית של העמילוז היא לפיכך בתחום של $1.6-7.2 \times 10^5$ גרם למול.



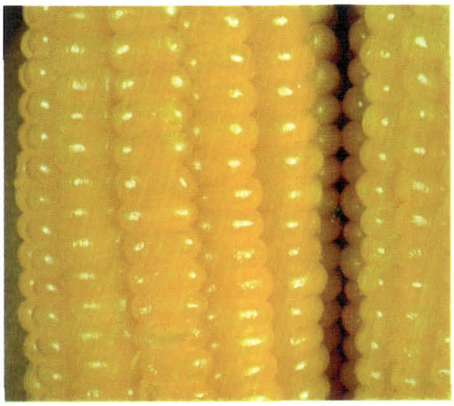
יחידות הגלוקוז בעמילוז, קשורות זו לזו בקשרים גליקוזידיים מסוג α(1-4). משמע, מיקום עמדת קבוצת ה-OH על פחמן C-1 של כל מולקולת גלוקוז הוא מתחת למישור הטבעת (מצב α).

* ננומטר - מידת אורך זעירה השווה ל- 10^{-9} מטר.

** פולימר מורכב ממולקולות ענק (מקרומולקולה), שבהן אלפי אטומים הקשורים זה לזה בקשרים קוולנטיים. המולקולות של רוב הפולימרים בנויים בצורת שרשרות, שבהן קבוצות אטומים יוצרות יחידות מבנה, החוזרות על עצמן בצורה סדירה. הפולימר נוצר על-ידי התחברותן של מולקולות קטנות, המכונות מונומרים, והן התורמות למולקולת הפולימר את היחידות החוזרות.

המבנה המרחבי של מולקולות העמילוז הוא סליל. קשרי ה-(1-4) α בין יחידות הגלוקוז גורמים לכך שכל יחידת גלוקוז מוטה בזווית כלפי היחידה הסמוכה לה, כך שכל שש יחידות גלוקוז יוצרות יחדיו סיבוב יחיד בסליל. מבנה של סליל הוא מבנה צפוף יחסית ומתאים לדרישות של חומר תשמורת.

העמילופקטין, המרכיב האחר של העמילן, הוא פולימר ענק, מסועף מאוד, המורכב ממאות אלפים עד מיליוני יחידות גלוקוז. לפולימר זה מבנה של עץ מסועף, שבו הענפים הם יחידות גלוקוז הקשורות זו לזו ואליהן קשורים ענפים נוספים היוצאים מנקודות הסתעפות. על כל 24-30 יחידות גלוקוז הקשורות זו לזו בקשרי α(1-4), יש הסתעפות α(1-6) אחת ושרשרות צד המורכבות מ-10-20 יחידות גלוקוז.
היחס בין עמילוז לעמילופקטין שונה בצמחים שונים. ברוב הצמחים, העמילן מכיל בין 15% ל-35% עמילוז. לדוגמה, בתפוחי אדמה מהווה העמילוז 23% מכלל העמילן ואילו בתירס ניתן למצוא 28% עמילוז.



תרגיל 12: יישום ידע - עמילוז ועמילופקטין

1. המלטוז (סוכר הלתת) הוא לרוב תוצר הידרוליזה של רב-סוכר, כמו עמילן. הסבירו עובדה זו, תוך התייחסות למבנה של עמילוז ולמבנה הדו-הסוכר מלטוז.

2. שרשרת העמילוז מורכבת מ-1000-4500 יחידות של גלוקוז. מסתן המולרית של שרשרות העמילוז היא לפיכך בתחום של $1.6-7.2 \times 10^5$ גרם למול. הסבירו את תחום המסה המולרית הנתון באמצעות חישובים.

תרגיל 13: חקר אירוע - עמילן וסירופ סוכר

עמילן כמקור לסירופ סוכר - יותר מתוק, פחות יקר

עצמו את העיניים ודמיינו שדה רחב ידיים של תירס. מה אתם רואים? סביר להניח, כי המילה סוכר לא עלתה בדעתכם. תופתעו בוודאי לדעת, כי מקורו של אחוז גדול יותר של ממתיקים בהם משתמשים במזונות מעובדים, הוא בתירס ולא בקנה הסוכר או בסלק הסוכר.

שוק הסוכר הנפוץ (הסוכרוז) מושפע ממחירי סלק הסוכר וקנה הסוכר. פעמים רבות, עובר שוק הסוכר טלטלות ומחירי הסוכר עלולים להכביד על כלכלת העולם. על מנת לפתור בעיה זו, ולו באופן חלקי, התפתח הצורך לייצר ממתיקים מעמילן. העמילן קיים בעולם בכמויות עצומות, בעיקר מגידולי תירס שהם זולים יחסית. ארצות הברית הינה המקור העיקרי לגידול תירס ולהפקת עמילן תירס.

עמילן התירס מספק לתעשיית המזון את החומרים הממתיקים הדרושים לה. הכיצד? באמצעות הפעלת אנזימי α עמילאז על עמילן התירס מתקבלים תחילה אוליגו-סוכרים. השלב הבא הוא שימוש באנזים גלוקועמילז המפרק את האוליגו-סוכרים ליחידות בודדות של גלוקוז. בדרך זו ניתן לקבל **סירופ עשיר בגלוקוז**. השאיפה הינה לקבל ממתיק בעל דרגת מתיקות גבוהה, אך הגלוקוז מדורג כבעל 70% ממתיקות הסוכרוז, כך שהסירופ המתקבל אינו מתוק דיו.

כדי להתגבר על קושי זה, פותח בתעשיית המזון תהליך להפיכת סירופ הגלוקוז לסירופ עשיר בפרוקטוז. הפרוקטוז מתוק ב-100% יותר מהגלוקוז! הפיכת הגלוקוז לפרוקטוז מתבצעת באמצעות האנזים גלוקוז איזומראז אותו הצליחו לשפר בשנות ה-70 של המאה העשרים באמצעות הנדסה גנטית. באופן זה, מתקבל סירופ עשיר בפרוקטוז בעל דרגת מתיקות גבוהה מזו של הסוכרוז. הסירופ המתקבל נקרא HFCS - High Fructose Corn Syrup והוא משמש רבות בתעשיית המזון להמתקת משקאות קלים, קטשופ, ריבות ועוד.

1. הסעיפים הבאים מתייחסים לסירופ עשיר בגלוקוז:
   א. מדוע התעורר הצורך בהפקתו?
   ב. רשמו סכמה להפקתו.
   ג. מדוע כמעט ולא משתמשים בסירופ זה להמתקת מזון?
   ד. איזה פיתרון נמצא להתאמתו לצרכי תעשיית המזון?

2. בטבלה בעמוד הבא, נתונים על הרכב (באחוזים) ומתיקות יחסית של מספר סירופים המופקים מעמילן תירס (HFCS) ומשמשים בתעשיית המזון.
   המתיקות היחסית מתייחסת לסוכרוז, שמתיקותו היחסית מוגדרת 100.

מרכיבים	סוג הסירופ המופק מעמילן תירס		
	רגיל	עשיר בפרוקטוז	עשיר מאוד בפרוקטוז
גלוקוז	52	40	7
פרוקטוז	42	55	90
אוליגו-סוכרים	6	5	3
מתיקות יחסית	100	105	140

א. האם הנתונים בטבלה מאשרים את פתרון הבעיה המוצגת באירוע? הסבירו.

ב. מה היתרון של השימוש בסירופ עשיר מאוד בפרוקטוז לעומת הסירופים האחרים? נמקו תוך התייחסות לשיקולים של תעשיית המזון.

הגליקוגן

הגליקוגן, כמו העמילן, הוא הומו רב-סוכר המורכב מיחידות גלוקוז. הוא דומה במבנהו לעמילופקטין אך שרשרותיו קצרות יותר, מכילות 10-12 יחידות בלבד ומידת הסתעפותו רבה יותר.

ריכוז גבוה במיוחד של גליקוגן מצוי בכבד ובשרירים, שבהם הוא משמש כחומר תשמורת. ריכוז הגליקוגן בתאי הכבד גבוה מזה שבשרירים (עד 10% ממשקלו של תא כבד לעומת 1%-2% ממשקל תא שריר), אך מכיוון שיש יותר תאי שריר מאשר תאי כבד, סך כל כמות הגליקוגן האגורה בהם גדולה יותר. מאגרי הגליקוגן בכבד מנוצלים בעת צום ונבנים מחדש לאחר הארוחה, ואילו מאגרי הגליקוגן בשרירים מנוצלים בעת מאמץ שרירים ונבנים מחדש בעת מנוחה. מאגרים אלו יכולים לספק אנרגיה לגוף למשך כ-12 שעות.

תרגיל 14: ניתוח מידע - מחלות אגירת גליקוגן

על-פי המידע שלפניכם, ענו על השאלות שבהמשך.

מחלות אגירת גליקוגן הן מחלות תורשתיות נדירות (מקרה אחד על כל 100,000 לידות), הנגרמות על ידי חוסר בפעילות אחד האנזימים במסלול הפירוק והסינתזה של גליקוגן. כתוצאה מכך, הגליקוגן נאגר בכבד ולא קיימת אפשרות של העברת גלוקוז לדם ולתאים מהכבד כאשר רמת הגלוקוז בדם יורדת. המחלה הראשונה של אגירת גליקוגן תוארה על ידי פון גירקה (Von Gierke) ב-1929. לחולה במחלה הייתה בטן ענקית כתוצאה מגדילה מסיבית של הכבד שלו וכן רמת גלוקוז נמוכה מאוד בדם בין ארוחות. ב-1952 גילו בני הזוג קורי (Cori) את הסיבה לאגירת הגליקוגן אצל חולי מחלת פון גירקה - חסר תורשתי באנזים גלוקוז 6 פוספטאז בכבד.

1. אלו מהפעולות הבאות תמליצו לחולים במחלה זו לבצע ואלו לא? הסבירו את המלצתכם לגבי כל אחת מהפעולות:
   - הזנה באמצעות החדרה של תמיסת גלוקוז לוריד באינפוזיה במהלך שינה
   - אכילה אינטנסיבית מאוד של מזון עשיר בפחמימות במשך היום
   - אכילת עמילן תירס בין הארוחות

- שמירה על הפרשי שעות גדולים בין ארוחה לארוחה
- השתלת כבד

2. היכנסו לאתר האגודה למחלות אגירת גליקוגן:

http://www.agsdus.org/html/whatisglycogenstoragedisease.html

אלו סוגים של מחלות כאלו קיימות? מה מאפיין אותן?

רב-סוכרים מבניים

סיבי התאית בצמחים והכיטין בחרקים ובסרטנים, הם הנותנים להם צורה, חוזק ותמיכה. לשם כך על הומו רב-סוכרים אלו להיות בעלי תכונות של צפידות וקשיחות, הנובעות ממבנה צפוף ומסודר, מבנה מרחבי סדיר.

תאית - צלולוז

התאית היא התרכובת האורגנית הנפוצה ביותר בטבע ומהווה כ-50% מסך כל תרכובות הפחמן ברוב הצמחים. הידרוליזה של התאית נותנת גלוקוז כתוצר יחיד. הכמויות העצומות של תאית המיוצרת על-ידי עולם הצומח מאפשרות עקרונית קבלת כמויות בלתי נדלות של גלוקוז. גלוקוז זה יכול לשמש הן בתעשיית המזון, והן כחומר גלם בתעשיית כהל אתילי (אתנול). כהל אתילי הינו דלק מצוין לכלי רכב ומנועי שריפה פנימית. כיום, משתמשים במקומות רבים בעולם, כמו בברזיל ובאזורים שונים בארה"ב, בתערובת בנזין - אתנול בכלי רכב, כאשר מקור האתנול הוא סוכר, אך לא תאית.

נשאלת השאלה מדוע לא משתמשים בתאית ובכך משחררים את העולם כולו מהתלות בנפט? התשובה היא, שבטבע אנזימים מפרקי תאית, הנקראים צלולזות, פועלים בקצבים איטיים. הידרוליזה של תאית על-ידי חומצות מינרליות חזקות אפשרית, אך היא מאוד בעייתית ואינה מהווה פתרון מוצלח. בעולם, וגם בישראל, מתקיים מחקר אינטנסיבי לגילוי ופיתוח צלולזות בעלות קצבי פעילות גבוהים שיאפשרו פירוק יעיל, מהיר ומלא של תאית. תוצאות יישומיות של מחקרים אילו יאפשרו את שיחרור העולם מהתלות בנפט. הבעיה הזו בתחום הביוטכנולוגיה ממתינה לפיתרון, אולם הטבע אינו חושף סודותיו בקלות.

התאית, בדומה לעמילוז, גם היא פולימר של יחידות D גלוקוז בעל שרשרות קוויות ובלתי מסועפות. בכל שרשרת כ-4000-5000 יחידות גלוקוז. אולם, בהבדל מעמילוז, בתאית קשורות יחידות הגלוקוז בקשרי β(1-4) ולא בקשרי α(1-4). כל יחידת גלוקוז מסובבת ב-180 מעלות יחסית לשכנתה, כך שהמבנה הנוצר הוא קווי וטבעות הגלוקוז נמצאות במישור אחד.

המבנה הקווי של השרשרת מיוצב על ידי קשרי מימן תוך שרשרתיים בין כל קבוצת OH על פחמן מספר 3 של טבעת גלוקוז אחת לבין אטום החמצן הטבעתי של היחידה השכנה.

עשרות רבות של שרשרות, הערוכות יחדיו במקביל, יוצרות משטח. השרשרות מקיימות ביניהן קשרי מימן לכל אורכן, בין כל קבוצת OH בשרשרת אחת לבין קבוצת ה-OH בשרשרת שכנה. קשרים אלו מייצבים את המבנה של המשטח. המשטחים ערוכים אחד מעל השני ומקיימים ביניהם קשרי ון-דר-ולס, כך שנוצר מבנה צפוף ומסודר המעניק לתאית חוזק וקשיחות ומאפשר לה לתפקד כחומר מבנה.

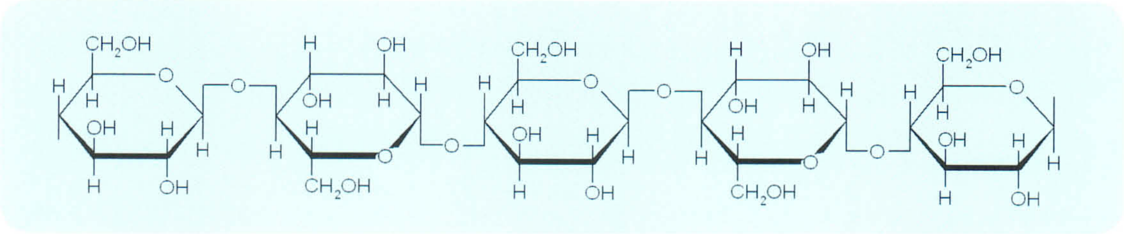
בעלי חוליות, וביניהם בני האדם, אינם מסוגלים לעכל תאית משום שאין במערכת העיכול שלהם אנזים ספציפי לפירוק הקשרים בין יחידות הגלוקוז המרכיבות אותה. תופעה זו משמעותית במיוחד אצל בעלי חיים הניזונים אך ורק מצמחים (כדוגמת פרות, כבשים וארנבות), שהמרכיב העיקרי במזונם הוא תאית. כיצד ייתכן, כי למרות זאת, משמשת התאית כמקור אנרגיה עיקרי למעלי הגרה? באוכלוסיית החיידקים המצויה במערכת העיכול של מעלי הגירה קיימים צלולזות (אנזימים מפרקי תאית), המפרקים את הקשרים הגליקוזידיים בין יחידות הגלוקוז ועל כן הם מסוגלים לעכל את התאית.

רופאים ודיאטנים רבים ממליצים על אכילת מזון מן הצומח. הסיבה לכך היא דווקא התאית ורב-סוכרים אחרים, הנקראים המיצלולוזות, שאינם מעוכלים על ידי האדם במעי הדק. התאית, שאינה מסיסה במים, והמיצלולוזות, שבחלקם אינם מסיסים ובחלקם מסיסים, מכונים **"סיבים תזונתיים"**. כיום, התאית מהווה מרכיב חשוב בסיבים תזונתיים ומייחסים חשיבות רבה לאכילת מזונות עשירים בסיבים תזונתיים. אכילתם משפרת את תהליכי העיכול, תורמת להורדת רמת הכולסטרול בדם, להורדת רמת הגלוקוז בדמם של חולי סוכרת, למניעת סרטן המעי הגס ולסיוע בשמירת תפריט דל אנרגיה. למבוגרים מומלץ לצרוך כ- 35-20 גר' סיבים תזונתיים ליום.

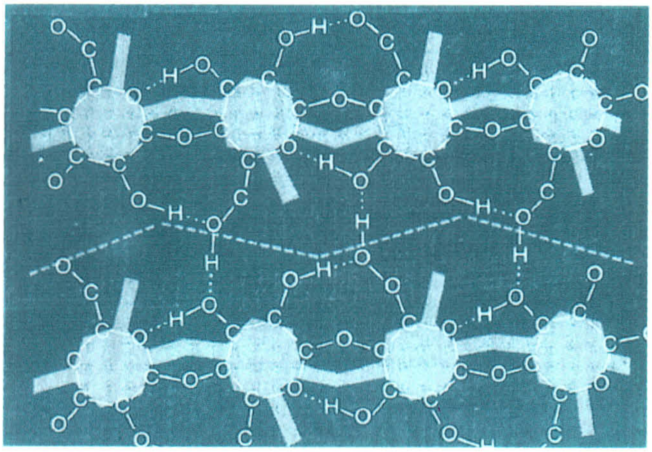
הסיבים אותם מומלץ להוסיף לתזונה היומית שלנו הם בעיקר אלה המצויים בדגנים המלאים, לחם חי, לחם שיפון, אורז מלא, גרנולה, שיבולת שועל ומאכלים דומים. גם פירות יבשים, שקדים ואגוזים, עשירים בסיבים וכן גם ירקות כמו כרוב, סלרי, ברוקולי, ובמיוחד סלק. הסיבים שעוזרים בהאטת מעבר הסוכר לדם נמצאים בעיקר בקטניות כמו שעועית לבנה, פולי סויה, עדשים, פול וגרגרי חומוס.

תרגיל 15: ניתוח מודלים מולקולריים ומידע - מבנה התאית וסיבים תזונתיים

1. לפניכם קטע של תאית המורכבת ממולקולות D גלוקוז:



איזה דו-סוכר יהיה תוצר הידרוליזה חלקית של תאית? ציירו אותו על פי שיטת הייוורת.



2. לפניכם איור המתאר את שרשרות התאית ואת האינטראקציות בין שתי שרשרות.
   א. סמנו על גבי האיור קשרים מימניים תוך שרשרתיים בין אטומי חמצן על הטבעת לבין קבוצות OH על C-3 בטבעות גלוקוז שכנות.
   ב. סמנו על גבי האיור קשרי מימן בין שרשרתיים.

3. כיצד לדעתכם, אכילת מאכלים עשירים בסיבים תזונתיים מסייעת בדיאטת הרזיה?

4. עיינו בטבלת הערכים התזונתיים בפירות כפי שמופיעים באתר:
   Http://www.metukim.co.il/nut/fruits.html
   א. אבוקדו מכיל כמות גבוהה יחסית של סיבים תזונתיים. עם זאת, לא מומלץ לאכול כמות גדולה ממנו ביום. מדוע?
   ב. בחרו ארבעה פירות בעלי תכולה גבוהה של סיבים תזונתיים (התייחסו הן לכמות הסיבים ב-100 גר' והן לגודל הפרי), התייחסו לערכים התזונתיים האחרים שלהם וכתבו את המלצתכם לצריכה יומית של פירות אלו. נמקו.

חלבונים על קצה המזלג

מטרות הפרק

היבט כימי	• הכרת מבנה ותכונות חומצות אמיניות • הכרה כללית של סוגי חלבונים ומיונם
היבט תזונתי	• הכרת מזונות עשירים בחלבונים
היבט חברתי/אישי	• הכרת חלבון הסויה והשפעתו על בריאותנו

תכנים ומושגים מרכזיים

היבט כימי	• מבנה חומצות אמיניות - דו-יון • מיון חומצות אמיניות לפי קבוצות הצד שלהן • מטען חומצות אמיניות כתלות בחומציות הסביבה • מבנה ראשוני של חלבון • קשר פפטידי ותגובת דחיסה לקבלתו • דנטורציה של חלבון • חלבוני החלב
היבט תזונתי	• חלבון בעל איכות תזונתית גבוהה, חלבון "מלא" • חומצות אמיניות חיוניות ולא חיוניות לגופנו • חומצה אמינית מגבילה במזון
היבט חברתי/אישי	• צריכה מאוזנת של חלבון כולל סויה

מה אנו יודעים על חלבונים?

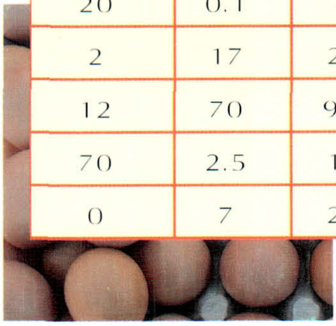
ידע מקדים

1. מדוע חלבונים הם מרכיב חיוני בתזונה שלנו? אלו מזונות עשירים בחלבונים?
2. כיצד בנויים חלבונים? מה מאפיין אותם מבחינה כימית?
3. מהן חומצות אמיניות חיוניות ולא חיוניות?

ניתוח מידע מטבלה

לפניכם מידע * אודות תכולת חלבונים, שומנים ופחמימות במזונות שונים: (בגרמים ל- 100 גרם מזון)

מאכל	חלבונים	שומנים	פחמימות	מאכל	חלבונים	שומנים	פחמימות
אבוקדו	1.5	15	5	חלב פרה	3	3	5
ביצה	13	12	0.9	עדשים	9	0.3	19
גבינה לבנה	12	5	3	מלפפון	0.6	0.2	2
גבינה לבנה	11	0.5	3	גזר	0.7	0.2	9
בשר בקר	25	25	0	תפוח אדמה	2	0.1	20
בשר הודו	30	3	0	גבינה צהובה	26	17	2
תפוח עץ	0.2	0.3	13	אגוזי פקאן	9.7	70	12
כרובית	1.5	0.1	4	חיטה	13	2.5	70
בננה	1	0.6	22	דג סלמון	25	7	0



1. האם יש בטבלה נתונים אשר הפתיעו אתכם? מדוע?
2. א. בהשוואה בין מזונות מהחי למזונות מהצומח, על אלו תמליצו כמקור טוב יותר לאספקת חלבונים לגופנו? נמקו באמצעות נתונים מהטבלה.

   ב. מבין המזונות שמקורם בצומח, אלו מהווים מקור טוב יותר לאספקת חלבונים לגופנו? נמקו באמצעות נתונים מהטבלה.
3. בשר הודו ובשר בקר מכילים כמות דומה של חלבון. עם זאת, בשר הודו מומלץ יותר למאכל. מדוע? נמקו באמצעות נתונים מהטבלה.
4. א. למי מהמזונות בטבלה ערך קלורי גבוה במיוחד? הסבירו את בחירתכם וצרפו חישובים מתאימים.

   ב. בהתחשב בערך הקלורי הגבוה של המזון אותו בחרתם, האם מומלץ לאכול אותו? הסבירו.
5. מדוע משקל החלבונים, השומנים והפחמימות אינו מסתכם ל - 100 גרם באף לא אחד מהמזונות המופיעים בטבלה?

* המידע לקוח מאתר הנטורופתיה הישראלי: http://naturemed.co.il/in_food.html

חלבונים במזון: "כל המרבה הרי זה משובח" - האומנם?

החלבון הוא אחד משלושת אבות המזון החיוניים לתיפקודו התקין של הגוף. החלבונים מהווים אבני בניין מרכזיות לרקמות השונות בגוף. בנוסף לתפקידם בבניית רקמות, כמו רקמות שריר, רקמות חיבור ורקמות עצם, לחלבונים תפקידים מגוונים בהיותם אנזימים, נוגדנים והורמונים.

החלבונים הם מולקולות גדולות מאוד, מאקרומולקולות, המורכבות ממיגוון של עשרים יחידות מבנה שונות הנקראות חומצות אמיניות. החלבונים שונים זה מזה ברצף החומצות האמיניות הבונות אותם. הגוף יכול לייצר בעצמו אחת עשרה חומצות אמיניות, מתוך העשרים הקיימות, ואת התשע הנותרות אין הגוף יכול לייצר ולכן יש לצרוך אותן מהמזון. ניתן לצרוך חלבונים הן ממזון שמקורו מהחי והן ממזון שמקורו מהצומח.

אין אגירה של חלבון או של חומצות אמיניות בגוף. עודפי חלבון, בכמויות שמעבר לדרוש לבניית רקמות או לצורכי אנרגיה, הופכים לשומן הנאגר בגוף. לכן, האימרה הנפוצה "כל המרבה הרי זה משובח" אינה נכונה לגבי צריכת חלבון במזון.

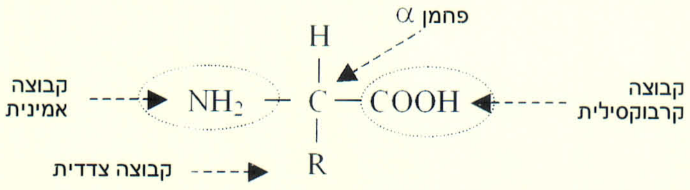
תזונה מערבית טיפוסית, המבוססת במידה רבה על בשר, ביצים וחלב ומוצריו, מכילה כמות גדולה מאוד של חלבונים, לעיתים גדולה פי שניים ואף פי שלושה מזו הדרושה לגוף. כאשר אוכלים חלבונים בכמויות כאלה, מתפרקים עודפיהם בגוף ויוצרים פסולת מזיקה. נמצא קשר בין צריכה מופרזת של חלבונים לבין עומס מיותר על הכליות, שיבוש תהליכי עיכול, פגיעה בעתודות הסידן בעצמות (הגדלת הסיכון לחלות באוסטאופורוזיס), פגיעה בחיידקים מועילים במעי ואף סכנה לסרטן המעי הגס.

חומצות אמיניות

מולקולות החלבונים הן מאקרומולקולות טבעיות, המכונות פוליפפטידים*. היחידות המרכיבות את שרשרות הפוליפפטיד נקראות חומצות אמיניות.

לכל החומצות האמיניות מבנה כללי משותף המתואר באיור 1.

איור 1: מבנה כללי של חומצה אמינית



$C\alpha$ אטום פחמן מרכזי המחובר לארבע קבוצות אטומים שונות:

א אטום מימן

ב קבוצה קרבוקסילית

ג קבוצה אמינית

ד קבוצה צדדית R המשתנה בין חומצה אמינית אחת לאחרת

* על הקשר הפפטידי בחלבונים, ראו פירוט בהמשך הפרק

קיימות 20 חומצות אמיניות שונות, הנבדלות זו מזו בקבוצה הצדדית שלהן והמהוות את אבני הבניין של החלבונים. תכונות החלבון נקבעות על פי סוג החומצות האמיניות הבונות אותו והרצף שלהן בשרשרת. לקבוצות הצדדיות השונות של החומצות האמיניות המרכיבות את החלבון יש חשיבות מכרעת בעיצוב המבנה המרחבי של החלבון. הקבוצות הצדדיות נבדלות זו מזו במבנה, בגודל, ביכולת שלהן ליצור קשרי מימן ובפעילות הכימית שלהן.

עובדה מעניינת היא, כי האיזומר L הוא הנפוץ בטבע, בדומה לאיזומר D של החד סוכרים, כפי שנלמד בפרק הפחמימות.

תרגיל 1: המבנה של חומצות אמיניות ופעילות מלוות רשת להכרתן

1. היכנסו לאתר http://biology.clc.uc.edu/courses/bio104/protein.htm.

תוכלו להתבונן במבנה החומצות האמיניות השונות באמצעות כפתור ה – SHOW ME.

א. בחרו את החומצה האמינית לויצין – Leucine. זהו את אטום הפחמן המרכזי ואת ארבע הקבוצות השונות הקשורות אליו. מהו ה – R של החומצה האמינית לויצין? ציירו נוסחת מבנה שלה.

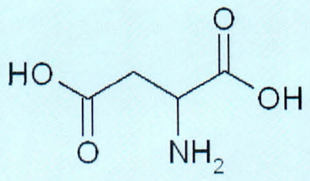
ב. באותו אופן בחרו את החומצות הבאות: מתיונין – Methionine, ליזין – Lysine וגליצין – Glycine. מהו ה – R? ציירו נוסחת מבנה שלהן.

ג. במה שונה הגליצין מהחומצות האמיניות האחרות שהכרתם?

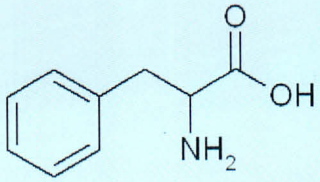
ד. אצל החולים במחלה הגנטית פנילקטונוריה PKU, חסר אנזים הקרוי פניל-אלנין הידרוכסילאז, המזרז את פירוק החומצה האמינית פניל-אלנין. כתוצאה מכך, החומצה האמינית פניל-אלנין מצטברת בגוף החולה. ריכוז גבוה בגוף של החומצה האמינית פניל-אלנין פוגע במערכת העצבים המרכזית, גורם לנזקים במוח בשנים הראשונות של התפתחות הילד ואף עלול להביא לפיגור שכלי. לכן, חשוב שהחולים במחלה זו לא יצרכו כמויות גדולות של פניל-אלנין.

מצאו את החומצה פניל-אלנין. מהי קבוצת ה- R שלה? ציירו מודל כדור-מקל שלה.

2. אספרטם, המוכר כממתיק דל קלוריות המהווה תחליף לסוכר (בעיקר במשקאות דלי קלוריות), הוא מורכב מצירוף של שתי חומצות אמיניות טבעיות: חומצה אספרטית ופניל-אלנין. לפניכם נוסחאות המבנה של שתי חומצות אלו:



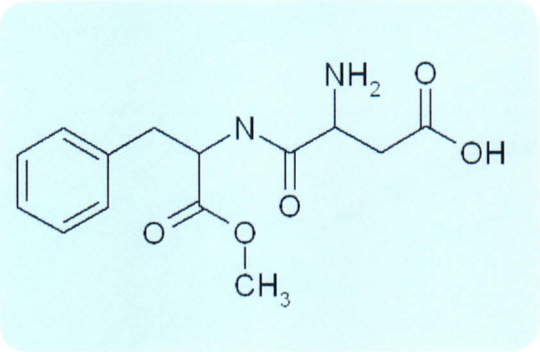
חומצה אספרטית



פניל –אלנין

א. מהן הקבוצות הצדדיות בחומצות אלו? רשמו את נוסחת המבנה המפורטת שלהן.

ב. לפניכם נוסחת המבנה של אספרטם:



I. זהו וסמנו את שתי החומצות האמיניות המרכיבות אותו.

II. איזו קבוצה של החומצה האספרטית ואיזו קבוצה של הפניל-אלנין יוצרות את הקשר בין שתי חומצות אלו ליצירת מולקולת האספרטם?

III. מדוע על אנשים הסובלים מהמחלה פנילקטונוריה להימנע מצריכת אספרטם?

החומצות האמיניות כדו-יון (Zwitterion)

על פי ההיכרות הראשונית עם החומצות האמיניות, ניתן היה להניח כי הן מולקולות ניטרליות ובלתי טעונות, אך תכונותיהן הפיסיקליות אינן תואמות הנחה זו. לדוגמה: מסיסותן של החומצות האמיניות בממסים שאינם קוטביים נמוכה מאוד, אך הן מסיסות במים – תכונה שאינה אופיינית לתרכובות פחמן. בנוסף לכך, לחומצות האמיניות נקודות היתוך גבוהות האופייניות יותר לחומרים יוניים מאשר לחומרים לא יוניים. תכונות פיסיקליות אלו מובילות למסקנה, כי החומצות האמיניות דומות יותר לתרכובות יוניות, הבנויות מחלקיקים טעונים, מאשר לחומרים מולקולריים, הבנויים מחלקיקים בלתי טעונים. ההסבר נטוע במבנה הייחודי של החומצות האמיניות – הן מכילות גם קבוצה קרבוקסילית וגם קבוצה אמינית.

הקבוצה הקרבוקסילית מתנהגת כחומצה ומאבדת בקלות פרוטון H^+ בתמיסה. קבוצה זו נותרת בעלת מטען שלילי על פי התהליך הבא:

$$-COOH + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons -COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)} \qquad (1)$$

הקבוצה האמינית מתנהגת כבסיס וקושרת פרוטון H^+ בתמיסה. כתוצאה, היא הופכת להיות בעלת מטען חיובי על פי התהליך הבא:

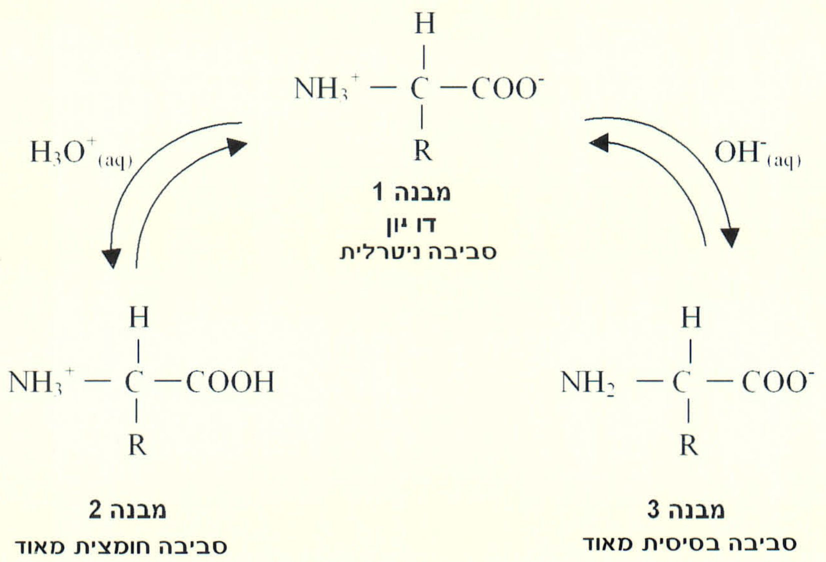
$$-NH_2 + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons -NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \qquad (2)$$

הקבוצה הקרבוקסילית והקבוצה האמינית נמצאות שתיהן על אותה מולקולה של חומצה אמינית ולכן מתקבל מבנה בעל אופי ניטרלי מבחינה חשמלית, אשר מכיל שני יונים בעלי מטען מנוגד – zwitterion (שמשמעותו בגרמנית דו-יון), כפי שניתן לראות באיור 2. מצב זה קיים כאשר pH התמיסה נע בין 5 ל-8. מבנה זה מקנה לחומצות אמיניות תכונות פיסיקליות דומות לאלו של חומרים יוניים.

תרכובות, כמו החומצות האמיניות, המסוגלות להגיב הן כחומצה והן כבסיס, נקראות תרכובות אמפוטריות.

בסביבה חומצית או בסביבה בסיסית, החומצה אינה מצויה במצב של דו-יון אלא באחד משני המבנים 2 או 3 המוצגים באיור 2.

איור 2: מבנים של חומצה אמינית כתלות בחומציות הסביבה



בתמיסה ניטרלית ($pH=7$), נמצאות רוב מולקולות החומצה האמינית במבנה 1, כלומר בצורת דו-יון.

בתמיסה חומצית מאוד, נמצאות רוב מולקולות החומצה האמינית במבנה 2, שבו הקבוצה הקרבוקסילית אינה מיוננת ($-COOH$) והקבוצה האמינית בעלת מטען חיובי (NH_3^+).

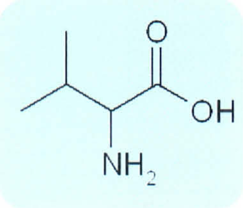
בתמיסה בסיסית מאוד, נמצאות רוב מולקולות החומצה האמינית במבנה 3, שבו הקבוצה הקרבוקסילית בעלת מטען שלילי ($-COO^-$) והקבוצה האמינית אינה מיוננת (NH_2).

תרגיל 2: מעברים בין צורות "יוני" - חומצות אמיניות

1. הנוסחה של החומצה האמינית גליצין היא: NH_2-CH_2-COOH.
   א. רשמו נוסחת מבנה של החומצה האמינית במצב של דו-יון ב - $pH=7$.
   ב. רשמו נוסחת מבנה של החומצה האמינית גליצין ב - $pH=1$.
   ג. רשמו נוסחת מבנה של החומצה האמינית גליצין ב - $pH=12$.

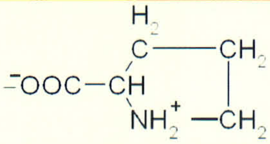
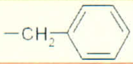
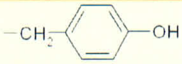
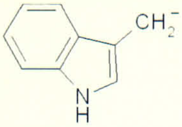
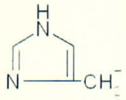
2. התבססו על תגובות שיווי המשקל (1) ו-(2) בעמוד הקודם והסבירו ברמה החלקיקית את שלושת המבנים השונים בהם ניתן למצוא את החומצות האמיניות בתמיסות בעלות רמות שונות של pH.

3. לפניכם נוסחת המבנה של החומצה האמינית ואלין:
   נוסחתה המולקולרית היא: $C_5H_{11}NO_2$
   רשמו נוסחת מבנה מפורטת (בה מצוינים כל האטומים) של החומצה האמינית ואלין כדו-יון המוקף במולקולות מים. הסבירו ברמה החלקיקית כיצד בחרתם לשלב את מולקולות המים ברישום.

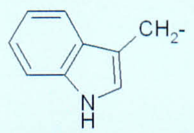


מיון החומצות האמיניות

בטבלה הבאה מוצגות 20 החומצות האמיניות, המהוות אבני בניין של חלבונים: השם, הסימול המקוצר המקובל באמצעות שלוש אותיות ובאמצעות אות אחת והקבוצה הצדדית.

קבוצה	שם החומצה	סימון		הקבוצה הצדדית **R**
1	Glycine – גליצין	Gly	G	$-H$
	Alanine – אלאנין	Ala	A	$-CH_3$
	Valine – ואלין	Val	V	$-CH(CH_3)_2$
	Leucine – לויצין	Leu	L	$-CH_2CH(CH_3)_2$
	Isoleucine – איזולויצין	Ile	I	$-CH(CH_3)CH_2CH_3$
	Proline – פרולין	Pro	P	
2	Phenylalanine – פניל-אלאנין	Phe	F	
	Tyrosine – טירוזין	Tyr	Y	
	Tryptophan – טריפטופן	Trp	W	
3	Serine – סרין	Ser	S	$-CH_2OH$
	Threonine – תראונין	Thr	T	$-CHOH$ (I CH_3)
	Asparagine – אספרגין	Asn	N	$-CH_2CONH_2$
	Glutamine – גלוטמין	Gln	Q	$-CH_2CH_2CONH_2$
4	Aspartic acid – חומצה אספרטית	Asp	D	$-CH_2COOH$
	Glutamic acid – חומצה גלוטמית	Glu	E	$-CH_2CH_2COOH$
5	Lysine – ליזין	Lys	K	$-CH_2CH_2CH_2CH_2N_2H_2$
	Arginine – ארגינין	Arg	R	$-CH_2CH_2CH_2NH-C(=NH)-NH_2$
	Histidine – היסטידין	His	H	
6	Cysteine – ציסטאין	Cys	C	$-CH_2SH$
	Methionine – מתיונין	Met	M	$-CH_2CH_2SCH_3$

את החומצות האמיניות ניתן למיין בהתאם לקבוצת הצד שלהן. חלק מהחומצות האמיניות הן בעלות קבוצת צד שאינן קוטבית: גליצין, אלאנין, פניל-אלאנין, ואלין, לויצין, איזולויצין, פרולין, מתיונין וטריפטופאן.
החומצות האחרות הן בעלות קבוצת צד קוטבית: סרין, תריאונין, אספרגין, גלוטאמין, היסטידין, ציסטאין, טירוזין, חומצה אספרטית, חומצה גלוטמית, ארגינין וליזין.


טריפטופן

יש לציין, כי ככל שהחלק הלא קוטבי בקבוצת הצד גדול יותר, כך יורדת מסיסות החומצה האמינית במים. לדוגמה, לטריפטופן קבוצה צדדית המכילה טבעת ארומטית (חלק לא קוטבי) וקבוצת –N–H היכולה ליצור קשרי מימן עם מולקולות מים. התרומה של החלק הלא קוטבי גדולה יותר מזו של החלק הקוטבי ולכן החומצה הינה בעלת מסיסות נמוכה יחסית. לעומת זאת, בחומצה האמינית סרין, הקבוצה הצדדית היא: CH_2OH-. בקבוצה זו, הידרוכסיל: OH, אשר יכול ליצור קשרי מימן עם המים וחלק לא קוטבי: CH_2- קטן יחסית בהשפעתו ולכן החומצה מסיסה במים.

תרגיל 3: מיון חומצות אמיניות על פי הקבוצה הצדדית שלהן

פסק זמן למחשבה על חשיבה... רמות הבנה בכימיה*

הכימאים נוהגים להתייחס למידע כימי במספר רמות של הבנה.
התרגיל שלפניכם כולל שתי שאלות, בהן נדרשות תשובות ברמות הבנה שונות.

שימו ♥ שתשובותיכם אכן ברמות הבנה אלו.

שאלות 1, 2, 3 מתייחסות לרמת הסמל – זיהוי קבוצות צדדיות של החומצות האמיניות.
שאלה 4 מתייחסת לקשר בין רמת הסמל, הרמה החלקיקית ורמת התהליך מכיוון שיש צורך להסביר את התהליך הקשור ביינון קבוצות הצד כתלות בחומציות הסביבה.

עיינו בטבלה המפרטת את החומצות האמיניות ואת הקבוצות הצדדיות שלהן המופיעה בפרק זה. הטבלה מחולקת לקבוצות על פי אופיין של קבוצות הצד, הקבוצות מופרדות זו מזו בשני קווים מפרידים.

1. רשמו נוסחאות מבנה לחומצה האמינית טירוזין (בקבוצה 2) ולחומצה האמינית איזולויצין (קבוצה 1), שתיהן ב- pH=7.

2. א. מה מאפיין את כל החומצות בקבוצה 1?
ב. בחומצה האמינית פרולין, קבוצת הצד קשורה הן לפחמן α והן לאטום החנקן בקבוצה האמינית שקשורה לפחמן α. בטבלה מצויירת החומצה כולה ולא הקבוצה הצדדית בלבד. סמנו את פחמן α בחומצה זו.

3. א. מה משותף לכל קבוצות הצד של החומצות האמיניות בקבוצה 2?
ב. מה משותף לכל קבוצות הצד של החומצות האמיניות בקבוצה 3?
ג. מה משותף לכל קבוצות הצד של החומצות האמיניות בקבוצה 6?

* הסבר על רמות הבנה בכימיה, ראו בנספח 1.

4. קבוצות הצד של החומצות האמיניות בקבוצה 4 ובקבוצה 5 עשויות להפוך למיוננות (בעלות מטען) בהתאם ל- pH של התמיסה בה הן נתונות.

א. ציירו את נוסחת החומצה האמינית חומצה אספרטית ב- pH חומצי מאוד, ב- pH ניטרלי וב- pH בסיסי מאוד. הסבירו את השוני בנוסחאות.

ב. ציירו את נוסחת החומצה האמינית ליזין ב- pH חומצי מאוד, ב- pH ניטרלי וב- pH בסיסי מאוד. הסבירו את השוני בנוסחאות.

חומצות אמיניות חיוניות

ניתן למיין את החומצות האמיניות לא רק לפי המבנה הכימי אלא גם על פי תפקידן בגוף, לפי היותן של החומצות חיוניות או לא חיוניות לגופנו.

גוף האדם זקוק לכל 20 החומצות האמיניות שהכרנו, אך הוא חסר את היכולת לייצר כמחצית מהן, בגלל חוסר באנזימים הדרושים לכך. החומצות האמיניות שהגוף אינו יכול לייצר נקראות חומצות אמיניות חיוניות ובני האדם חייבים לקבל אותן מחלבונים במזון. שאר החומצות האמיניות מיוצרות בגוף מחומרי ביניים במסלולים ביוכימיים שונים ולכן אינן חייבות להיכלל במזון. כאשר חסרות במזון חומצות אמיניות חיוניות, ספיגת החלבון ממערכת העיכול לדם תהיה יעילה פחות. חלבון המכיל את כל חומצות האמיניות החיוניות יספק לגופנו את צרכיו הביולוגיים.

כאשר מעריכים את צריכת החלבון של האדם, יש להתייחס הן לכמות הכוללת של החלבון בתזונתו היומית והן לאיכותו. כלומר, להימצאותן של כל החומצות האמיניות החיוניות בריכוז הדרוש. חלבון הביצה נחשב לחלבון בעל הערך הביולוגי הגבוה ביותר, כלומר החלבון המלא והמתאים ביותר לצורכי האדם, כיוון שהוא מכיל, ביחס המתאים, את כל החומצות האמיניות להן הגוף זקוק.

חלבונים שמקורם מן החי הם בעלי ערך תזונתי גבוה יותר מרוב החלבונים שמקורם בצומח. **דגנים** (אורז, חיטה, בורגול, סולת, תירס, שיבולת שועל) **וקטניות** (סויה, אפונה, שעועית, חומוס, פול, עדשים) הינם מקור צמחי לחלבונים.

חומצה אמינית המצויה במזון מסוים בריכוז נמוך ביחס לדרישות התזונתיות לאדם, נקראית **חומצה אמינית מגבילה**. את ערכם התזונתי של החלבונים הצמחיים מגבילות, בדרך כלל, שלוש חומצות אמיניות: מתיונין, המגבילה את הערך התזונתי של חלבוני הקטניות, ליזין, המגבילה את הערך התזונתי של חלבוני הדגנים, וטריפטופן, המגבילה את הערך התזונתי של חלבוני תירס. כיוון שכך, דיאטה המבוססת רק על אחד מהמזונות הללו איננה מספיקה.

בארצות מפותחות, חלקה הגדול של צריכת החלבונים מקורה במוצרים מן החי. בחלקים אחרים בעולם, בארצות המתפתחות, צריכת החלבונים היא ברובה ממקורות צמחיים. מכיוון, שחלבונים צמחיים רבים חסרים אחת או יותר חומצות אמיניות חיוניות, בתרבויות שונות, שתזונתן מתבססת בעיקר על חלבון ממקורות צמחיים, קיימים מאכלים המשלבים חלבונים שונים מהצומח. שילוב זה יוצר חלבון בעל ערך תזונתי גבוה. דוגמאות לשילוב כזה המוכרות

אצלנו הן חומוס עם פיתה או עדשים עם אורז (מג'דרה). ניתן לשפר את איכות הקטניות בשילובן עם אגוזים, שקדים, צנובר או סומסום – כגון חומוס עם טחינה. גם בסין נהוג לשפר את איכות החלבון שבירקות על-ידי שילובם עם הזרעונים: ירקות עם חופן גרעיני חמניות. עמים רבים במרכז אמריקה ניזונים ממאכל הנקרא "בוריטו", העשוי מקמח תירס וממולא בשעועית שחורה. שילוב זה של תירס וקטניות יוצר חלבון בעל ערך תזונתי גבוה.

הסויה היא קטנית יוצאת-דופן המכילה, בשיעורים טובים, את כל החומצות האמיניות הנחוצות לאדם מלבד החומצה האמינית מתיונין המצויה בסויה בריכוז נמוך.

תרגיל 4: ניתוח מידע מטבלה - חומצות אמיניות חיוניות

בטבלה שלפניכם, מתוארות תשע החומצות האמיניות החיוניות ומזונות שונים המכילים רמות משמעותיות של חומצות אלו. הנתונים בטבלה מתייחסים למ"ג חומצה בגרם חלבון.

החומצה האמינית	חלב (פרה)	ביצים	בשר בקר	דגים	אורז (חום)	גרעיני חיטה	סויה
תראונין – Thr	44	47	46	46	41	31	42
לאוצין – Leu	95	86	81	77	86	72	85
איזולאוצין – Ile	47	54	48	48	40	35	50
ליזין – Lys	78	70	89	91	*40	*31	70
מתיונין – Met	*33	57	40	40	36	43	*28
פנילאלאנין – Phe	102	93	80	76	91	80	88
ואלין – Val	64	66	50	61	47	53	58
טריפטופאן – Trp	14	17	11	11	13	12	14
היסטידין – His	27	22	34	35	26	25	28
אחוז תכולת חלבון	3.5	12	18	19	7.5	12	40

* חומצה אמינית מגבילה במזון

1. מה תוכלו להסיק מנתוני הטבלה על הרכב החומצות האמיניות של בשר בקר ושל דגים?

2. הרכב החומצות האמיניות של גרעיני חיטה ושל פולי סויה דומה מאוד (מלבד יחס החומצות מתיונין וליזין) ובכל זאת, סויה הנה בעלת ערך תזונתי גדול יותר בהשוואה לגרעיני חיטה. מדוע? נמקו בהתייחס לנתונים בטבלה.

3. תכולת החלבון בקמח חיטה מלא היא 13.3% ואילו בביצה היא 12.4%. אילו נקלעתם לאי בודד למשך שבוע ובתרמילכם ביצים בלבד או לחם מקמח מלא בלבד, מי משני המזונות היה בעל התרומה הרבה יותר לבניית חלבוני הגוף? הסבירו.

4. מדוע ההמלצה לאכול מאכלים כמו מג'דרה (אורז עם עדשים), חומוס בפיתה ודומיהם חשובה יותר לצמחונים מאשר לאנשים שאינם צמחונים?

תרגיל 5 - חקר אירוע ופעילות מלווה רשת בנושא אכילת סויה

קראו בעיון את המידע שלפניכם וענו על השאלות בהמשך.

הסויה - סיפורה של קטנית ייחודית

לפני עשר שנים, לא הייתם חושבים על טופו כמאכל מקובל, או מעלים על דעתכם לשתות חלב סויה. היום, בוודאי שמעתם עליהם או אפילו טעמתם מוצרי סויה, כמו מעדני חלב הסויה.

הסיבה למודעות הקיימת כיום למוצרי הסויה היא מסע הסברה ציבורי נרחב בשנים האחרונות, בדבר החשיבות של שילוב סויה בתזונתנו. מחקרים שונים הראו, כי בין החלבונים הצמחיים, לחלבון פולי הסויה יש ערך תזונתי גבוה כמקור לחלבון צמחי העשיר בוויטמינים ומינרלים. בשנת 1995 פירסם עיתון רפואי אנגלי תוצאות של שלושים ושמונה מחקרים, שהראו כי אכילת 50 גרם חלבון סויה ביום, במקום חלבון מהחי, מורידה את רמת הכולסטרול והטריגליצרידים בכעשרה אחוזים, וכתוצאה מכך מפחיתה את הסיכון למחלות לב. הפרטים הנוספים, ש"שכחו" לציין, הם כי זו כמות גדולה מאוד של סויה, אותה יש לאכול בשילוב מוצרים דלי שומן ופעילות גופנית סדירה.

מחקרים, שזכו להד נרחב אף יותר, הם אלו אשר הראו השפעה חיובית של אכילת סויה בקרב נשים ושהצביעו על הפחתת הסיכון לחלות בסרטן השד ועל הקטנת ההפרעות ההורמונליות בקרב נשים בגיל המעבר. מחקרים אלו נתמכו בעובדה, כי בקרב נשים ביפן, המשלבות כמות רבה יחסית של סויה בתזונתן, יש שיעור נמוך יחסית של מחלת סרטן השד.

מחקרים רבים נוספים, שנערכו בתחום אכילת הסויה, הביאו לממצאים מדאיגים. אכילת סויה טובה לנשים צעירות ובריאות, אך לנשים שחלו בסרטן שד או בעלות סיכון גבוה לחלות במחלה, אכילת כמות מוגברת של סויה, דווקא מחמירה ומאיצה את המחלה.

1. היכנסו לאתר soy on line: http:/www.soyonlineservice.co.nz/03soymyths.htm בחרו בחמישה מיתוסים, מעניינים לדעתכם, אודות צריכת סויה – רשמו את המיתוס ואת האמת המסתתרת מאחוריו.

2. קראו באתר (בעברית): http://scary-soya.dreamhost.com על נזקים מצריכה מוגברת של סויה בקרב ילדים, נשים וגברים. סכמו את הנאמר שם על מספר נזקים עיקריים.

3. כצרכנים נבונים, המודעים ליתרונות ולסיכונים אשר באכילת סויה, מה תעשו או תמליצו לבני משפחותיכם? האם המלצתכם תהיה דומה לבני משפחה שהם צמחוניים ולכאלה שאינם צמחוניים?

מבנה החלבונים

כל חלבון מתאפיין ברצף שונה של חומצות אמיניות המרכיבות אותו. רצף זה משפיע על האופן בו שרשרת החומצות האמיניות מתארגנת במרחב.

לחלבון מבנה מורכב מאוד המתואר בארבע רמות:

מבנה ראשוני מתייחס לרצף החומצות האמיניות המרכיבות את החלבון: סוגן, מספרן והסדר העוקב בו הן קשורות זו לזו. מבנה זה מכונה פוליפפטיד.

מבנה שניוני מתייחס לסידור המרחבי של קטעים בשרשרת החומצות האמיניות והוא מתקיים על ידי קשרי מימן.

מבנה שלישוני מתייחס לארגון המרחבי של השרשרת הפוליפפטידית כולה. כלומר, הארגון במרחב של כלל האטומים בשרשרת. את המבנה השלישוני מייצבים קשרי מימן, קשרים יוניים, קשרים בין שני אטומי גפרית וקשרי ון-דר-ולס .

מבנה רביעוני קיים רק בחלבונים המורכבים מכמה שרשרות פוליפפטידיות. רמה זו מתארת את האופן בו מספר שרשרות מאורגנות וקשורות זו לזו במרחב.

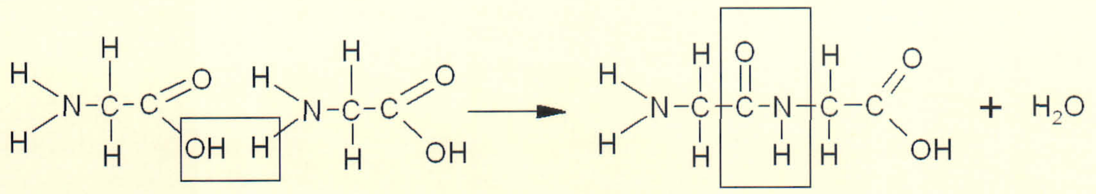
המבנה הראשוני של החלבון

כיצד ניתן להסביר את קיומם של מיליוני חלבונים, כאשר כולם מורכבים מאותן 20 חומצות אמיניות?
החומצות האמיניות מהוות את אבני הבניין של מולקולת החלבון והן נקשרות זו לזו באמצעות קשרים קוולנטיים הנקראים קשרים פפטידיים או אמידיים. סוגי החומצות, מספרן והרצף בו הן קשורות זו לזו בשרשרת הפוליפפטידית, יחד עם המבנה המרחבי של החלבון, הם האחראיים למיגוון החלבונים העצום המוכר לנו.

הקשר הפפטידי

הקשר הפפטידי הנוצר בין שתי חומצות אמיניות מתקבל בתגובת דחיסה, תוך יציאת מולקולת מים. איור 3 מתאר דו-פפטיד שהתקבל בתהליך דחיסה של שתי חומצות אמיניות גליצין וניתן לסמנו בסימון המקוצר: Gly – Gly. הקשר הפפטידי נקרא גם קשר אמידי.

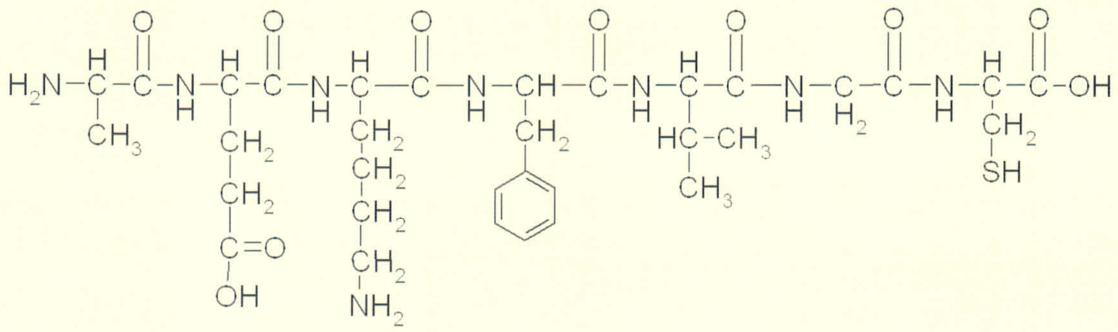
איור 3: תגובת דחיסה ליצירת הקשר הפפטידי



בפפטידים ובחלבונים קיימות חומצות אמיניות שונות, חלקן בעלות שיירים היכולים להתיין בהתאם לתנאי ה- pH בו הם נתונים. הדבר נכון גם לגבי הקצה האמיני ולגבי הקצה הקרבוקסילי.
כאשר מספר מועט (עד 10) של חומצות אמיניות קשורות ביניהן בקשרים פפטידיים, נוצר אוליגו- פפטיד.
כאשר מדובר במספר גדול של חומצות אמיניות הקשורות ביניהן, נוצרת שרשרת פוליפפטידית.

חלבון בנוי משרשרת פוליפפטידית אחת או יותר, כאשר כל שרשרת פוליפפטידית עשויה להכיל כמה עשרות עד אלפי שיירים של חומצות אמיניות. איור 4 מתאר אוליגופפטיד, אשר בנוי משבע חומצות אמיניות המחוברות ביניהן בקשרים פפטידיים.

איור 4: אוליגופפטיד אשר בנוי משבע חומצות אמיניות



תרגיל 6: יישום ידע כימי - מבנה ראשוני של חלבון

1. עיינו באיור 4:

א. רשמו את השמות של שבע החומצות האמיניות (משמאל לימין) מהן מורכב האוליגופפטיד.

ב. רשמו את נוסחת המבנה של האוליגופפטיד ב-pH ניטרלי.

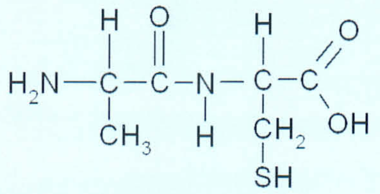
2. עיינו שוב בתגובת הדחיסה בין שני סוכרים אותה למדתם בפרק הפחמימות.

א. כיצד נקרא הקשר הנוצר בין שני סוכרים?

ב. ערכו השוואה בין תגובת הדחיסה של שתי מולקולות של חומצות אמיניות לבין תגובת הדחיסה בין שתי מולקולות של שני חד-סוכרים והשלימו את הטבלה הבאה:

	דחיסה בין סוכרים	דחיסה בין חומצות אמיניות
הקבוצות הפונקציונליות המגיבות		
תוצרי התגובה		
הקשר שנוצר (שם ונוסחת מבנה)		

3. לפניכם דו-פפטיד:



א. רשמו את נוסחת המבנה של שתי החומצות האמיניות המרכיבות דו-פפטיד זה ואת סימונו המקוצר.

ב. רשמו את נוסחת המבנה של הדו-פפטיד ב-pH בסיסי מאוד, חומצי מאוד וניטרלי.

4. ציירו באמצעות נוסחאות מבנה, תגובת דחיסה בין שתי מולקולות של חומצות אמיניות בהן תבחרו ואת התוצר – הדו-פפטיד המתקבל.

5. האנמיה החרמשית היא מחלה תורשתית, שזוהתה לראשונה בתחילת המאה הקודמת אצל חולים שסבלו מאנמיה חריפה וקשיי נשימה. בדיקה מיקרוסקופית של תאי הדם האדומים שלהם גילתה, כי לרבים מהם צורה מעוותת וחרמשית. תאי הדם החרמשיים הללו נלכדים בנימי הדם הזעירים מבלי יכולת לעבור אותם וכך הם גורמים נזקים חמורים לרקמות – בעיקר בעצמות ובכליות. מקור המחלה בחילוף חומצה אמינית אחת בחלבון ההמוגלובין המוביל חמצן בדם.
לפניכם מקטע של חומצות אמיניות בחלבון ההמוגלובין של אדם בריא ושל אדם חולה:

אדם בריא

Val – His – Leu – Thr – Pro – Glu – Lys

אדם חולה

Val – His – Leu – Thr – Pro – Val – Lys

נמצא, כי מסיסותו במים של המוגלובין של אדם חולה נמוכה ממסיסותו של המוגלובין של אדם בריא.
א. הציעו הסבר ברמה החלקיקית לשינוי במסיסות החלבון.
ב. בתופעת האנמיה החרמשית בא לידי ביטוי הקשר שבין שינוי קטן ברמה החלקיקית הגורם לשינוי משמעותי ברמת התופעה. הסבירו כיצד.

דנטורציה של חלבונים

המבנה הראשוני של חלבון, כלומר, הסדר העוקב של החומצות האמיניות, קובע את המבנה השניוני, השלישוני והרביעוני, ולכן קובע במלואו את המבנה המרחבי של המולקולה במצבה הטבעי. מבנים אלו רגישים לשינויים בתנאי הסביבה כגון חימום, הוספת חומצות, בסיסים, ממסים שונים וחשיפה לקרינה. שינויים אלו גורמים להרס המבנה המרחבי של החלבון, אך אינם פוגעים בקשרים הפפטידיים בין החומצות האמיניות הקובעים את המבנה הראשוני של החלבון. שינוי זה נקרא דנטורציה. הדנטורציה גורמת לשינויים בתכונות החלבון כגון: ירידה במסיסות, איבוד הפעילות הביולוגית ועלייה בצמיגות.
בחלבונים מסוימים בתמיסה מימית, השרשרת הפוליפפטידית מקופלת למבנה דחוס דמוי כדור המכונה מבנה גלובולרי (כדורי). במבנה זה, החומצות האמיניות בעלות קבוצות הצד הלא קוטביות מכונסות כלפי פנים ויוצרות ביניהן אינטראקציות ון-דר-ולס ואילו החומצות האמיניות בעלות קבוצות הצד הקוטביות פונות כלפי חוץ. בזמן דנטורציה נפרש המבנה הכדורי ומתקבלת שרשרת פוליפפטידית פרושה.
לדנטורציה יש השפעה חיובית על ערכו התזונתי של החלבון. במקרים רבים, החלבון בצורתו המקופלת אינו זמין לפעילות אנזימים מסוימים. לאחר תהליך דנטורציה, חלים שינויים במבנה המרחבי של החלבון והוא הופך זמין יותר לפעילות של אנזימים בתהליך העיכול.

תרגיל 7: יישום ידע כימי - דנטורציה של חלבונים

1. חלבון ("לבן") הביצה הוא תערובת של חלבונים אחדים. לרובם מבנה מרחבי דמוי כדור.
   א. הסבירו ברמה החלקיקית מדוע חלבון הביצה מסיס במים.
   ב. לאחר חימום, עובר חלבון הביצה תהליך דנטורציה ומאבד את מסיסותו במים. הסבירו עובדה זו ולוו את הסבריכם באיור.
2. א. החלבון קזאין הינו החלבון העיקרי המצוי בחלב והוא אינו עובר דנטורציה בזמן חימום ואף בזמן הרתחת החלב. מה תוכלו להסיק לגבי המבנה המרחבי של הקזאין?
   ב. בזמן הרתחת החלב, נוצר קרום על פני החלב שמקורו בחלבונים נוספים בחלב. מה תוכלו להסיק לגבי המבנה המרחבי של חלבונים אלו? נמקו.

תרגיל 8: חקר אירוע - חלבוני החלב

על חלב, גבינה ומה שביניהם

חלב הינו חומר מזון בסיסי בעל תכונות מדהימות ואנו צורכים אותו מיום היוולדנו ולאורך כל חיינו. האם חשבתם פעם כיצד יתכן שמחומר גלם אחד, חלב, מכינים עשרות ומאות מוצרים?

נשתדל על קצה המזלג להבין מה קורה בחלב כאשר מייצרים ממנו גבינה.

חלבוני החלב נחלקים לשני סוגים:

1. חלבוני הקזאין, שהם תערובת של ארבעה סוגי חלבונים, המהווים כ-80% ממסת חלבוני החלב.
2. חלבוני מי הגבינה, המהווים כ-20% ממסת חלבוני החלב. הם קרויים כך משום שבעת הגבנת חלב לייצור גבינה, חלבונים אלה נשארים בתמיסה הקרוייה מי-גבינה.

לחלבוני הקזאין (בקיצור נכנה אותם קזאין) יש מבנה פתוח, לא מצונף ולא דחוס. הם מכילים ריכוז גבוה יחסית של חומצות אמיניות לא קוטביות. חלב מכיל גם ריכוז גבוה של סידן, כ-1.2 ג' לליטר. המבנה המיוחד של הקזאין ונוכחות סידן גורמים להיווצרות קומפלקסים גדולים של קזאין עם סידן וזרחן (פוספט). קומפלקסים אלה, הקרויים מיצלות הקזאין, יציבים מאוד בפני חימום וכל אחד מהם מכיל מאות ואלפי מולקולות קזאין. מיצלות הקזאין הן הגורם לצבעו האופייני (החלבי) של חלב, משום שהן גורמות לפיזור קרני האור הפוגעות בחלב.

כשמייצרים מחלב גבינה מכל סוג שהוא, מוסיפים לחלב כמות זעירה ביותר של אנזים הקרוי רנין-כימוסין. האנזים מפרק באחד מחלבוני הקזאין, הקרוי קאפא קזאין, קשר ספציפי בין החומצות האמיניות פנילאלנין[105]- מתיונין[106]. שבירת קשר יחיד זה במולקולות הקאפא קזאין (המהוות רק 15% ממסת הקזאין), המכילות 169 חומצות אמיניות כל אחת, מקטינה באופן קיצוני את יציבות מיצלות הקזאין וגורמת להקרשת החלב. הפרדת מי הגבינה מהקריש נותנת את הגבן (גבינה גולמית). באמצעות טיפול שונה בגבן, או הוספת חיידקים שונים, מקבלים מוצרי חלב שונים כגון: יוגורט, לבן, לבנה ועוד.

1. הסבירו, לפי המידע בקטע הנ"ל, את המושגים הבאים: מי גבינה, קאפא קזאין, גבן.

2. לפניכם טווח ממוצע של מרכיבי חלב פרה בעולם המערבי:

מרכיב	טווח ממוצע באחוזים
מים	87.7 - 85.4
שומן	5.1 - 3.4
חלבון	3.9 - 3.3
לקטוז	5.0 - 4.9
אפר	0.74 - 0.68

לפי הטבלה, לאחד ממרכיבי החלב טווח ממוצע רחב יחסית. מהו מרכיב זה? הציעו השערה היכולה להסביר זאת.

3. חלבון קאפא קזאין מכיל 169 חומצות אמיניות. האנזים רנין-כימוסין מפרק את הקשר בין החומצה האמינית פניל אלנין ובין החומצה האמינית מתיונין. היעזרו בטבלת החומצות האמיניות וציירו, באמצעות נוסחאות מבנה, את הקשר הנוצר בין שתי חומצות אלו. האם קיימת יותר מאפשרות אחת? נמקו.

4. לעתים נדירות, ניתן לראות כיצד שינוי פעוט ברמה המולקולרית (מיקרוסקופית) גורם לשינוי גדול ונראה לעין ברמה המאקרוסקופית. זה מה שקורה כאשר חלב הופך לגבינה. פרטו זאת בהתאם למידע בקטע.

5. א. נסחו 2-3 שאלות שעולות מקריאת הקטע ושעליהן אין בקטע זה תשובות.
ב. היכן ו/או כיצד ניתן למצוא תשובה לכל אחת מהשאלות אותן העליתם?

6. האדם צורך חלב מרגע לידתו ולאורך כל חייו ולא הוטל ספק בדבר חשיבותו. לאחרונה, הועלו ספקות לגבי יתרונותיו התזונתיים של החלב ויש הטוענים, כי האדם אינו זקוק לחלב והוא אף מזיק לבריאותו.
היכנסו לאתר: http://gamnon.net/AG-NewHerbal/Glossary/H-Milk.htm
א. סכמו את יתרונותיו של החלב לתזונתו של האדם ואת הטענות כנגדו.
ב. כצרכנים נבונים, מה תעשו בעקבות קריאת כתבה זו? נמקו את תשובתכם.

7. ניתן לייצר גבינות לבנות באמצעות הפרדת הקזאין מהחלב על-ידי החמצתו. מיצלות הקזאין טעונות במטען שלילי. עם הוספת חומצה לחלב, יוני H_3O^+ מהחומצה "מנטרלים" את המטען השלילי של המיצלות וכתוצאה הן אינן מתמוססות במים ושוקעות.
ניתן לבצע זאת בדרך הבאה:
- יש לקחת חצי כוס חלב ולחמם על גבי פלטה לטמפרטורת החדר (כ- 20 מעלות צלזיוס).
- להוריד מהפלטה ולהוסיף 2 כפיות חומץ שולחני 5% ולערבב היטב.
- יש לחכות 5 דקות. נוצרים גושים לבנים של קזאין.
- ניתן להפרידם ממי החלב באמצעות סינון בנייר סינון או מגבת נייר רב-פעמית.

מטרתכם הינה למצוא את התנאים האופטימאליים לייצור גבינה בדרך זו.
א. בצעו את הניסוי ותארו את תצפיותיכם.
ב. נסחו 2 שאלות חקר אותן ניתן לחקור בהקשר לניסוי אותו ביצעתם.
ג. בחרו באחת השאלות, נסחו משתנים וגורמים קבועים ותכננו ניסוי לבדיקתה של שאלה זו.
ד. בצעו את הניסוי שהצעתם וסכמו את ממצאיכם. האם קיבלתם תשובה מלאה למטרה שהוצבה לעיל? נמקו.

טעמים של כימיה

מטרות הפרק

היבט כימי	• הכרת המבנים המולקולריים האופייניים לטעמי המזון השונים • הכרת החומצות העיקריות בפירות
היבט תזונתי	• הכרת הגורמים המעורבים בתהליך בו אנו חשים בטעם של מזון • היבטים מעוררי עניין בהקשר למזונות שונות
היבט חברתי/אישי	• משמעות חוש הטעם האנושי וההבדל בין בני-אדם בהקשר זה • הקשר בין חמשת טעמי המזון ליכולת ההישרדות האנושית

תכנים ומושגים מרכזיים

היבט כימי	• קשרי מימן בין הקבוצה הגלוקופורית לבין החלבון בפקעיות הטעם האחראי על הטעם המתוק • יוני הידרוניום ותחושת הטעם החמוץ • יוני מלחים והטעם המלוח • הקשר בין קוטרם של יוני המלחים ובין תחושת הטעם המלוח או המר • מבנה מולקולרי אופייני של תרכובות אלקלואידיות האחראיות לטעם המר • החומצה הגלוטאמית והמלח שלה האחראים לטעם אוממי • מולקולות אופייניות לתחושת החריפות
היבט תזונתי	• גילוי ממתיקי המזון הנפוצים: סכרין, ציקלאמט ואספרטם • תוספי מזון • מזונות המכילים מונוסודיום גלוטאמט
היבט חברתי/אישי	• המודעות להקטנה בצריכת מלח • החומר המר ביותר המוכר • תסמונת המסעדה הסינית (או מחלת קווק) • סקלת סקוויל לחריפות

מה אנו יודעים על הכימיה של טעמי המזון?

ידע מקדים

1. אלו טעמים הנכם מכירים?
2. כיצד אנו חשים בטעם?
3. האם קיים הסבר מדעי למשפט הידוע: "על טעם ועל ריח אין להתווכח"? אם כן, מהו?
4. מה מאפיין את המולקולות האחראיות לטעם המתוק, החמוץ, המלוח והמר?

ניתוח מידע מגרף

הגרף הבא מתאר בצורה כללית את הקשר בין ריכוז חומר טעם במזון לבין תחושת הטעם האופיינית לו.

בגרף ניתן להבחין בשלושה תחומים: 1- תחום ישר ללא שינוי, 2 - תחום של עליה ו- 3- תחום ישר נוסף של התייצבות.

1. סמנו תחומים אלו על הגרף.
2. רשמו את השערתכם למשמעות העקום בכל אחד מהתחומים.
3. מה תוכלו להסיק לגבי הקשר בין תחושת הטעם ובין ריכוז החומר המעורר את הטעם?
4. לאנשים שונים תחושת טעם שונה. **הציגו**, על גבי אותה מערכת צירים, עקומה נוספת העשויה להתקבל אצל אדם אחר. **הסבירו** את השוני בין שני האנשים מבחינת תגובתם לחומר הטעם.

טעם - הכול עניין של כימיה...

חוש הטעם הכרחי לקיומנו מכיוון שהוא מסייע לנו לקבוע האם מאכל מסוים ראוי לאכילה או מסוכן עבורנו. אנו אוהבים מאכלים בטוחים לגופנו ולא אוהבים את אלו המסוכנים לנו. זו תכונה בסיסית הטבועה בכל אדם. עם זאת, טעימת מזון הינה השלב האחרון בהגנה על גופנו ממזון מזיק או מסוכן. תחילה אנו רואים את המזון ובוחנים אותו (מה צבעו וצורתו?), מריחים אותו, לעיתים נוגעים בו (האם הוא קשה או רך?) ואף מקשיבים לקול של שבירתו (האם הוא פריך?). בהתאם, אנו יודעים לאיזה טעם לצפות כשנאכל אותו וזאת על-פי הזיכרון הטבוע בנו מניסיוננו הקודם במאכלים דומים. זו אחת הסיבות לכך, שאנשים שונים חשים טעם שונה של אותו מאכל בדיוק.

עדות לאופי השיפוט שלנו לגבי טעמו של מזון, המבוסס על כל חושינו ועל זיכרוננו, ניתן למצוא בניסויים רבים שנערכו בהקשר לטעמי מזון. אחד המחקרים הראה, כי כאשר תותי גינה נצבעו בצבע צהוב, מומחים לטעם ציינו כי זיהו בתותים גם טעם של אננס. משהוגש אותו סוג תותים בצבעם הטבעי לא הייתה הטיה בטעם. בניסוי אחר, בו השתתפו טועמי יין נודעים, הוגשו יינות לבנים. הטועמים זיהו את כל המאפיינים של אותם יינות לבנים. תיאוריהם כללו ציון טעמים וניחוחות של דבש, משמש, אפרסק הדר, אשכולית ואף אננס. משנצבעו אותם יינות בצבע מאכל אדום סגול עמוק, חסר ריח וטעם, תיארו הטועמים את היינות כיינות אדומים תוך ציון טעמים שונים שכללו גם טבק, אלון, פטל, תות, פלפל ופירות יער.

כיצד אנו חשים בטעם?

טעם של מזון הינו צירוף של שני חושים: חוש הטעם וחוש הריח. שני חושים אלו קשורים האחד בשני מכיוון שמרכיבים נדיפים באוכל המגיע לפה מתפשטים דרך חלל הפה למערות האף. כאשר אנו מצוננים ואיננו יכולים להריח, גם לא נוכל לחוש את טעמי המזון.

פעילות חוש הטעם והריח הינה כימית והיא תלויה באינטראקציה של מולקולות ויונים עם תאי החישה. בכך, מהווים החושים גשר של העברת מידע מהסביבה החיצונית לסביבה הפנימית בגופנו. אומנם המגע עם המזון נעשה באמצעות הלשון, אך המוח הוא זה שקובע את תחושת הטעם.

על הלשון ממוקמות בליטות קטנות. כל בליטה שכזו היא פקעית טעם הבנויה מ- 50 עד 100 תאי חישה. תאי החישה בנויים מחלבונים הרגישים לחומרים כימיים ספציפיים שיש במזון וכאשר אלו באים אתם במגע נוצר דחף עצבי המועבר למוח - למרכז האחראי על הטעם.

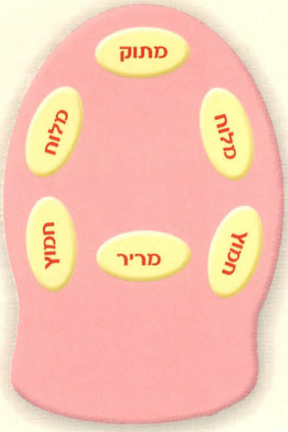
לאנשים שונים מספר שונה של תאי חישה הרגישים לטעם. אנשים, שלהם בין 300 ל-400 תאי חישת טעם לסנטימטר רבוע, נחשבים לאנשים בעלי יכולת טעימה מיטבית. אצל אנשים המהווים את ממוצע האוכלוסייה, צפיפות תאי החישה היא כ-200 תאים לסנטימטר רבוע. אצל אנשים שחוש הטעם שלהם פגום, צפיפות תאי החישה שלהם הינה פחות מ-100 תאים לסנטימטר רבוע. משך החיים של תאים אלה, שהם תאי עצב מיוחדים, נע בין שבוע לשבועיים. הם מתחדשים באופן מתמיד, כך שתמיד מצויים תאי חישה פעילים על הלשון.

על מנת שמולקולות של חומר יעוררו את חוש הטעם, החומר צריך להיות מסיס במים. רק בדרך זו המולקולות יכולות לחדור לתאי חישת הטעם על פני הלשון. הטעם של חומרי טעם לא קוטביים, שאינם מסיסים במים,

יבוא לידי ביטוי רק כאשר הם מופיעים במזון המכיל שומן שבו הם מסיסים. בהתאם למבנה ולאירגון אופייני של קבוצת אטומים במולקולה, נקבע הטעם האופייני למולקולה. סידור האטומים בקבוצה זו צריך להתאים למבנה הקולטן שהוא חלבון הנמצא בתאי הטעם ומקיים את ההתקשרות עם חומר הטעם. נוצר קשר מימני ונשלח אות מהתאים למוח לקבלת תחושת הטעם המתאימה.

תאי החישה מפוזרים על פני הלשון תוך יצירת איזורים שונים, כשבכל איזור קיים ריכוז גבוה יחסית של תאי חישת טעם מסוג מסוים. תאי החישה של ארבעת טעמי המזון הבסיסיים מפוזרים על פני הלשון, כפי שניתן לראות ב"מפת הלשון" שבאיור 1.

איור 1: "מפת הלשון"
אזורי הטעמים בלשון



בקדמת הלשון מרוכזים תאי החישה של הטעם המתוק, בצדדים: מלוח מלפנים וחמוץ מאחור, ובצד האחורי של הלשון – הטעם המר. היום, יש המערערים על "מפת הלשון" וטוענים כי כל סוגי הטעמים יכולים להיקלט על פני כל שטח הלשון.

ישנו טעם חמישי, שהובחן מזמן, אך קיבל הכרה ברורה בשנים האחרונות, והוא נקרא אוממי (umami). זהו הטעם הבלתי מוגדר של מלח החומצה האמינית: גלוטאמית, והוא מאפיין את הטעם הבשרי. ניתן למצוא אותו במזונות שונים, כמו עגבניות, גבינת פרמזן, רוטב סויה. חומר זה מגביר את הטעמים האחרים ונוהגים להוסיף אותו למזונות בצורת מונוסודיום גלוטאמט (MSG).

חריפות אינה נחשבת לטעם מכיוון שהיא מגרה את קולטני הכאב שבפה ובלשון ולא את קולטני הטעם.

לטעמים השונים יש קשר ליצר הקיום שלנו. לדוגמה:

- משיכה לטעם מתוק עשויה להוות יתרון כיוון שהסוכר הוא מקור אנרגיה מיידי.
- נטייה לאכילת מאכלים מלוחים עשויה להיות יתרון כיוון שלמלח בישול (NaCl) חשיבות פיסיולוגית בגוף.
- לרתיעה מטעם מר עשוי להיות יתרון משום שחומרים רעילים הם לעיתים קרובות מרירים. המרירות מהווה אזהרה עבורנו.

עם זאת, בחברת השפע המערבית, נטיות טבעיות אלו מובילות לעיתים לצריכה מוגזמת של סוכר, מלח ומונוסודיום גלוטאמט. המגמה כיום היא לחנך אנשים לצרוך מזון בצורה מושכלת, תוך הפעלת שיקול דעת המבוסס על ידע והבנה

מתיקות - הטעם המתוק

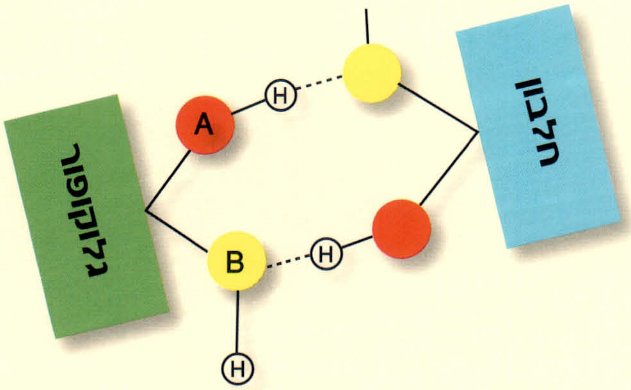
אומנם אנו חושבים על סוכרים כמאפיינים את הטעם המתוק, אם כי מרבית הסוכרים פחות מתוקים מסוכרוז (הסוכר המוכר לנו מהשימוש הביתי) כפי שניתן לראות בטבלה הבאה:

סוג הסוכר	סוכרוז	גלוקוז	פרוקטוז	גלקטוז	מאנוז	מלטוז	רפינוז
מתיקות יחסית	1	0.7	1.4	0.5	0.45	0.43	0.22

לתרכובות אורגניות רבות טעם מתוק, ביניהן: חלבונים מסוימים (כמו מונלין וטאומטין, שלהם מתיקות הגבוהה פי 2000-3000 ממתיקות סוכרוז), שתנן (אוריאה), סולפמטים, חומצות אמיניות (כגון: גליצין), אנילידים ועוד. גם תמיסות של מלחים שונים, כמו מלחי בריליום ומלחי עופרת, הן מתוקות.

מחקר רב נעשה במטרה לאפיין את המבנה המולקולרי האחראי על תחושת הטעם המתוק. המודל המקובל מתייחס לקבוצת אטומים הנקראת גלוקופור (glucophore), אשר המבנה המרחבי שלה תואם במדויק את מבנה החלבון בפקעיות הטעם שבקדמת הלשון, האחראיות על הטעם המתוק. בתהליך, נוצרים קשרי מימן בין קבוצת האטומים לבין אתרים מתאימים בקולטן, וכן בין אתר לא קוטבי בחומר המתוק לבין אתר לא קוטבי בקולטן. ככל הנראה, התאמה גיאומטרית גבוהה בין אתרי הקישור בחומר המתוק לבין אתרי הקישור בקולטן, מגבירה מאוד את המתיקות. כתוצאה מההתקשרות הספציפית, נוצר אות ומתפתח דחף עצבי המועבר למוח. ניתן לראות את קבוצת הגלוקופור כ"מפתח מולקולרי" ואת החלבון בפקיעית הטעם כ"מנעול מולקולרי". איור 2, מתאר בצורה סכמאטית את יצירת הקשר המימני בין קבוצת הגלוקופור והחלבון בפקיעית הטעם. האטומים A ו- B הם בדרך כלל אטומי חמצן אך יכולים להיות גם אטומי חנקן והם אלו אשר יוצרים את הקשר המימני.

איור 2: מודל מנעול-מפתח מולקולרי האחראי לטעם המתוק



פרוקטוז הינו הסוכר הטבעי המתוק ביותר (ניתן לראות זאת גם בטבלה שלמעלה), כאשר הוא במבנה של טבעת משושה. סוכרוז מתוק מגלוקוז, כפי הנראה עקב הימצאותן של שתי קבוצות גלוקופוריות במבנה המתאים לשני חלבונים בתאי הטעם. לעומת זאת, עמילן אינו מתוק למרות שהוא מכיל קבוצות גלוקופוריות רבות. הסיבה היא ההפרעה המרחבית של הקבוצות האחרות במולקולה.

בטעם המתוק קיימת תופעה מענינת הנקראת **סינרגיזם**. בתערובת בין חומרים מתוקים מסוימים, המתיקות של התערובת גבוהה יותר מהמתיקות המחושבת שאמורה להיות לתערובת. לדוגמה, תופעת הסינרגיזם קימת בתערובת של הממתיקים אספרטם ואסולפם קיי. זו הסיבה, שבמקרים רבים, ממתיקים משקאות קלים דיאטטיים בתערובת של שני ממתיקים אלה. צירוף של ממתיקים מאפשר להשתמש בריכוזים יותר נמוכים של כל ממתיק לקבלת רמת המתיקות הרצויה במשקה.

תרגיל 1: "ישום ידע, הבנה ופעילות מלווה רשת - הטעם המתוק"

1. נסחו שאלה על ההיבט הכימי הקשור בטעם המתוק, אשר לא קיבלתם מענה עליה.

2. קיימות גם מולקולות קטנות, כמו אתילן גליקול וגליצרול, שהן בעלות טעם מתוק.
   הנוסחה המולקולרית של אתילן גליקול היא: $C_2H_6O_2$ ושל גליצרול: $C_3H_8O_3$.
   א. בהתייחס למודל "מפתח-מנעול", האחראי ליצירת הטעם המתוק, **ציירו** נוסחאות מבנה לשני החומרים **והסבירו** את בחירתכם למבנה המולקולרי שהצעתם.
   ב. גליצרול הנו בעל טעם מתוק וניתן למצוא אותו במוצרי מזון שונים ואילו אתילן גליקול הינו רעיל ביותר ועלול לגרום למוות. האם לדעתכם, מבנה החומרים הללו יכול להעיד על שוני מהותי זה ביניהם?

3. רבות מהחומצות האמיניות מסוג D (אשר כמעט ואינן נוצרות באופן טבעי), הן מתוקות. אך האיזומרים האופטיים שלהן, חומצות אמיניות מסוג L, עשויות להיות מתוקות, מרות או חסרות טעם. כיצד תסבירו זאת ומה תוכלו להסיק מכך?

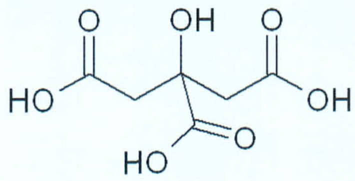
4. חפשו מידע על שלושת הממתיקים המלאכותיים הנפוצים: סכרין (saccharin), ציקלמאט (cyclamate) ואספרטם (aspartame).
   א. ציירו נוסחת מבנה לכל אחד מהחומרים והסבירו מדוע יש להם טעם מתוק.
   ב. הכינו סיכום קצר על תהליך הגילוי של כל אחד מהחומרים ועל הסכנות הכרוכות בשימוש בו. כתבו את הסיכום בצורה מעוררת עניין.
   ג. הסבירו מדוע ממתיקים אלו הם דלי-קלוריות.
   ד. ציינו בצורה מפורטת את המקורות בהם השתמשתם.

חמיצות - הטעם החמוץ

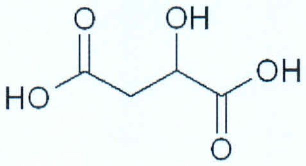
חמיצות נגרמת מנוכחות יוני הידרוניום H_3O^+, המשתחררים מחומצות כמו החומצה האצטית (CH_3COOH) הנמצאת בחומץ, החומצה הזרחתית (H_3PO_4) הנמצאת בקוקה-קולה, וחומצה פחמתית (H_2CO_3) הנמצאת בסודה. תאי החישה בצידי הלשון מכילים מולקולות של חלבון העשירות בקבוצה הקרבוקסילטית ($-COO^-$). קבוצה זו נוצרת כאשר משתחרר מימן מקבוצה קרבוקסילית ($-COOH$). כאשר נוצרת סביבה חומצית בלשון, נקלטים יוני ההידרוניום על-ידי הקבוצה הקרבוקסילטית בחלבון. כתוצאה מכך, חל שינוי במבנה מולקולות החלבון בתא החישה, שגורם ליצירה והעברה של אות מתאים למוח, המתורגם לתחושה המאפיינת טעם חמוץ.

בתעשיית המזון, תוספת, אפילו קטנה ביותר, של חומצה למוצר, גורמת לטעם חמצמץ.

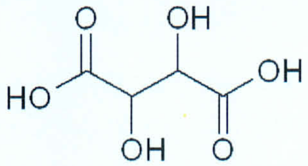
במרבית הפירות ובמיצי הפירות, הטעם החמוץ נוצר עקב הימצאותן של שתי חומצות: החומצה הציטרית והמלית. בענבים נמצאת בעיקר החומצה הטרטרית.



חומצה ציטרית



חומצה מלית



חומצה טרטרית

בתעשיית הירקות הכבושים, כרוב, פילפל, עגבניה ומלפפון, החומצה הלקטית (חומצת החלב) היא האחראית לטעם החמוץ. חומצה זו נוצרת בתהליך התסיסה של פירוק הסוכר בירקות על-ידי חיידקי חומצת החלב. התהליך נקרא תסיסה לקטית.

תרגיל 2: "ישום ידע, ניתוח מידע ופעילות מלווה רשת - הטעם החמוץ"

1. נסחו שאלה על ההיבט הכימי הקשור בטעם החמוץ, אשר לא קיבלתם מענה עליה.

2. בהתייחס למבנה החומצות העיקריות הקשורות לטעם חמוץ של פירות ומיצי פירות:

   א. זהו כמה קבוצות קרבוקסיליות יש לכל אחת מהחומצות: ציטרית, מלית וטרטרית.

   ב. הציעו דירוג לטמפרטורות ההיתוך של חומצות אלו. נמקו את בחירתכם תוך התייחסות לקשר בין רמת התופעה והרמה החלקיקית.

   ג. אוכמניות עשירות באיזומר של החומצה הציטרית. הציעו מבנה אחד, הסביר ביותר לדעתכם, לאיזומר והסבירו את בחירתכם ברמה החלקיקית של החומר.

3. תהליך שיחרור יוני הידרוניום מחומצה מתרחש על-ידי תגובה של מולקולת החומצה עם מים. רישמו את התהליכים המתאימים עבור שלוש החומצות המוזכרות בקטע המידע.

4. בטבלה שלפניכם, מוצגים המרכיבים החומציים האופייניים של מיצי הדרים וענבים.

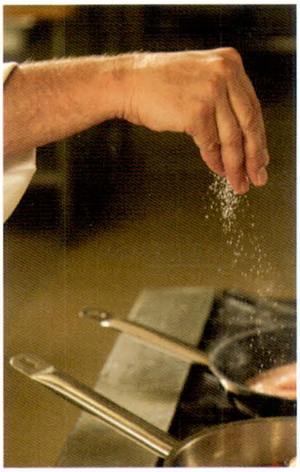
סוג המיץ	ריכוז החומצה במילימול לליטר		
	מלית	ציטרית	טרטרית
תפוזים	13	51	–
אשכוליות	42	100	–
לימון	17	220	–
ענבים	7	16	80

א. נסחו שתי מסקנות העולות מניתוח המידע בטבלה אודות הרכב החומצות בפירות הדר וענבים.
ב. האם לדעתכם, הערכים הנתונים בטבלה הם מוחלטים? במה הם תלויים?

5. לחומצה הלקטית חשיבות רבה לגופנו. חפשו מידע הקשור למבנה שלה ולשימושיה בתעשיית המזון.
היעזרו באתר: http://www.cytosport.com/science/lacticacid.html
וסכמו ממנו את עשר העובדות המתוארות שם אודות החומצה הלקטית.

מליחות - הטעם המלוח

הטעם המלוח נוצר עקב נוכחות של נתרן כלורי ($NaCl$) – מלח בישול. גם בנוכחות מלחים אחרים נוצר טעם מלוח, אך במידה פחותה בהרבה. יוני המלח, בעיקר יוני הנתרן (Na^+) גורמים לגירוי תאי הטעם בצידי הלשון ולתחושת הטעם המלוח.
יוני הנתרן (Na^+) והליתיום (Li^+) גורמים לטעם מלוח, אך יוני אשלגן, לדוגמה, גורמים לטעם מעורב: מלוח ומר. נמצא, כי קטיוני המלח גורמים לטעם המלוח אך אניוני המלח מדכאים טעם זה. מבין אניוני מלחים, יוני הכלור (Cl^-) הם פחות מדכאי טעם מהאחרים. אניונים מורכבים פועלים, לעיתים, לא רק כמדכאי טעם, אלא אף תורמים טעם נוסף משלהם ובכך מפריעים ואף מונעים את הטעם המלוח.



לאחרונה, גברה המודעות לצורך להקטין את צריכת מלח הבישול עקב הסכנה לעלייה בלחץ הדם. כתוצאה מכך, נערכים מחקרים במטרה למצוא תחליפים, בעיקר מלחים המכילים יוני אשלגן (K^+), מגנזיום (Mg^{2+}), סידן (Ca^{2+}) ואמוניום (NH_4^+). למאכלים המכילים מלחים אלו יש טעמי לוואי לא רצויים, ולכן נערך מחקר רב כדי להבין לעומק את מנגנון היווצרות תחושת הטעם המלוח. הדבר יאפשר לפתח מוצרים דלי נתרן אך בעלי טעם מלוח מוכר ורצוי כשל מלח בישול.

תרגיל 3: חקר אירוע - מלח הבישול

המלח "הנסתר"

האם התבוננתם אי פעם בתווית של מלח הבישול? מסתבר שמלח הבישול "התמים" מכיל לא רק נתרן כלורי NaCl כפי שהיינו מצפים. מדוע?

למלח הבישול מוסיפים אשלגן יודי KI (בריכוז של כ- 5 מ"ג לק"ג מלח), כתוסף להעשרת הגוף ביוד עבור רבים באוכלוסייה, שבלוטות התריס (המגן)* שלהם איננה מייצרת את כמות היוד הנחוצה לגוף. מכיוון שהאשלגן היודי מתחמצן באוויר ליוד אשר מתנדף, נהגו להוסיף בעבר תיוסולפט (מלח המכיל את האניון $S_2O_3^{2-}$) כחומר מייצב. לאחרונה, נהוג להוסיף דקסטרוז (סוכר ענבים). מכיוון שסביבה בסיסית מונעת חימצון, נוהגים לעיתים להוסיף חומרים בסיסים, כמו נתרן מימן פחמתי (ביקרבונט – $NaHCO_3$) או פוספטים.

הבעיה המרכזית של מלח הבישול היא נטייתו לספוג בקלות רטיבות (אדי מים) וכתוצאה מכך גבישי המלח נצמדים אחד לשני (תופעה הקרויה: גיוש) והמלח לא "זורם" במלחיה. כדי למנוע זאת, מוסיפים חומרים שונים, כמו מלחים פחמתיים שונים (E501-4) ונתרן אלומיניום סיליקט (E554).

בדרך כלל, נהוג להוסיף את התרכובת (E536) $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ בכמות קטנה (כ- 13 חלקים למיליון). תרכובת זו, המכילה ציאניד, על אף היותה בטוחה לשימוש, איננה "נשמעת טוב" מבחינה מסחרית. כדי להסתיר עובדה זו, בארה"ב מצוין על גבי אריזת מלח בישול, שמה הישן של התרכובת: צהוב פרוסי של אשלגן (yellow Prussiate of potash) ובאנגליה היא כתובה בשמה הכימי: אשלגן ברזל הקסאציאני.

בשני המקרים, הציבור לא ממש מודע להרכב התוספות למלח הבישול, ומה בארץ?

1. ערכו בטבלה את כל החומרים אשר מוזכרים בקטע, ושאותם מוסיפים או נהגו להוסיף למלח בישול, וציינו את מטרת הוספתם.
2. מוזכר בקטע, שהאשלגן היודי מתחמצן באוויר ונוצר יוד. רישמו את התגובה וציינו מי המחמצן ומי המחזר בתגובה זו.
3. התבוננו באריזה של מלח בישול. מה הוא מכיל? חוו דעתכם, מה "האמת" מאחורי פירסום זה?
4. האתר: http://www.foodag.com הינו מילון לתוספי מזון.
   א. חפשו באתר זה את תוספי המזון המוזכרים בקטע (E501-4, E554, E536) וערכו בטבלה את השמות הכימיים של תוספים אלו, את שימושם העיקרי ואת הסכנות של השימוש בתוספים אלו.
   ב. מה מסקנתכם מהמידע שקראתם – האם השימוש בתוספי המזון מוצדק ובטוח? נמקו בהתאם לנתונים המופיעים בטבלה שהכנתם.

* בלוטת התריס מפרישה הורמונים המווסתים את קצב חילוף החומרים בגוף. מחסור ביוד גורם לתופעת הגויטר, שהיא הגדלת בלוטת התריס. בים יש יוד המגיע למזוננו באמצעות אכילת דגים. מידע מורחב בעברית, ניתן למצוא באתרים:

http://www.pigur.co.il/bio/thyroid.htm, http://lib.cet.ac.il/Pages/sub.asp?kwd=4145

מרירות - הטעם המר

הטעם המר הינו מרכיב חשוב במזונות כמו קקאו, בירה, תה וקפה. צמחים רבים מכילים מרכיבים מרים, ביניהם כאלו אשר משמשים לעיתים כתרופות וכרעלים.
הרבה נלמד על הטעם המר ממחקרים על הטעם המתוק, מכיוון שנמצא דמיון בין מנגנון ההתקשרות של מולקולות מרות לקולטן שלהן בלשון, לבין מנגנון ההתקשרות של מולקולות מתוקות לקולטן שלהן. זו ככל הנראה הסיבה לכך, שיש מולקולות שהן גם מתוקות וגם מרות. עובדות אלה מצביעות על כך, שיש עוד הרבה ללמוד על מנגנון התפתחות תחושת הטעם.

קבוצת החומרים המזוהה ביותר כגורמת לטעם המר כוללת מלחים אנאורגניים וחומרים המכילים את הקבוצה הפנולית (טבעת בנזן אליה מחוברת קבוצת OH). מחקרים על מלחים של מתכות אלקליות (הטור הראשון במערכה המחזורית) והלוגנים (הטור השביעי) הראו, כי הגורם המבחין בין היות המלח בעל טעם מלוח או מר הוא גודל היונים. טעמו של המלח KBr הוא גם מלוח וגם מר. כאשר סכום קוטרם של היונים במלח נמוך מזה של KBr (0.68 ננומטר*), הטעם השולט הוא מלוח. כך, ל- NaCl, שקוטר היונים שלו 0.556 ננומטר, טעם מלוח ואילו ל- KI, שקוטר היונים שלו 0.76 ננומטר, טעם מר. גם למלחי מגנזיום, כמו $MgCl_2$, שקוטר היונים שלו 0.85 ננומטר, יש טעם מר.

הפלבנואידים, שהם תרכובות המכילות את הקבוצה הפנולית, הינם מרכיב מרכזי הקובע את טעמם המר של מיצי פירות, בעיקר של מיץ פרי הדר. לדוגמה, מקור הטעם המר של אשכולית הוא בפלבנואיד הקרוי נרינג'ין. מעניין לציין, שנגזרת מסויימת של נרינג'ין הינה חומר מתוק ביותר, המשמש במידה מצומצמת גם כממתיק מסחרי. חומר נוסף, הנמצא בחרצני הדרים ולעיתים במיץ תפוזים ואשכוליות וגורם למרירות, נקרא לימונין.

חומרים רבים הגורמים לטעם מר מכילים תרכובות אורגניות המכילות חנקן ונקראות אלקלואידים. רוב התרכובות האלקלואידיות, הכוללות גם את הניקוטין והקפאין, הן רעילות. היכולת לזהותן באמצעות חוש הטעם וכך להימנע מצריכתן, מהווה יתרון הישרדותי ולכן טעמן המר והמרתיע. ישנם מקרים בודדים, בהם מוסיפים חומרים בעלי טעם מר למזונות. אנו יכולים ליהנות מטעמם רק אחרי "אימון" והרגל. כך, לדוגמה, מוסיפים את התרכובת כינין למשקאות כמו מי טוניק, ג'ין ומיץ לימון מריר (Bitter Lemon) לקבלת אפקט מרענן.

החומר המר ביותר הידוע כיום נקרא דנטוניום (Denatonium). התרכובת התגלתה בשנת 1958 במהלך מחקר על חומרי הרדמה. חומר זה כל כך מר, עד שאפילו מיהול של 10 למיליון הינו עדיין בעל טעם מר ודוחה מנשוא למרבית האנשים. עם זאת, החומר איננו רעיל.

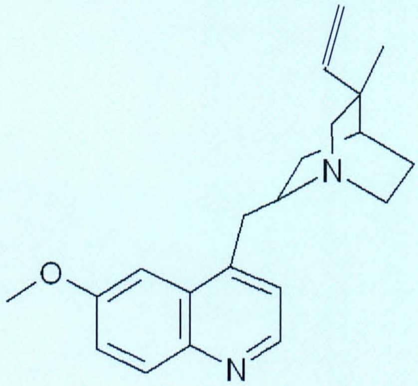
---

* ננומטר = 1×10^{-9} מטר

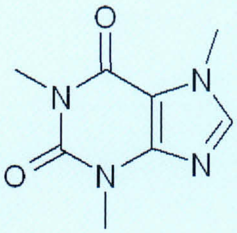
תרגיל 3: יישום ידע ופעילות מלווה רשת - הטעם המר

1. נסחו שאלה על ההיבט הכימי הקשור בטעם המר, אשר לא קיבלתם מענה עליה.

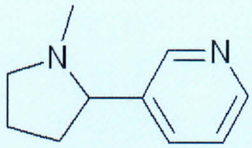
2. לפניכם מספר נוסחאות מבנה של תרכובות אלקלואידיות בעלות טעם מר.



כינין



קפאין



ניקוטין

א. מה משותף למבנה של תרכובות אלו?

ב. אחת התרכובות נוזלית בטמפרטורת החדר, לעומת השתיים האחרות שהן מוצקות. מי היא התרכובת הנוזלית? הציעו שתי סיבות לכך והסבירו את בחירתכם ברמה החלקיקית.

ג. הכינין (quinine), אותו מוסיפים למשקאות אחדים, משמש גם כתרופה יעילה ביותר למחלת המלריה. חפשו מידע על פעילותו של הכינין כתרופה ודרך גילויו.

3. החל משנת 1995, חייבה מדינת אורגון בארה"ב את יצרני הנוזלים נגד קיפאון (antifreeze) ומוצרי טואלטיקה רבים, לשים במוצריהם מעט מהחומר המר ביותר הידוע כיום, הדנטוניום (קרוי גם Bitrex). מהי הסיבה לדעתכם?
(רמז, הנוזל נגד קיפאון מכיל את החומר אתילן גליקול. הסתכלו במידע לגביו בשאלה 1 בנושא הטעם המתוק בפרק זה). מידע נוסף ניתן למצוא באתר: http://www.bitrex.com

4. התרכובת PTC (Phenylthiocarbamide) הינה תרכובת אורגנית, המיוצרת באופן מלאכותי. תגובת האנשים לטעימת חומר זה היא יוצאת דופן – לחלקם היא בעלת טעם מר ולחלקם היא חסרת טעם. חפשו את נוסחתה של התרכובת ואת הסיבה לתכונה יוצאת דופן זו.

אוממי - הטעם החמישי

מלבד ארבעת הטעמים המוכרים מזה שנים בעולם המערבי, הטעם המתוק, החמוץ, המלוח והמר, מכירים כיום גם בטעם נוסף, הקרוי אוממי (umami). השם נגזר מהמלה היפנית "טעם". החומר המוכר ביותר כיום, הקשור בטעם אוממי, הוא המונוסודיום גלוטאמט (Monosodium Glutamate - MSG). חומר זה הינו מלח נתרני של החומצה הגלוטמית, שהיא אחת מ-20 החומצות האמיניות הטבעיות. לחומר אין טעם מיוחד, אך כשהוא בא במגע עם מזונות שונים (בעיקר בשר, עוף ודגים), הוא מחזק את טעמם. השימוש במונוסודיום גלוטאמט מוכר מזה שנים רבות במדינות מזרח אסיה, בעיקר ביפן וסין. בעשור האחרון, גילו קולטנים בלשון שאחראיים לגלוטאמט המזוהה עם הטעם אוממי.

ניתן למצוא מונוסודיום גלוטמאט במאכלים שעברו הבשלה - "התיישנות". לדוגמה, במאכלים שעברו תסיסה, כמו גבינת פרמזן, גבינת רוקפור ורוטב סויה. בתהליך ההבשלה ("התיישנות") של גבינות קשות (לא "הלבנות" הרכות), מתרחש תהליך של פירוק אנזימטי של חלבונים ומשתחררות חומצות אמיניות, ביניהן חומצה גלוטמית. חומצה זו הופכת בגבינה למונוסודיום גלוטמאט וגורמת לטעם האוממי.

ניתן למצוא מונוסודיום גלוטמאט גם בפיטריות, עגבניות, בשר, אגוזים, ענבים וברוקולי.

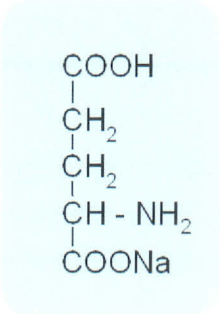
הטעם "הבשרי", האופייני לסוגים שונים של בשר קשור, בין היתר, בפירוק החלבונים וביצירת החומצה הגלוטמית בצורת מונוסודיום גלוטאמט (MSG), ופירוק מולקולת ATP ליצירת החומר - אינוזין מונופוספט (IMP). שני חומרים אלו הינם בעלי טעם "בשרי" חלש כשלעצמם, אך ביחד, עוצמת הטעם גדלה בהרבה והיא זו המאפיינת את הטעם הבשרי. יחס שונה של מרכיבים אלו אחראי לטעמם השונה של סוגי הבשר השונים. מבין השניים, מונוסודיום גלוטאמט זול יותר להפקה ולכן הוא נפוץ יותר. כיום מייצרים את המונוסודיום גלוטאמט כתוסף למזון מעובד כדי לחזק את טעמי המזון האחרים המצויים בו. מוסיפים אותו לתערובות תיבול, אבקות מרק ומזונות מעובדים, כמו מרקים, רטבים וחטיפים.

חלק מהאנשים האוכלים מזון המכיל מונוסודיום גלוטאמט עלולים לפתח בתוך שעה מצריכתו, לפחות אחד משורה ארוכה של סימפטומים, כמו צמא מציק, זיעה קרה, כאבי חזה, בחילות, כאבי ראש, לחץ בפנים, תחושת נימול, צריבה בעור, בילבול, התקפי חרדה, חולשה, דופק מהיר, סחרחורת. סימנים אלה מכונים "תסמונת המסעדה הסינית" או מחלת קווק (Kwok's disease). בעקבות מחקר רב ושנוי במחלוקת בהקשר לצריכה מצטברת של מונוסודיום גלוטאמט, חובה על יצרני המזון המעובד לציין את כמות המונוסודיום גלוטאמט המוסף למזון. כמו כן, נאסרה לחלוטין הוספתו למוצרי מזון לתינוקות.

תרגיל 4: יישום ידע וניתוח מידע - הטעם אוממי

1. נסחו שאלה על ההיבט הכימי הקשור בטעם האוממי, אשר לא קיבלתם מענה עליה.

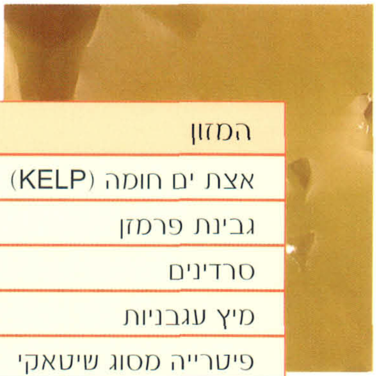
2. לפניכם נוסחת המבנה של מונוסודיום גלוטאמט MSG:



   א. מונוסודיום גלוטמט הוא מלח נתרני של חומצה גלוטמית והוא חומר יוני. רשמו את נוסחת הקטיון ואת נוסחת האניון בחומר זה.

   ב. מהו מצב הצבירה של מונוסודיום גלוטאמט בטמפרטורת החדר? נמקו תשובתכם ברמה החלקיקית.

3. בטבלה שלפניכם מובאות כמויות אופייניות של מונוסודיום גלוטאמט (MSG) במזונות שונים.



המזון	כמות MSG (מג' ל- 100 גר' מזון)
אצת ים חומה (KELP)	2240
גבינת פרמזן	1200
סרדינים	280
מיץ עגבניות	260
פיטרייה מסוג שיטאקי	67
חלב אם	22
חלב פרה	2

   א. האם יש נתון/ים מפתיע/ים מבחינתכם? מדוע?

   ב. בהתאם למידע בטבלה ובסעיף זה, הסבירו מבחינה כימית, מדוע נהוג להוסיף רוטב עגבניות למאכלי בשר ואיטריות ולתבל איטריות בגבינת פרמזן.

   ג. הציעו הסבר להבדל בכמות המונוסודיום גלוטאמט בחלב אם לעומת חלב פרה.

תחושת הטעם החריף, כשאנו אוכלים מאכלים מסוימים, נובעת מתחושת כאב ולא מגירוי תאי הטעם. בלשון קיימים שני סוגים של תאי עצב הרגישים לכאב. תאי עצב מסוג A המעבירים אותות למוח במהירות גבוהה מאוד והם אחראיים לתחושת כאב מקומית חדה עקב פציעה. תאי עצב מסוג C, המעבירים אותות למוח במהירות נמוכה הרבה יותר והם אחראיים לתחושה של כאב עמום (עקצוץ) ולא ממוקד.

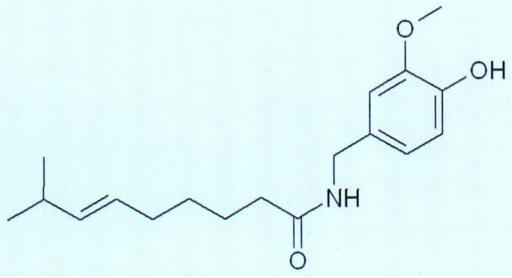
למרות מחקר רב בתחום, לא נמצא עדיין הקשר בין המבנה המולקולרי של חומרים לבין תחושת הכאב שהם יוצרים. עם זאת, ישנה הסכמה כי המבנה המרחבי של המולקולה חייב להיות כזה, שיתאים לחלבון הנמצא בקצה תא עצב מסוים, במבנה של "מפתח ומנעול".

פיפרין (Piperine) הינה התרכובת הפעילה בתבליני הפילפל השחור והלבן, וקאפסייסין (Capsaicin) היא התרכובת הפעילה בפילפלים צ'ילי ירוק ואדום (הפילפלים הקטנים והחריפים) ובתבלין פפריקה. מולקולות הקאפסייסין נמצאות בזרעי הפילפל ואכילתם גורמת לתחושת הכאב המאפיינת חריפות. ההנחה היא, שתחושת כאב זו גורמת לשיחרור אנדורפינים* ואלו גורמים להרגשה טובה ושמחה ומכאן תחושת ההנאה של אוהבי האוכל החריף. הרחקת הזרעים מהפילפל תגרום לו "לאבד" את חריפותו. סוגים שונים של פילפל צ'ילי מכילים יחס שונה של קאפסייסין בגרעיניהם ובהתאם – מידת חריפותם השונה.

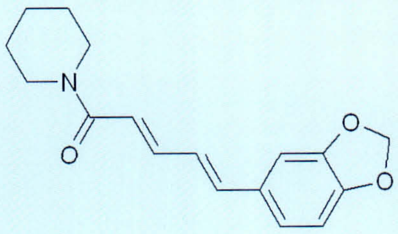
נמצא, כי קאפסייסין ופיפרין ממריצים הפרשה מוגברת של רוק ובכך תורמים לעיכול יעיל של האוכל .

תרגיל 5: הבנה ויישום ידע - תחושת הטעם החריף

1. נסחו שאלה על ההיבט הכימי הקשור בתחושת הטעם החריף, אשר לא קיבלתם מענה עליה.
2. לפניכם נוסחאות המבנה של קאפסייסין ופיפרין:



קאפסייסין (Capsaicin)



פיפרין (Piperine)

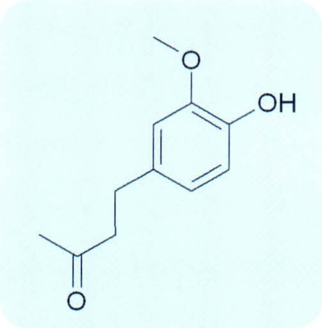
א. שתי המולקולות הן אלקלואידים ומכילות אטום חנקן אך במיקום שונה במולקולה. תארו את המיקום השונה והסבירו מהי המשמעות, מבחינה כימית, של המיקום השונה של אטום החנקן בשתי המולקולות.

ב. טמפרטורת ההיתוך של קאפסייסין היא 62°c ושל הפיפרין 130°c. בהתייחס לקבוצות הפונקציונליות במולקולת הקאפסייסין, ניתן היה לצפות לכך, שטמפרטורת ההיתוך שלו תהייה גבוהה מטמפרטורת ההיתוך של הפיפרין. הסבירו מדוע ניתן היה לצפות לכך והציעו הסבר לטמפרטורות ההיתוך הנתונות.

---

* קבוצת חומרים המשתחררת במוח וגורמת לתחושת טובה ולהקלה על תחושת כאב.

3. לפניכם נוסחת המבנה של המולקולה זינגרון (Zingerone) המהווה את המרכיב הגורם לחריפותו של הזנגביל (ג'ינג'ר).



1. לאילו משתי המולקולות: קאפסאיצין או פיפרין, דומה מולקולה זו ובמה היא שונה ממנה?
2. לזינגרון טמפרטורת היתוך נמוכה מזו של קאפסאיצין. הסבירו מדוע.

4. קיימים זנים שונים של פילפל צ'ילי, השונים זה מזה במידת חריפותם. נהוג למדוד את מידת החריפות באמצעות סקאלת סקוויל (Scoville units) על שם הוגה הרעיון בשנת 1912. לפניכם טבלה המתארת את היחס במידת החריפות בין זנים שונים של צ'ילי. הסקאלה הינה יחסית לפילפל אדום מתוק, שבו מידת החריפות היא 0.

סוג הפילפל	מידת החריפות היחסית
אדום מתוק	0
Peperocini	500-100
New Mexico	1000 - 500
Jalapeno	10,000 - 2,500
Serrano	23,000 - 5,000
Habenero	300,000 - 80,000

א. לקאפסייסין נקי מידת חריפות של 16 מיליון בסקאלת סקוויל. מדוע לסוגי הפילפלים השונים, המכילים את הקאפסאיצין, מידת חריפות נמוכה הרבה יותר?
ב. שתיית מים לאחר אכילת פילפל חריף איננה מפחיתה את תחושת החריפות, אך שתיית חלב כן מפחיתה. הסבירו ברמה החלקיקית, מדוע שתיית מים איננה מפחיתה את תחושת החריפות והציעו הסבר אפשרי להשפעתה של שתיית החלב.
ג. הבדיקה המקורית שנערכה על-ידי סקוויל, התבצעה באמצעות קבוצת טועמים. כיצד לדעתכם ניתן היה לבנות סקאלה יחסית כזו של חריפות באמצעות טעימות של אנשים?

נספחים

נספח 1 - רמות הבנה בכימיה

נספח 2 - ניסויים ליחידת הלימוד

נספח 3 - קבוצות פונקציונליות ביחידת הלימוד

נספח 4 - מילון מושגים

נספח 5 - רשימת מקורות מוערת ליחידת הלימוד

נספח 1 - רמות הבנה בכימיה

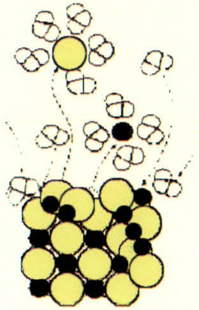
חוקרים מצאו, כי הבעיה המרכזית של תלמידים בהבנת הכימיה נובעת מקושי ביכולתם להבין מושגים בארבע רמות ההבנה במקצוע זה. הקושי של תלמידים לקשר בין רמות ההבנה השונות, יוצר במקרים רבים מושגים בלתי מדעיים ומוטעים.

רמות ההבנה בכימיה הן:

- **רמת התופעה - הרמה המאקרוסקופית** (macroscopic) – זוהי הרמה התחושתית המתייחסת לתופעות אותן ניתן לראות או למשש. ברמה זו, הכימאי מזהה חומרים, מתאר את תכונותיהם ומנסה להכין מהם חומרים חדשים בעלי תכונות חדשות. ברמה זו נכללים תהליכים ותופעות שאחריהן ניתן לעקוב באמצעות שינויים שונים: שינויי טמפרטורה, שינויי צבע, שינויי pH, שינויים במוליכות ובמסיסות.
- **הרמה החלקיקית - הרמה המיקרוסקופית** (microscopic) – זוהי הרמה המספקת הסבר ברמת החלקיקים. ברמה זו משתמש הכימאי במושגים מופשטים, המתארים חלקיקים (אטומים, מולקולות, יונים) השייכים לרמה המיקרוסקופית כדי להסביר התרחשויות המתוארות ונצפות ברמה המאקרוסקופית.
- **רמת הסמל** (symbolic) – הרמה המייצגת את שפת הכימיה. ברמת זו משתמשים בייצוגים מגוונים: סמלים כימיים, נוסחאות כימיות, מודלים, משוואות וגרפים.
- **רמת התהליך** (process) – הרמה המייצגת במילים או בנוסחאות את הבנת התהליך כימי.

בטבלה שלפניכם מוצגת דוגמה לתשובה מפורטת, בה יש התייחסות לכל רמות ההבנה בכימיה, לשאלה: הסבירו את המתרחש כאשר נתרן הידרוקסידי – $NaOH_{(s)}$ – מתמוסס במים.

ניתוח תהליך מסיסות בארבע רמות הבנה בכימיה

רמת התופעה	**הרמה החלקיקית**	**רמת הסמל**	**רמת התהליך**
מבחינים בשינויים המתגלים ישירות לחושינו: ראיה, שמיעה, מישוש, ריח, או בסיוע מכשיר כלשהו.	מתייחסים לשינויים שחלים בהיערכות החלקיקים המרכיבים את החומרים.	ייצוג חזותי המורכב מסמלים מוסכמים. ייצוג באמצעות נוסחאות, גרף או איור.	כוללת הבנת תהליכים ומנגנוני תגובות כימיות. צריכה לבטא את הבנת התהליך המתרחש באמצעות תיאור מילולי של המנגנון המתרחש.
רואים שהחומר "נעלם" במים ומתקבלת תמיסה שמוליכה חשמל, בשונה ממים או מהמוצק נתרן הידרוכסידי, שכל אחד מהם לחוד לא מוליך חשמל. כמו כן, מנגיעה בכוס הזכוכית שבה מתרחש העירבוב שתואר, ניתן לחוש בעלייה של טמפרטורת התמיסה.	נוצרים יונים בעלי מטען חיובי (יוני נתרן) ויונים בעלי מטען שלילי (יוני הידרוכסיל) וכל אחד מהם מוקף במולקולות מים. הקטבים החיוביים של מולקולות המים מקיפים את יוני ההידרוכסיל והקטבים השליליים של מולקולות המים מקיפים את יוני הנתרן.	$NaOH_{(s)} \rightarrow Na^{+}_{(aq)} + OH^{-}_{(aq)} \quad \Delta H < 0$ או באמצעות איור: 	מתרחש תהליך מיום, בו החלקיקים שבונים את החומר המוצק (היונים בעלי מטען חיובי ושלילי) מתקשרים למולקולות מים על ידי משיכה חשמלית הדדית. במקום להיות צמודים אלה לאלה, כפי שהיו בחומר המוצק, הם פזורים בין מולקולות המים ונעים איתן, כשהם קשורים אל מולקולות מים. בהיבט אנרגטי, ניתוק הקשרים בין היונים מצריך השקעת אנרגיה קטנה בהשוואה לכמות האנרגיה הגדולה יותר שנובעת מהיווצרות קשרים חדשים בין היונים לבין מולקולות המים. לכן, יש בתהליך שיחרור של אנרגיה אל המים. אנרגיה זו מגבירה את קצב התנועה של מולקולות המים ומורגשת (ניתנת למדידה) עלייה בטמפרטורת מי התערובת.

נספח 2 - ניסויים ליחידת הלימוד

לפרק: "שומנים ושמנים – עובדות מפתיעות"

ניסוי לקביעת אחוז חומצות שומן חופשיות בשמן זית

רקע

חומצות שומן חופשיות (Free Fatty Acids – FFA) בשמני מאכל מהוות מדד לאיכות השמן.
שמן נוזלי מזוכך וטרי הוא בעל צבע צהוב בהיר ומחוסר טעם וריח.
הטריגליצרידים מהווים 98%-99% ממשקל השמן המזוכך. בנוכחות זרזים, שמנים מסוגלים להגיב עם מים ולעבור הידרוליזה. כתוצאה מהידרוליזה חלקית של הטריגליצרידים, מכילים השמנים שהופקו ממקורות טבעיים, גליצרידים חלקיים (די ומונו גליצרידים) וחומצות שומן חופשיות. הימצאות חומצות שומן חופשיות בשמן גורמת לחוסר יציבות השמן והוא הופך למעופש ולא ראוי למאכל במהירות גבוהה יותר מאשר במצב שבו השמן אינו מכיל חומצות כאלה.
אחד משלבי הפקת השמן המזוכך הוא הרחקת חומצות השומן החופשיות. לשם כך, מחממים את השמן ל-60 מעלות צלזיוס ומוסיפים לו את תמיסת בסיס הנתרן – NaOH, הנלקחת בכמות גדולה יותר מזו הנדרשת לסתירת חומצות השומן. כתוצאה מתגובת הסתירה, נוצרים מלחי נתרן של חומצות השומן, המכונים "סבונים", ואלו מופרשים מהשמן כמשקע מימי המכונה – soapstock.
ניסוח כללי של התהליך:

$$\underbrace{R-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-O-H}_{\text{חומצת שומן}} + NaOH \longrightarrow \underbrace{R-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-O^- + Na^+}_{\text{מלח נתרני של חומצת השומן}} + H_2O$$

על פי התקנים, בשמן מזוכך ומשובח, אחוז חומצות השומן החופשיות לא יעלה על 1%.

שלב א' - ניסוי בסיס

מטרת הניסוי ועקרון ביצועו

קביעת תכולת חומצות שומן חופשיות, המבוטאת כגרמים של חומצה אולאית (M.W=282 gr\mol) ב – 100 גרם שמן. את חומצות השומן החופשיות ממיסים באתנול (הטריגליצרידים אינם מסיסים באתנול) ומטטרים עם בסיס עד לסתירה מלאה.
ניתן להשתמש באינדיקטור פנולפתלאין, שהוא בעל צבע ורוד בסביבה בסיסית וחסר צבע בתמיסה חומצית.

חומרים:

שמן זית (חומציות עד 2%)

NaOH 0.1M

אתנול 95%

פנולפתלאין

כלים וציוד:

ארלנמייר 250 מ"ל

משורה

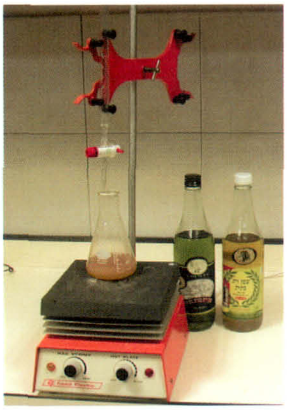
ביורטה

פלטה חשמלית ובוחשים מגנטיים

מאזניים

אוגר נתונים וחיישן pH

מהלך הניסוי (לא ממוחשב):



1. שקלו 20 גרם של השמן הנבדק לתוך ארלנמייר של 250 מ"ל
2. הוסיפו 50 מ"ל אתנול 95%
3. חממו עד רתיחה על פני פלטה חשמלית
4. קררו במשך 10 דקות
5. הוסיפו לתמיסה 3 טיפות פנולפתלאין
6. מלאו ביורטה בתמיסת NaOH 0.1M וחברו את הביורטה למעמד מתאים
7. כוונו את פתח הביורטה מעל פתח הארלנמייר
8. טטרו תוך כדי בחישה על הפלטה, עד קבלת גוון ורוד יציב

מהלך הניסוי המבוצע באופן ממוחשב:

1. שקלו 20 גרם של השמן הנבדק לתוך ארלנמייר של 250 מ"ל
2. הוסיפו 50 מ"ל אתנול 95%
3. חממו עד רתיחה על פני פלטה חשמלית
4. קררו במשך 10 דקות
5. הוסיפו לתמיסה 3 טיפות פנולפתלאין (שלב שאינו הכרחי בטיטרציה ממוחשבת)
6. מלאו ביורטה בתמיסת NaOH 0.1M וחברו את הביורטה למעמד מתאים
7. כוונו את פתח הביורטה מעל פתח הארלנמייר וטבלו את חיישן ה – pH בתוך תמיסת השמן – אתנול
8. על מנת להמיר זמן לנפח בסיס מטוטר: לפני התחלת הטיטרציה פתחו בזהירות את ברז הביורטה וחשבו את קצב הטפטוף ע"י מדידת הזמן לטפטוף של 1 מ"ל תמיסה. הקצב הרצוי הוא כ- 10 שניות לטפטוף של 1 מ"ל (יש לעשות זאת תוך הנחת כוס כימית ריקה בתחתית הביורטה).
9. הפעילו את אוגר הנתונים והמשיכו את תהליך הטיטור עד להתייצבות הגרף (עד קבלת צבע ורוד יציב, אם נעזרתם גם בפנולפתלאין).

ביצוע חישוב אחוז חומצות השומן החופשיות FFA:

$$\%FFA = \frac{282 * M * V}{W} * 100$$

M – ריכוז מולרי של הבסיס

V – נפח הבסיס המטוטר עד סתירה מלאה (ליטר)

W – מסת דוגמת השמן (בגרם)

%FFA – אחוז חומצות השומן החופשיות המבוטא כחומצה אולאית

ניתוח התוצאות והסקת מסקנות:

ניסוי לא ממוחשב:

1. מהו נפח הבסיס שטיטרתם עד נקודת הסתירה?
2. חשבו את אחוז חומצות השומן החופשיות בשמן הזית שבדקתם.

ניסוי ממוחשב:

1. צרפו לדו"ח את גרף הטיטרציה ותארו את הגרף שהתקבל על אזוריו השונים.
2. הסבירו בשפה מדעית ובהתבסס על רמות ההבנה בכימיה את צורת הגרף שהתקבל ואת ערך ה– pH בנקודת הסתירה.

סיכום

על סמך לימודיכם בנושא הטריגליצרידים ומדד FFA לבדיקת איכות השמן, הסבירו את התוצאות אשר התקבלו בניסוי שבצעתם. מה תוכלו לומר על איכות השמן הנבדק?

שלב ב' - ניסוי מתקדם

על סמך תוצאות הניסוי ומסקנותיכם מהן:

1. נסחו מיגוון של שאלות העולות בדעתכם, שעליהן לא קיבלתם מענה מתוך הניסוי הבודד שביצעתם.
2. בחרו את אחת השאלות שהעליתם ונסחו אותה כשאלת חקר. השאלה תכיל שני משתנים ברורים וממוקדים עם קשר של תלות ביניהם.
3. העלו השערה מנומקת, הנשענת על בסיס מדעי, לגבי תוצאות אפשריות לשאלת החקר שהעליתם.
4. רשמו מהם הגורמים הקבועים בניסוי.
5. תכננו ניסוי באמצעותו תוכלו לבדוק את ההשערה שהעליתם:
   - פרטו את הציוד והחומרים הדרושים לכם – לרשותכם עומדת גם מערכת ממוחשבת בליווי חיישנים
   - פרטו את מהלך הניסוי
   - קיימו התייעצות עם המורה לגבי שאלת החקר ולגבי תכנון הניסוי שהצעתם וקבלו את אישורו/ה
   - העבירו ללבורנט/ית את רשימת הציוד והחומרים

6. בצעו את הניסוי שהצעתם לאחר שקיבלתם את אישור המורה.
7. הציגו את תוצאות הניסוי באופן מסודר באמצעות טבלה (או גרף ממוחשב).
8. נתחו את התוצאות באופן מדעי ובהתבסס על רמות ההבנה בכימיה.
9. רשמו את מסקנותיכם מהניסוי שביצעתם ואששו או הפריכו את ההשערה שהעליתם.
10. רשמו שאלות נוספות, שאותן ניתן לחקור, בהמשך למסקנות שהסקתם מהניסוי שביצעתם.
11. רפלקציה:
    - נסו לתאר את התהליך אותו עברתם עד לגיבוש שאלת החקר.
    - האם הייתם משנים את תיכנון או את ביצוע הניסוי? כיצד?
    - נסו לתאר את תחושותיכם ביחס לעבודה השיתופית בקבוצה. התייחסו לתרומה, לחילוקי הדעות בקבוצה ולדרכי ההתמודדות בזמן ביצוע הניסוי.
    - האם נותרו היבטים בלתי ברורים בסוף הפעילות במעבדה? פרטו מהם וממה לדעתכם נובע הקושי בהבנתם.
12. הקפידו על דו"ח מאורגן, בנוי היטב וקריא.

ניסוי תגובת השחמה של סוכרים

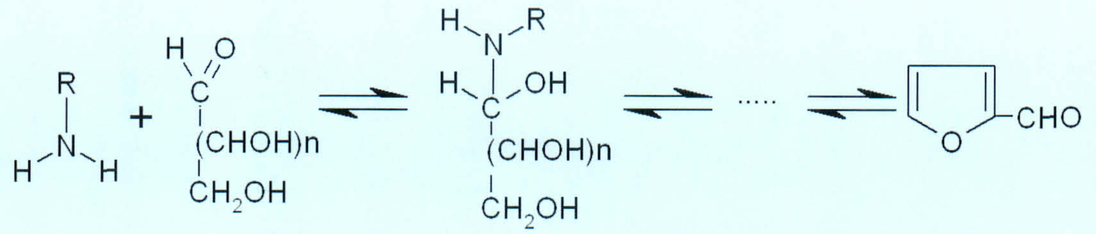
רקע - תגובת מייארד (Maillard) - תגובת השחמה המתרחשת בין סוכרים לבין חומצות אמיניות וחלבונים

תופעה שכיחה, המתרחשת במוצרי מזון, היא היווצרות של פיגמנטים בעלי צבע כהה (חום, חום-אדום) במהלך ייצורם, אחסונם או השימוש בהם. תופעה זו מכונה "השחמה" והיא בעלת עניין רב בקרב יצרני המזון. לעיתים, תגובה זו רצויה, למשל בזמן טיגון צ'יפס, ביצירת הקרום השחום באפיית לחם ובתהליך ייצור ריבת חלב.

במרבית המקרים, התגובה איננה רצויה, שכן, אין היא משפיעה רק על צבעו הבלתי רצוי של המזון אלא אף על ערכו התזונתי וטעמו. תופעת ההשחמה היא הסיבה לקילקול של מוצרי מזון רבים והיא מהווה מדד חשוב בהגבלת חיי המדף שלהם. ההשחמה יכולה להתרחש כתוצאה מתגובות אנזימתיות (כמו השחמה של תפוח נגוס) או מתגובות שאינן אנזימתיות.

בניסוי זה נתמקד בתגובת מייארד, תגובת השחמה בלתי אנזימתית בין הקבוצה הקרבונילית (אלדהיד או קטון) של סוכרים לבין חומצות אמיניות וחלבונים. רוב המזונות מכילים הן סוכרים והן חלבונים ואף חומצות אמיניות חופשיות לכן הם עלולים לעבור השחמה.

תהליך מייארד מהווה סידרה מורכבת של שלבים. הופעת הצבע השחום תתרחש מעבר לשלבים קריטיים בתהליך, שאחריהם התהליך הופך לבלתי הפיך. בשלב זה, נוצרת השחמה ברורה לעין, שמקורה ביצירת פורפורלים, כפי שניתן לראות בשרשרת התגובות הבאה:



פורפורל הינו חומר בעל קבוצה אלדהידית פעילה, אשר משתתפת בתהליכי דחיסה. נוצרים פולימרים בעלי מסה מולרית גבוהה והם האחראים לצבע החום הכהה שנוצר. המוצרים המושחמים נקראים מלנואידים.

במהלך התהליך הרב שלבי של ההשחמה, ובעיקר בטמפרטורות גבוהות, כמו בתהליכי אפיה, קליה וטיגון, משתחררות תרכובות נדיפות, בעיקר אלדהידים בעלי ריח אופייני חזק (למשל, בעת אפיית לחם או קליית אגוזים), ובעקבות כך חלים שינויים גם בריח המזון ובטעמו.

גורמים המשפיעים על תהליך ההשחמה בתגובת מייארד הם: טמפרטורה, pH, סוג הסוכר, ריכוז הסוכר, תכולת מים, דקות טחינת המזון ועוד. דוגמה לתגובת מייארד במזון ניתן לראות בתהליך ייצור ריבת חלב. הצבע החום כהה של המוצר נובע מתגובת מייארד בין הלקטוז שבחלב לבין חֶלבוני החלב.

בשנים האחרונות מתברר, שתגובת מייארד מתרחשת גם בגופנו בין גלוקוז לבין חלבונים, ומשערים שתוצרי התגובה המצטברים בגוף מהווים גורם חשוב בתהליך ההזדקנות. לכן, חשוב למנוע רמת גלוקוז גבוהה בדם.

שלב א׳ - ניסוי בסיס

בניסוי זה תיבדק השפעת סוג הסוכר המגיב עם חומצה אמינית על עוצמת תהליך ההשחמה. את עוצמת ההשחמה ניתן לבחון באמצעות התבוננות בצבע התמיסות לאחר התגובה.

חומרים:

תמיסות בריכוז 1M של הסוכרים: פרוקטוז
לקטוז
גלוקוז
סורביטול
סוכרוז

תמיסה בריכוז 1M של החומצה האמינית גליצין

תמיסות הסוכרים ותמיסת הגליצין בעלות pH=8.

כלים וציוד:

6 משוררות בנפח 5 מ״ל

5 מבחנות עם פקקים

פלטת חימום חשמלית ועליה כוס

כימית גדולה עם מים רותחים (או אמבט מים רותחים, אם קיים)

מהלך הניסוי:

1. רשמו את שמות חמשת הסוכרים על המבחנות
2. לכל מבחנה הוסיפו 3 מ״ל תמיסת גליצין
3. לכל מבחנה הוסיפו 3 מ״ל של תמיסת אחד מחמשת הסוכרים ופקקו את המבחנות
4. הכניסו את חמש המבחנות לכוס הכימית עם המים הרותחים העומדת על גבי פלטת החימום (או לאמבט המים)
5. צפו במתרחש לאחר כרבע שעה ורשמו את תוצאות הניסוי בטבלה
6. המתינו רבע שעה נוספת וצפו שוב במתרחש. רשמו את תוצאות הניסוי בטבלה וכבו את פלטת החימום (אמבט המים)

	פרוקטוז	לקטוז	גלוקוז	סורביטול	סוכרוז
לאחר רבע שעה					
לאחר מחצית השעה					

למילוי הטבלה, היעזרו בסימנים הבאים:

+ צבע חום בהיר

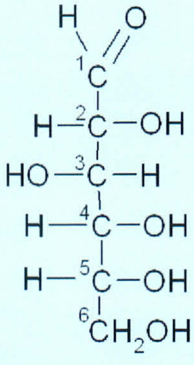
++ צבע חום כהה

+++ צבע חום כהה מאוד

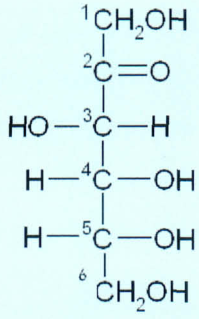
– שקוף, אין שינוי צבע

בעודכם ממתינים:

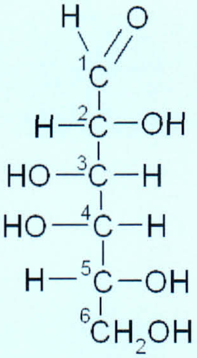
1. לפניכם נוסחאות פישר לסוכרים: פרוקטוז, גלקטוז, גלוקוז:



גלוקוז

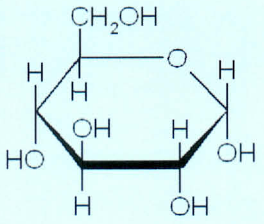


פרוקטוז

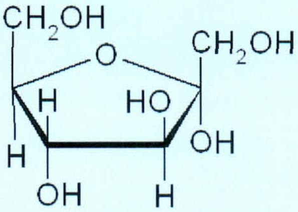


גלקטוז

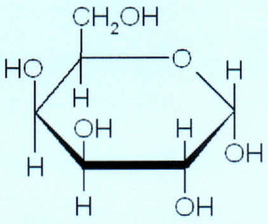
נוסחאות טבעתיות (מסוג D) לסוכרים אלו.



מבנה טבעתי של גלוקוז



מבנה טבעתי של פרוקטוז



מבנה טבעתי של גלקטוז

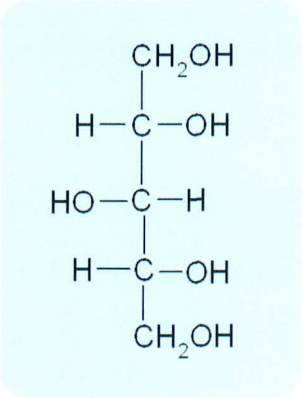
א. ציינו עבור כל מבנה טבעתי, איזה אנומר מצויר (α או β)?

ב. ציירו את תהליך המוטרוטציה בתמיסות כל אחד מהסוכרים.

2. א. סוכרוז הינו דו–סוכר הבנוי ממולקולת גלוקוז ומולקולת פרוקטוז. הקשר הגליקוזידי נוצר בין קבוצת OH על פחמן C-1 במולקולת הגלוקוז ובין קבוצת OH שעל פחמן C-2 במולקולת הפרוקטוז.
ציירו את מולקולת הסוכרוז (רמז – "הפכו" את מולקולת הפרוקטוז כדי ליצור את הקשר הגליקוזידי)

ב. **הלקטוז** הינו דו סוכר המורכב ממולקולת גלוקוז וממולקולת גלקטוז. קבוצת ה– OH על C-1 של הגלקטוז משתתפת בקשר גליקוזידי עם קבוצת ה– OH על C-4 במולקולת הגלוקוז. ציירו את מולקולת הלקטוז.

3. סורביטול, המשמש כממתיק מופחת קלוריות, מצוי באופן טבעי באצות ים ובפירות שונים: ענבים, דובדבנים, שזיפים, תפוחי-עץ, אפרסקים ותמרים.
לפניכם נוסחת מבנה של מולקולת הסורביטול.
במה שונה מבנה הסורביטול מהסוכרים האחרים בניסוי?



4. חלק מהסוכרים בניסוי נמצאים בתמיסה, שבה קיים שיווי משקל בין הצורה השרשרתית של הסוכר לבין הצורות הטבעתיות (תהליך מוטרוטציה). האם הסוכרים המגיבים בתגובת ההשחמה עם החומצה האמינית הם אלו הקיימים בצורתם השרשרתית או הטבעתית? הסבירו.

בתום הניסוי:

5. מתוך התבוננות בציורי הסוכרים ובאופי התגובה בין הסוכר לחומצה האמינית, נסו להסביר את תוצאות הניסוי. השתמשו בהסבריכם, ככל הניתן, בארבע רמות ההבנה בכימיה.

6. לעתים, לשם הארכת חיי מדף של מוצר מעובד המכיל סוכרים וחלבונים, נוהגים להשתמש בסוכרוז לשם המתקתו ולא בגלוקוז או בפרוקטוז. הסבירו עובדה זו.

7. ערכיו התזונתיים של המזון עלולים להיפגע עקב הפגיעה בחומצות האמיניות בתהליך השחמת מייארד. בעקבות קשירתן לסוכרים, הן אינן זמינות לגוף בתהליך חילוף החומרים שלו ומפריעות לפירוק החלבון באמצעות אנזימים ייחודיים בתהליך העיכול. חומצות אמיניות רגישות ביותר לתהליך הן ליזין (חומצה אמינית חיונית), ארגינין והיסטידין. נסו להסביר מדוע שלש חומצות אלו מגיבות בתהליך מייארד באופן מהיר יותר מאחרות.

שלב ב׳ - ניסוי מתקדם

על סמך תוצאות הניסוי ומסקנותיכם מהן:

1. נסחו מיגוון של שאלות העולות בדעתכם, שעליהן לא קיבלתם מענה מתוך הניסוי הבודד שביצעתם.
2. בחרו את אחת השאלות שהעליתם ונסחו אותה כשאלת חקר. השאלה תכיל שני משתנים ברורים וממוקדים עם קשר של תלות ביניהם.
3. העלו השערה מנומקת הנשענת על בסיס מדעי לגבי תוצאות אפשריות לשאלת החקר שהעליתם.
4. רשמו מהם הגורמים הקבועים בניסוי.
5. תכננו ניסוי באמצעותו תוכלו לבדוק את ההשערה שהעליתם:
   - פרטו את הציוד והחומרים הדרושים לכם. לרשותכם עומדת גם מערכת ממוחשבת בליווי חיישנים.
   - פרטו את מהלך הניסוי.
   - קיימו התייעצות עם המורה לגבי שאלת החקר ולגבי תיכנון הניסוי שהצעתם וקבלו את אישורו/ה.
   - העבירו ללבורנט/ית את רשימת הציוד והחומרים.
6. בצעו את הניסוי שהצעתם לאחר שקיבלתם את אישור המורה.
7. הציגו את תוצאות הניסוי באופן מסודר באמצעות טבלה (או גרף ממוחשב).
8. נתחו את התוצאות באופן מדעי ובהתבסס על רמות ההבנה בכימיה.
9. רשמו את מסקנותיכם מהניסוי שבצעתם ואששו או הפריכו את ההשערה שהעליתם.
10. רשמו שאלות נוספות אותן ניתן לחקור בהמשך למסקנות שהסקתם מהניסוי שביצעתם.
11. רפלקציה:
    - נסו לתאר את התהליך אותו עברתם עד לגיבוש שאלת החקר.
    - האם הייתם משנים את תיכנון או ביצוע הניסוי? כיצד?
    - נסו לתאר את תחושותיכם ביחס לעבודה השיתופית בקבוצה. התייחסו לתרומה, לחילוקי הדעות בקבוצה ולדרכי ההתמודדות בזמן ביצוע הניסוי.
    - האם נותרו היבטים בלתי ברורים בסוף הפעילות במעבדה? פרטו מהם וממה לדעתכם נובע הקושי בהבנתם.
12. הקפידו על דו״ח מאורגן, בנוי היטב וקריא.

לפרקים: "מזון למחשבה" ו"שומנים ושמנים – עובדות מפתיעות"

ניסוי השפעת מרכיבי המזון על האנרגיה שהם מספקים לגופנו

רקע

אנו נוטים לייחס לקלוריות משמעויות הנוגעות למזון, אך למעשה, הן מתייחסות למדידת כמות האנרגיה הטמונה במזונות השונים. **קלוריה** מוגדרת ככמות האנרגיה הדרושה להעלאת 1 גרם של מים ב- $1^{\circ}C$.
קלוריה אחת שווה ל-4.184 ג'אולים – יחידת מידה הנפוצה במדעים למדידת אנרגיה.

בני אדם, כמו אורגניזמים חיים אחרים, זקוקים לאנרגיה על מנת להתקיים: לנשום, לנוע, להזרים דם לכל חלקי הגוף, לחשוב ועוד. המזון מכיל שלושה מרכיבי מזון עיקריים: פחמימות, חלבונים ושומנים, המספקים את האנרגיה (הקלוריות) הדרושה לגוף. תרכובות אלו משתחררות מהמזון בזמן עיכולו ונספגות במחזור הדם כגלוקוז.

פירוק של 1 גרם פחמימה ו-1 גרם חלבון יספקו לגוף 4 קילו-קלוריות כל אחד, ואילו פירוק של 1 גרם שומן יספק לגוף 9 קילו- קלוריות (פי 2.25 מהפחמימה והחלבון). מרכיבי מזון אחרים (מינרלים, ויטמינים) אינם ספקי קלוריות, להוציא אלכוהול (פירוק גרם 1 אלכוהול מספק 7 קילו- קלוריות**!**).

אם אדם צורך במזון יותר קלוריות מהדרוש לו, הוא אינו משתמש בכולן להפקת אנרגיה והעודף יצטבר כשומן.

שלב א' - ניסוי בסיס - קביעת חום השריפה של פופקורן למיקרוגל

בניסוי זה נחקור את השפעת מרכיבי המזון בפופקורן על האנרגיה שהוא מספק לגופנו, באמצעות חישוב חום השריפה בשריפת אחד ממוצרי הפופקורן המוצעים לצרכן במרכולים.

זהו מוצר פופקורן המיועד להכנה במכשיר המיקרוגל. הוא ארוז בשקיות מיוחדות ותהליך הכנתו מתבצע בתוך השקית עצמה. להלן ערכיו התזונתיים כמפורט על האריזה:

אנרגיה (קלוריות)	**462**
חלבונים (גרם)	8
פחמימות (גרם)	40
שומנים (גרם)	30
כולסטרול (מ"ג)	0
נתרן (מ"ג)	776

בדקו על פי כמות הפחמימות, החלבונים והשומנים, האם חישוב כמות הקלוריות המפורט בטבלה נכון?

חומרים:

פופקורן למיקרוגל מוכן לאכילה

מים מזוקקים

כלים וציוד:

כורית חסינת אש מצופה ברדיד אלומיניום

מבחנה גדולה

מעמד להתקנת המבחנה

משורה

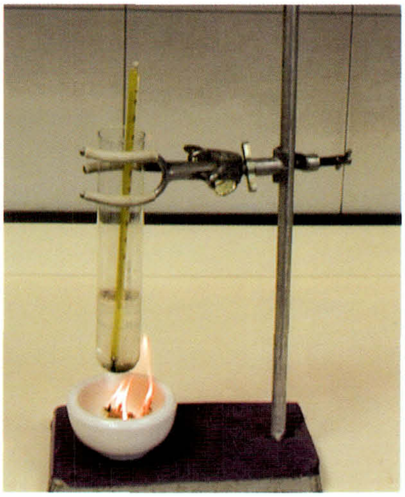
משקל חצי אנליטי

גפרורים ארוכים

מד טמפרטורה / חיישן טמפרטורה

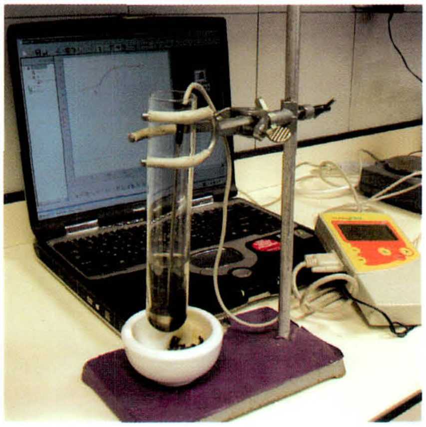
מוט זכוכית

מהלך הניסוי (לא ממוחשב):



1. שקלו בתוך כורית חסינת אש, 2 - 3 גרם פופקורן למיקרוגל מוכן לאכילה.
2. שפכו למבחנה 50 מ"ל מים מזוקקים והרכיבו את המבחנה על המעמד.
3. טבלו את מד הטמפרטורה בתוך המים במבחנה ורשמו את טמפרטורת המים הראשונית.
4. הציתו את הפופקורן שבכורית באמצעות גפרור והעמידו את הכורית מתחת למבחנה (קרוב ככל האפשר לתחתית המבחנה). בחשו את המים המתחממים בעזרת מד הטמפרטורה.
5. בסיום הבערה רשמו את טמפרטורת המים היציבה הסופית.
6. הוציאו את הכורית עם הפופקורן שנותר לאחר השריפה, המתינו מספר דקות ושקלו שנית.

מהלך הניסוי המבוצע באופן ממוחשב:



1. שקלו בתוך כורית חסינת אש, 2 - 3 גרם פופקורן למיקרוגל מוכן לאכילה.
2. שפכו למבחנה 50 מ"ל מים מזוקקים והרכיבו את המבחנה על המעמד.
3. טבלו את חיישן הטמפרטורה בתוך המים במבחנה והפעילו את אוגר הנתונים.
4. הציתו את הפופקורן שבכורית באמצעות גפרור והעמידו את הכורית מתחת למבחנה (קרוב ככל האפשר לתחתית המבחנה). בחשו את המים המתחממים בעזרת מוט זכוכית.
5. כאשר הטמפרטורה מתייצבת, הפסיקו את איסוף הנתונים.

6. הוציאו את הכורית עם הפופקורן שנותר לאחר השריפה, המתינו מספר דקות ושקלו שנית.
7. הקפידו, כי חיישן הטמפרטורה יימצא בכניסה 1. תכנתו את אוגר הנתונים, כך שקצב הדגימה יהיה כל שנייה, 1000 דגימות.

ניתוח התוצאות והסקת מסקנות:

1. חשבו את קיבול החום – Q עבור תגובת השריפה שביצעתם (באמצעות ΔT שהתקבל בניסוי).
2. האם תוכלו לחשב את חום התגובה של שריפת הפופקורן בדומה לחישובים שערכתם בכיתה לקבלת ΔH של תגובה? נמקו.
3. במקום חישוב ΔH של התגובה למול מגיב, נבצע חישוב עבור גרם מזון שהגיב. לשם כך יש לדעת את כמות המזון (פופקורן) שהגיבה ולהתאים את החישוב לגרם אחד. מה תהיינה יחידות חום השריפה המחושב במקרה זה?
4. חשבו את חום השריפה (לגרם אחד) עבור הפופקורן למיקרוגל.
5. חשבו את חום השריפה בקלוריות עבור 100 גרם מוצר (1 קלוריה גדולה (קילו-קלוריה) = 4.184 קילוג׳אול) והשוו את התוצאות שקיבלתם לערכי האנרגיה המפורטים על אריזת המוצר (כפי שמפורטים למעלה). כיצד תוכלו להסביר את ההבדל בין תוצאותיכם במעבדה לבין פירסומי היצרנים?
6. בניסוי ממוחשב: צרפו לדו״ח את הגרף ותארו את הגרף שהתקבל על אזוריו השונים. הסבירו בשפה מדעית ובהתבסס על רמות ההבנה בכימיה את צורת הגרף שהתקבל.

שלב ב׳ - ניסוי מתקדם

על סמך תוצאות הניסוי ומסקנותיכם מהן:

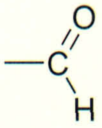
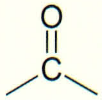
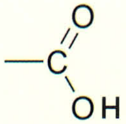
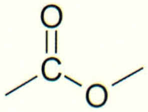
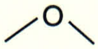
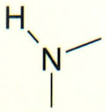
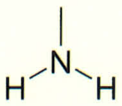
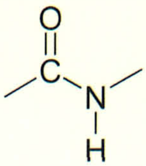
1. נסחו מיגוון של שאלות העולות בדעתכם, שעליהן לא קיבלתם מענה מתוך הניסוי הבודד שביצעתם.
2. בחרו את אחת השאלות שהעליתם ונסחו אותה כשאלת חקר. השאלה תכיל שני משתנים ברורים וממוקדים עם קשר של תלות ביניהם.
3. העלו השערה מנומקת הנשענת על בסיס מדעי לגבי תוצאות אפשריות לשאלת החקר שהעליתם.
4. רשמו מהם הגורמים הקבועים בניסוי.
5. תכננו ניסוי באמצעותו תוכלו לבדוק את ההשערה שהעליתם:
   - פרטו את הציוד והחומרים הדרושים לכם. לרשותכם עומדת גם מערכת ממוחשבת בליווי חיישנים.
   - פרטו את מהלך הניסוי.
   - קיימו התייעצות עם המורה לגבי שאלת החקר ולגבי תיכנון הניסוי שהצעתם וקבלו את אישורו/ה.
   - העבירו ללבורנט/ית את רשימת הציוד והחומרים.
6. בצעו את הניסוי שהצעתם לאחר שקיבלתם את אישור המורה.
7. הציגו את תוצאות הניסוי באופן מסודר באמצעות טבלה (או גרף ממוחשב).
8. נתחו את התוצאות באופן מדעי ובהתבסס על רמות ההבנה בכימיה.
9. רשמו את מסקנותיכם מהניסוי שביצעתם ואששו או הפריכו את ההשערה שהעליתם.
10. רשמו שאלות נוספות אותן ניתן לחקור בהמשך למסקנות שהסקתם מהניסוי שביצעתם.

11. רפלקציה:

- נסו לתאר את התהליך אותו עברתם עד לגיבוש שאלת החקר.
- האם הייתם משנים את תיכנון או ביצוע הניסוי? כיצד?
- נסו לתאר את תחושותיכם ביחס לעבודה השיתופית בקבוצה. התייחסו לתרומה, לחילוקי הדעות בקבוצה ולדרכי ההתמודדות בזמן ביצוע הניסוי.
- האם נותרו היבטים בלתי ברורים בסוף הפעילות במעבדה? פרטו מהם וממה לדעתכם נובע הקושי בהבנתם.

12. הקפידו על דו"ח מאורגן, בנוי היטב וקריא.

נספח 3 - קבוצות פונקציונליות ביחידת הלימוד

שם הקבוצה הפונקציונלית	רישום באמצעות נוסחת מבנה	רישום מקוצר	חומרים* בהם קיימת הקבוצה הפונקציונלית
הידרוכסילית (כוהלית)	-OH	-OH	סוכרים
אלדהידית		-CHO	סוכרים (מבנה שרשרתי - ייצוג פישר)
קטונית		-CO-	סוכרים (מבנה שרשרתי - ייצוג פישר)
קרבוקסילית		-COOH	חומצות שומן חומצות אמיניות
אסטרית		-COO-	טריגליצרידים
אתרית		-O-	אנטיאוקסידנטים
אמינית	 	$-NH_2$ -NH	חומצות אמיניות
פפטידית		-CO(NH)-	חלבונים

* החומרים מתייחסים רק לאלו המופיעים ביחידת הלימוד

נספח 4 - מילון מושגים

אבות המזון – מרכיבי המזון החיוניים לגופנו והדרושים לתיפקוד התקין של הגוף. מרכיבים אלו כוללים שתי קבוצות של חומרים: האחת, שומנים, חלבונים ופחמימות – הדרושים לגוף בכמויות של עשרות ומאות גרמים ליום; השנייה, ויטמינים ומינרלים – הדרושים לגוף בכמויות זעירות של גרמים, אלפיות ואף מליוניות גרמים ליום.

אוליגו-סוכרים – פחמימות הבנויות משניים עד עשרה שיירי חד-סוכרים, הקשורים זה לזה בקשרים גליקוזידיים.

אוליגו-פפטיד – מספר מועט (עד 10) של חומצות אמיניות הקשורות ביניהן בקשרים פפטידיים.

אוממי – טעם עצמאי שאיננו ניתן להגדרה על-ידי ארבעת הטעמים הידועים: מתוק, מלוח, חמוץ ומר. משמעות הטעם "אוממי" היא ערב לחיך – טעים. הטעם אוממי מאופיין בעיקר על-ידי החומר גלוטאמט, שהוא מלח של החומצה האמינית חומצה גלוטמית. החומר מחזק את הטעם של בשר, דגים וירקות. ניתן למצוא אותו במזונות שונים, כגון: עגבניות, גבינת פרמזן, רוטב סויה. חומר זה מגביר את הטעמים האחרים ונוהגים להוסיף אותו למזונות בצורת מונסודיום גלוטאמט (MSG).

איזומריה – תופעה, שבה לתרכובות בעלות אותה נוסחה מולקולרית יש סידור שונה של האטומים (היערכות שונה של האטומים במולקולה). כתוצאה מכך, מוקנות להן תכונות שונות. קיימים סוגים שונים של איזומריה.

איזומריה אופטית – מולקולות בעלות אותה נוסחה מולקולרית ונוסחת מבנה, אך בעלות סידור שונה של מתמירים (אטומים או קבוצות אטומים) מסביב לפחמן אסימטרי (אחד לפחות).
איזומרים אופטיים מסובבים את מישור האור המקוטב בזווית שווה, אך בכיוונים מנוגדים.

איזומריה מסוג ציס טרנס – איזומריה גאומטרית, שבה שתי מולקולות בעלות אותה נוסחה מולקולרית אך עם אירגון מרחבי שונה סביב הקשר הכפול. למבנה מרחבי השונה של המולקולות יש השפעה על תכונות שונות של החומרים, כמו למשל על טמפרטורת ההיתוך.

אלדוזות – סוכרים שבמבנה המולקולרי שלהם מצויה קבוצה אלדהידית.

אלקלואידים – תרכובות אורגניות המכילות חנקן. למרבית התרכובות האלקלואידיות, טעם מר והשפעות פיסיולוגיות שונות. לדוגמה, הניקוטין והקפאין הינן בעלות טעם מר והן מאופיינות בהשפעות פיסיולוגיות הגורמות להתמכרות.

אמפוטריות – תכונה של תרכובות, כמו החומצות האמיניות, המסוגלות להגיב הן כחומצה והן כבסיס.

אנדרופינים - קבוצת חומרים המשתחררת בגוף וגורמת לתחושת טובה ולהקלה על תחושות כאב. החומרים משתחררים גם במהלך אכילת מזון חריף וגורמים להרגשה טובה ומכאן, הנאתם של אוהבי האוכל החריף.

אנומרים - איזומרים הנבדלים ביניהם בסידור המרחבי של הקבוצות H ו-OH, הקשורות לפחמן האנומרי. האנומרים מסומנים באותיות: α, β.

אנטיאוקסידנטים - תרכובות הפועלות כנוגדי חימצון, גורמות להאטה ולעיתים אף לבלימה של תהליך החימצון של חומצות השומן והכולסטרול במזון. לרוב, מכילות קבוצות פנוליות (טבעת בנזנית עם קבוצת OH).

אננטיומרים - איזומרים אופטיים המהווים תמונת ראי אחד של השני ואינם ניתנים לחפיפה.

אסטר - תרכובת הנוצרת מתגובה בין חומצה קרבוקסילית לכוהל. בתהליך נוצרת גם מולקולת מים.

אפימרים - איזומרים אופטיים, שאינם דמויות ראי, נבדלים ביניהם בתבנית של אטום פחמן אסימטרי אחד בלבד.

ATP - מולקולה, הנוצרת בתהליך הנשימה התאית. מהווה את מקור האנרגיה הזמין בגוף. אחת המולקולות החשובות ביותר בתהליכי החיים. היא נוצרת ומשתתפת בתהליכים ביוכימיים בגוף ותפקידה הוא לספק אנרגיה כימית זמינה לקיום התהליכים השונים בגוף.

גלוקוז - חד-סוכר, המשמש כמקור אנרגיה עיקרי לכל הרקמות בגוף. מצוי בפירות רבים ובדבש. מכיל ששה אטומי פחמן ושייך לקבוצת הסוכרים המכונים הכסוזות (הכסה = 6).

D גלוקוז - אחד משני האיזומרים האופטיים של גלוקוז הקיימים בטבע. מצוי בדרך כלל במבנה של טבעת משושה, הכוללת חמישה אטומי פחמן ואטום חמצן אחד. לפחמן מספר 5 קשורה קבוצת אטומים: CH_2OH - הנמצאת מחוץ לטבעת ונקראת מתילול.

α D גלוקוז - טבעת גלוקוז, אשר בה קבוצת ה - OH על C-1 נמצאת מתחת למישור הטבעת, בניגוד לעמדה של המתילול הנמצא מעל מישור הטבעת.

β D גלוקוז - טבעת גלוקוז, אשר בה קבוצת ה - OH על C-1 נמצאת מעל מישור הטבעת, בדומה לעמדה של המתילול.

גלוקועמילז - אנזים המפרק אוליגו סוכרים ליחידות בודדות (מונומרים) של גלוקוז.

גליקוגן – רב-סוכר המורכב מיחידות גלוקוז. משמש חומר תשמורת לגלוקוז בגוף האדם ונאגר בעיקר בכבד, בשרירים ומעט גם בכליות.

גליקוליזה – תהליך רב-שלבי של פירוק הגלוקוז, המתרחש כחלק מתהליך הנשימה בגופנו לצורך הפקת אנרגיה. בתהליך הגליקוליזה, הופכת כל מולקולת גלוקוז, בעלת שישה אטומי פחמן, לשתי מולקולות של חומצה פירובית, בעלת שלושה אטומי פחמן. בתהליך מתקבלות גם שתי מולקולות של ATP.

גלוקופור – קבוצת אטומים בתרכובת, המייצגת מודל המסביר את הטעם המתוק של החומר. המבנה המרחבי של הקבוצה תואם במדויק את מבנה הקולטן – החלבון בתאי הטעם שבקדמת הלשון, האחראים על הטעם המתוק. נוצרים קשרי מימן בין קבוצה זו לחלבון – וכתוצאה נשלח אות חשמלי, דרך תאי העצב למוח.

דו-יון – חומצות אמיניות מכילות גם קבוצה קרבוקסילית וגם קבוצה אמינית. בתמיסה, כתלות ב-pH, הקבוצה הקרבוקסילית מתנהגת כחומצה ומאבדת בקלות פרוטון H^+ והקבוצה האמינית מתנהגת כבסיס וקושרת פרוטון H^+. מתקבל מבנה בעל אופי ניטראלי מבחינה חשמלית, אשר מכיל שני יונים בעלי מטען מנוגד.

דו-סוכרים – פחמימות, אשר כל מולקולה שלהן מורכבת משתי מולקולות של חד-סוכר עם קשר גליקוזידי ביניהן. דוגמאות: סוכרוז (מורכב ממולקולת גלוקוז ומולקולת פרוקטוז), לקטוז (מורכב ממולקולת גלוקוז ומולקולת גלקטוז) ומלטוז (מורכב משתי מולקולות של גלוקוז).

דנטורציה של חלבונים – שינוי המבנה המרחבי הטבעי של החלבון באמצעות שינוי בתנאי הסביבה, כגון חימום, הוספת חומצות, בסיסים, ממסים שונים וחשיפה לקרינה. שינויים אלו גורמים להרס המבנה המרחבי של החלבון, אך אינם פוגעים במבנה הראשוני של החלבון, כלומר בקשרים הפפטידיים בין החומצות האמיניות. הדנטורציה גורמת לשינויים בתכונות החלבון כגון: ירידה במסיסות, איבוד הפעילות הביולוגית ועלייה בצמיגות.

הומו רב-סוכר – רב-סוכר הבנוי מסוג אחד של מולקולות חד-סוכר.

הטרו רב-סוכר – רב-סוכר הבנוי משני סוגים לפחות של מולקולות חד-סוכר.

הידרוגנציה – תהליך סיפוח של אטומי מימן לקשר כפול. בתעשיית המזון, הזרמת גז מימן, בנוכחות זרז מתאים (בדרך כלל מתכת ניקל Ni) מעל חומצות שומן לא רוויות, גורמת לפתיחת הקשרים הכפולים (חיזור) תוך סיפוח של אטומי מימן. כתוצאה מתקבלות חומצות שומן רוויות.

הכסוזה – חד-סוכר המכיל 6 אטומי פחמן.

ויטמינים – מרכיבים חיוניים במזון, חיוניים לתיפקוד ולפעילות ביולוגית תקינים של הגוף. דרושים לגוף בכמויות קטנות.

ויטמין A – מסיס בשומן, חיוני לראיית לילה תקינה ומעורב בתהליך הגדילה. משמש גם כבולם חימצון (אנטיאוקסידנט)* ומגן על מרכיבי גוף חיוניים מפני תהליכי חימצון.

ויטמין D – מסיס בשומן, משמש כחומר מוצא ליצירת ההורמון קאלציטריול, האחראי על חילוף חומרים תקין של יוני סידן וזרחן. חוסר בוויטמין זה גורם אצל ילדים למחלת הרככת (צפיפות עצם נמוכה הגורמת בעיקר לעקמומיות הגפיים).

ויטמין E – מסיס בשומן, חיוני לתיפקוד מערכת החיסון ופועל כבולם תהליכי חימצון כנגד פעילותם ההרסנית של רדיקלים חופשיים*.

ויטמין K – מסיס בשומן, חשוב לפעילות תקינה של חלבונים ייחודיים במערכת קרישת הדם ולכן מחסור בוויטמין זה גורם לליקויים בקרישת הדם.

חד-סוכרים – סוכרים פשוטים, אשר אינם עוברים פירוק (באמצעות מים – הידרוליזה) לסוכרים פשוטים יותר. נוסחתם האמפירית היא $(CH_2O)_n$ כאשר $n>3$ דוגמאות: גלוקוז (דקסטרוז), פרוקטוז (סוכר פירות), גלקטוז (תוצר פירוק של סוכר החלב).

חומצות אמיניות – תרכובות בעלות מבנה כללי של אטום פחמן מרכזי הקשור לקבוצה אמינית, קבוצה קרבוקסילית, מימן וקבוצה צדדית. קיימות 20 חומצות אמיניות שונות, הנבדלות זו מזו בקבוצה הצדדית שלהן והן מהוות את אבני הבניין של החלבונים.

חומצות אמיניות חיוניות – חומצות אמיניות, שהגוף אינו יכול לייצרן ובני האדם חייבים לקבל אותן מחלבונים שבמזון. שאר החומצות האמיניות מיוצרות בגוף מחומרי ביניים, במסלולים ביוכימיים שונים ולכן אינן חייבות להיכלל במזון.

חומצה אמינית מגבילה – חומצה אמינית, המצויה במזון מסוים בריכוז שאינו מספיק לצרכי פעילות תקינה של הגוף.

חומצות שומן – תרכובות המאופיינות על-ידי שרשרת של אטומי פחמן, אליהם קשורים אטומי מימן, ובקצה השרשרת קבוצה קרבוקסילית: $-COOH$. שרשרת זו מסמנים באות R, ולכן נוסחת המבנה הכללית של חומצת שומן היא: RCOOH.

---

* ראו במילון.

חומצות שומן טרנס – חומצות שומן, שבהן אטומי המימן שסביב הקשר הכפול מסודרים במצב טרנס. לעומת זאת, בחומצות שומן טבעיות, היערכות האטומים סביב הקשרים הכפולים היא במצב ציס. מחקרים רבים הראו, כי אכילה מוגברת של מוצרי מזון מעובדים המכילים חומצות אלו (בעיקר מרגרינה), מעלה את רמת הכולסטרול בדם. כתוצאה, עולה הסיכון להתקפי לב, סכרת וסוגים אחדים של סרטן.

חומצות שומן חיונית – חומצות שומן חיוניות לגוף, אך הוא אינו יכול לייצרן בעצמו. חומצות אלו כוללות את החומצה הלינולאית: $c18{:}2\omega6$ ואת החומצה הלינולנית: $c18{:}3\omega3$, שהן חומצות מסוג אומגה 6 ואומגה 3 בהתאמה.

חומצות שומן חופשיות – חומצות שומן הנוצרות בדרך כלל מפירוק – הידרוליזה של טריגליצרידים* בשמן מאכל. ככל שריכוזן בשמן גבוה יותר, איכותו נמוכה יותר. הימצאות חומצות שומן חופשיות בשמן גורמת לטעמי לוואי ופוגעת ביציבותו.

חומצות שומן לא רוויות – חומצות שומן המכילות אחד או יותר קשרים כפולים בין אטומי הפחמן בשרשרת. חומצות שומן המכילות קשר כפול אחד נקראות: חד לא-רוויות ומתאימות לנוסחה הכללית: $C_nH_{2n-1}COOH$; אלו המכילות שתיים או יותר קשרים כפולים נקראות רב לא-רוויות ומתאימות לנוסחה הכללית: $C_nH_{2n+1-2X}COOH$ כאשר X מייצג את מספר הקשרים הכפולים.

חומצות שומניות רוויות – חומצות שומן, אשר אינן מכילות קשרים כפולים בין אטומי הפחמן בשרשרת ומתאימות לנוסחה הכללית: $C_nH_{2n+1}COOH$.

חלבונים – פולימרים טבעיים המכונים פוליפפטידים. המונומרים (יחידות המבנה) המרכיבים את שרשרות הפולימר הן חומצות אמיניות. החלבון הוא אחד משלושת אבות המזון החיוניים לתיפקודו התקין של הגוף. תכונות החלבון נקבעות על פי רצף החומצות האמיניות בשרשרת הבונה את החלבון.

חמאה – מיוצרת מחלב על-ידי החבצת השמנת. בתהליך זה, שומני החלב מתמזגים ומתקבל מרקם מוצק. חמאה מכילה 80% שומן, פחות מאחוז אחד של חלבון, מינרלים וויטמינים – והשאר מים. חמאה מכילה ריכוז גבוה של חומצות שומן רוויות, הכוללות גם אחוז ניכר של חומצות שומן קצרות. בשל דרגת הריוויון הגבוהה של השומן, נחשבת חמאה לבעייתית מבחינת הסיכון למחלות לב וכלי דם.

טריגליצריד – תרכובת הנוצרת מתגובה בין חומצות שומן וגליצרול (המכיל שלוש קבוצות הידרוכסיליות). בתהליך האיסטור, מתקבלות שלוש מולקולות מים. חומצות השומן בטריגליצריד יכולות להיות זהות או שונות. טריגליצרידים מצויים במזונות רבים. בגוף האדם מרוכזים הטריגליצרידים ברקמות השומן וכן בליפופרוטאינים* שבדם.

---

* ראו במילון.

כבישה קרה – מיצוי שמן מזרעי צמחים ללא חימום וללא תוספת של חומרים כימיים. הכבישה נעשית באבן ריחיים או בתהליך מכני דומה. בדרך זו נשמרים הרכיבים התזונתיים הנמצאים בצמח המקורי ממנו הופק השמן. כל עוד נשמר השמן במקום קריר ואפל ובכלי אטום לחמצן, ערכו וטעמו נשמרים, אך כאשר הוא נחשף לאור ולאוויר קילקולו מואץ.

כולסטרול – שייך למשפחה גדולה של חומרים –סטרואידים. נמנה על השומנים המרכיבים את קרומי התא ועיקר חשיבותו בוויסות צמיגותם. מיוצר בגופנו, בעיקר בכבד ובמעי. הכולסטרול מצוי אך ורק במזון מן החי, בעיקר בחלמון ביצה ובאיברים פנימיים של בעלי–חיים. כמו שומנים אחרים, הכולסטרול איננו מסיס במים ולכן איננו מסיס בדם.

ליפופרוטאינים – תרכובות קומפלקסיות בין חלבונים לליפידים*. החלבונים קושרים את הליפידים שאינם מסיסים במים, כגון: טריגליצרידים וכולסטרול, וכך מאפשרים את ייצובם בסביבה מימית. מוכרים במיוחד הליפופרוטאינים שבדם.

ליפופרוטאנים מטיפוס HDL – ליפופרוטאינים "בעלי צפיפות גבוהה", המכילים שיעור נמוך של שומן וגבוה של חלבון. התפקיד העיקרי שלהם הוא להסיע עודפי כולסטרול מהרקמות לשם ייצור תרכובות שומן כגון: חומצות מרה, או להפרשה.

ליפופרוטאנים מטיפוס LDL – ליפופרוטאנים "בעלי צפיפות נמוכה", המכילים שיעור גבוה של שומן לעומת חלבון. הם הנשאים העיקריים של כולסטרול מהכבד לרקמות. בתאי הגוף קיימים קולטנים (receptors) מיוחדים המזהים חלקיקי LDL ו"מאפשרים" את כניסתם לתאים. אצל אנשים עם כמות קטנה יחסית של קולטנים אלו, ייכנסו פחות חלקיקי LDL לתאים וכמותם בדם תהייה גבוהה יותר. לאנשים אלו תהיה רמת כולסטרול (המבוטא ביחידות LDL) גבוהה בדם, דבר המהווה גורם סיכון למחלות כלי דם ומעלה את הסיכון להתקפי לב.

ליפידים – משפחה של חומרים שהמשותף להם הוא אי מסיסותם במים. שומנים ושמנים שייכים למשפחת הליפידים.

מבנה ראשוני של חלבון – מתייחס לרצף החומצות האמיניות המרכיבות את החלבון: סוגן, מספרן והסדר העוקב בו הן קשורות זו לזו. מבנה זה מכונה פוליפפטיד. רצף החומצות האמיניות קובע את כל תכונות החלבון.

מבנה שניוני של חלבון – מתייחס לסידור המרחבי המקומי של קטעים בשרשרת החומצות האמיניות והוא מתקיים בעיקר על ידי קשרי מימן.

מבנה שלישוני של החלבון – מתייחס לאירגון המרחבי של השרשרת הפוליפפטידית כולה, כלומר האירגון במרחב של כלל האטומים בשרשרת. את המבנה השלישוני מייצבים קשרי מימן, קשרים יוניים, קשרי דו-גפרית וקשרי ון-דר-ולס.

מבנה רביעוני של החלבון – קיים רק בחלבונים המורכבים מכמה שרשרות פוליפפטידיות. רמה זו מתארת את האופן בו מספר שרשרות מאורגנות וקשורות זו לזו במרחב.

מוטרוטציה – תהליך המתרחש בתמיסה, במהלכו יכול חד-סוכר לעבור מאנומר α לאנומר β ולהיפך. המעבר מתרחש דרך צורת השרשרת הפתוחה של הסוכר. בתמיסה שהגיעה לשיווי משקל, נמצאים חד סוכר α ו- β וכן כמויות קטנות של חד-סוכר במבנה של שרשרת פתוחה.

מונוסדיום גלוטאמט – החומר המוכר ביותר כיום, הקשור בטעם אוממי. חומר זה הינו מלח (בדרך כלל נתרני) של החומצה הגלוטמית, שהיא אחת מ-20 החומצות האמיניות הטבעיות. לחומר אין טעם מיוחד, אך כשהוא בא במגע עם טעמים אחרים, הוא מחזק את טעמם. השימוש במונוסודיום גלוטאמט מוכר מזה שנים רבות במדינות מזרח אסיה, בעיקר ביפן וסין.

מטאבוליזם – תהליך חילוף חומרים בגוף.

מינרלים – חומרים הדרושים לגוף בכמויות קטנות מאוד, חיוניים לפעילות ביולוגית תקינה של הגוף. הם מצויים בגוף כיוני מלחים או קשורים לחלבונים. כוללים: אשלגן, גפרית, זרחן, כלור, מגנזיום, נתרן, סידן, אבץ, ברזל, מנגן, נחושת, פלואור, בור, יוד, כרום, ליתיום, מוליבדן, ניקל, סלניום, צורן.

מרגרינה – תוצר של הרווית קשרים כפולים בחומצות שומן בשמן. ייצור מרגרינה בתהליך הידרוגנציה, גורם לכך שהמרגרינה מכילה אחוז מסוים של חומצות שומן מסוג טרנס ובמרגרינות תעשייתיות (המשמשות במאכלים מעובדים רבים, בעיקר בצקים, צ׳יפס מוכן וכדומה), כמותן גבוהה יחסית למרגרינות לשימוש ביתי.

מתילול – קבוצת אטומים: CH_2OH – הנמצאת מחוץ לטבעת החד-סוכר.

נוסחת פישר – שיטה נוחה לרישום סידור אטומי הפחמן במולקולות החד-סוכרים בצורה שרשרתית. את שרשרת אטומי הפחמן רושמים בצורה מאונכת, כך שאטום הפחמן המחומצן ביותר יהיה כלפי מעלה (CHO במולקולת הגלוקוז) ואילו אטום הפחמן המחוזר ביותר יירשם בתחתית הנוסחה (CH_2OH במולקולת הגלוקוז). מיספור אטומי הפחמן מתבצע מלמעלה למטה.

עיכול – פירוק של מרכיבי המזון העיקריים למולקולות המרכיבות אותם, מתבצע במערכת העיכול. הפחמימות הופכות לחד-סוכרים (בדרך כלל, לגלוקוז ולפרוקטוז), השומנים לחומצות שומן וגליצרול,

והחלבונים לחומצות אמיניות.

סוכרוז – דו-סוכר, הבנוי משני החד-סוכרים גלוקוז ופרוקטוז. הסוכרוז הינו הדו-סוכר המוכר והנפוץ ביותר. כינויו העממי של הסוכרוז הוא "סוכר" או "סוכר השולחן" והוא משמש להמתקת מזון.

α עמילאז – אנזים המפרק עמילן לאוליגו סוכרים.

עמילוז – ממרכיבי העמילן. פולימר שרשרתי, לא מסועף, המורכב מכמה אלפי יחידות של גלוקוז בשרשרת.

עמילופקטין – פולימר מסועף מאוד, המורכב ממאות אלפים ועד מיליוני יחידות גלוקוז.

עמילן – רב-סוכר, המורכב מעמילוז ועמילופקטין. מהווה חומר תשמורת עיקרי בצמחים ונאגר באברי אגירה כמו פקעות ושורשים.

ערך גליקמי – מדד המשקף את העלייה היחסית בריכוז הגלוקוז בדם לאחר צריכת מזון מסוים, המכיל כמות ידועה של פחמימות, לעומת העלייה לאחר צריכת גלוקוז נקי באותה הכמות. הערך הגליקמי של גלוקוז הוא 100.

ערך קלורי של מזון – אנרגיה המתקבלת בגוף מפירוק מרכיבי המזון העיקריים: פחמימות, שומנים וחלבונים. פירוק של 1 גר' פחמימה, מספק לגוף 4 קילו-קלוריות*, פירוק של 1 גרם של שומן מספק 9 קילו-קלוריות ופירוק של 1 גר' חלבון מספק 4 קילו-קלוריות. מרכיבי המזון האחרים, מינרלים וויטמינים, לא מספקים אנרגיה לגוף.

פוליפפטיד – תרכובת המכילה מספר רב של חומצות אמיניות הקשורות ביניהן בקשר פפטידי.

פחמן אסימטרי (פחמן כירלי) – אטום פחמן שאליו קשורות ארבע קבוצות שונות של אטומים.

פחמן ω – אטום פחמן המרוחק ביותר מהקבוצה הפונקציונאלית בתרכובת. נהוג לסמן אותו באות היוונית אומגה: ω.

פחמימות – תרכובות הבנויות מאטומי פחמן, חמצן ומימן. מקור השם פחמימה (Carbohydrate) נגזר מהמילים פחמן (Carbon) והידרט (Hydrate) – תרכובת המכילה מולקולות מים. שמן של הפחמימות נעוץ

---

* קילו-קלוריה היא יחידת מידה לחום ואנרגיה. זוהי כמות החום הדרושה כדי לחמם 1 קילוגרם מים במעלת צלזיוס אחת, בלחץ של אטמוספירה אחת. במזון, קילו-קלוריה שווה לאלף קלוריות. המילה קלוריה הפכה שגורה ורווחת כשהיא מחליפה את המילה קילו-קלוריה בשימושה העממי.

בהרכבן הכימי, כיוון שרובן מורכבות ממספר מסוים של אטומי פחמן וממספר זהה של מולקולות מים. נוסחתן הכללית של הפחמימות הינה $C_X(H_2O)_Y$.

פלבונואידים – משפחת תרכובות המכילות קבוצה פנולית (טבעת בנזן אליה מחוברות קבוצות OH). פועלות כחומרים נוגדי חימצון (אנטיאוקסידנטים*).

פנטוזות – קבוצת סוכרים בה כל מולקולה מכילה חמישה אטומי פחמן.

פנילקטונוריה – מחלה גנטית המתבטאת בחוסר באנזים הקרוי פניל-אלנין הידרוכסילאז, המזרז את הפיכת החומצה האמינית פניל-אלנין לחומצה האמינית טירוזין. כתוצאה מכך, החומצה האמינית פניל-אלנין מצטברת בגוף החולה. ריכוז גבוה שלה בגוף פוגע במערכת העצבים המרכזית, גורם לנזקים במוח בשנים הראשונות של התפתחות הילד ואף יכול להביא לפיגור שכלי. לכן, חשוב שהחולים במחלה זו לא יצרכו כמויות גדולות של פניל-אלנין.

פרוסטאגלנדינים – מולקולות בעלות פעילות הורמונלית מקומית בגוף. הבסיס ליצירתן הן חומצות שומן הכרחיות. לפרוסטאגלנדינים תפקיד חשוב במערכת קרישת הדם ופעילות דלקתית בגוף.

פרוקטוז – חד סוכר נפוץ מאוד בטבע, בעיקר בפירות ובדבש. הוא מסווג כסוכר הטבעי המתוק ביותר. מצוי בדרך כלל במבנה של טבעת מחומשת אך לפעמים גם במבנה של טבעת משושה.

α D פרוקטוז – צורה אנומרית* של D פרוקטוז, אשר בה קבוצת ה -OH על C-2 נמצאת מתחת למישור הטבעת.

β D פרוקטוז – צורה אנומרית* של D פרוקטוז, אשר בה קבוצת ה -OH על C-2 נמצאת מעל למישור הטבעת.

קטוזות סוכרים, שבמבנה המולקולרי שלהם כלולה קבוצה קטונית.

קשר גליקוזידי – קשר הנוצר בתגובת דחיסה של שני סוכרים תוך פליטת מולקולת מים.

קשר פפטידי – נוצר בין שתי חומצות אמיניות ומתקבל בתגובת דחיסה ביניהן, תוך יציאת מולקולת מים. הקשר הפפטידי נקרא גם קשר אמידי.

רב-סוכרים – פולימרים של סוכרים, אשר כל מולקולה שלהם מורכבת ממספר גדול של מולקולות של חד-סוכרים. רב-סוכרים מתקבלים בתהליך דחיסה.

---

* ראו במילון

רדיקל חופשי – חלקיק (אטום, יון, מולקולה) המכיל אלקטרון בלתי מזווג ולכן הינו פעיל מאוד מבחינה כימית. הרדיקלים החופשיים העיקריים הנוצרים בגוף הם רדיקלים של חמצן, המגיבים עם מרכיבי הגוף ויוצרים תגובות שרשרת העלולות לגרום נזק רב לרקמות.

שיטת הייוורת – שיטה לרישום מולקולות סוכר. בשיטה זו, מישור הטבעת ניצב למישור הדף.

שמן מזוכך – שמן המופק לרוב מזרעים של צמחים (סויה, תירס, חריע, חמניות, ליפתית וכדומה), בדרך כלל, באמצעות ממס אורגני בתהליך רב שלבי.

תאית צלולוז – פולימר של יחידות D גלוקוז בעל שרשרות קוויות ובלתי מסועפות. בכל שרשרת כ- 4000-5000 יחידות גלוקוז. התאית היא התרכובת האורגנית הנפוצה ביותר בטבע ומהווה ברוב הצמחים כ- 50% מסך כל תרכובות הפחמן שלהם.

תגובת דחיסה – תגובה בה שתי מולקולות נקשרות זו לזו תוך יצירת מולקולה של תרכובת חדשה ומולקולה קטנה כדוגמת מים.

תסמונת המסעדה הסינית – תסמונת המתפתחת אצל חלק מהאנשים האוכלים מזון המכיל מלח של החומצה האמינית חומצה גלוטמית (בדרך כלל מונוסודיום גלוטאמט). סימני התסמונת מופיעים תוך שעה מאכילת המזון ועלולים לכלול: צמא מציק, זיעה קרה, כאבים בחזה, בחילות, כאבי ראש, לחץ בפנים, תחושת נימול, צריבה בעור, חולשה, דופק מהיר, סחרחורת. התסמונת נעלמת לאחר זמן מה ללא תופעות לוואי.

מילון מושגים: עברית - אנגלית

אבות המזון ... macronutrients
אוליגו - סוכרים ... oligosaccharides
אוליגו- פפטיד ... oligopeptide
אוממי ... umami
איזומריה ... isomerization
איזומריה אופטית ... optical isomerization
איזומריה מסוג ציס טרנס ... cis-trans isomerization
אלדוזות ... aldoses
אלקלואידים ... alkaloids
אמפוטריות ... amphoterism
אנדרופינים ... endorphins
אנומרים ... anomers
אנטיאוקסידנטים ... antioxidants
אננטיומרים ... enantiomers
אסטר ... ester
אפימרים ... epimers
ATP ... adenosine triphosphate
גלוקוז ... glucose
D גלוקוז ... D-glucose
α D - גלוקוז ... α D-glucose
β D - גלוקוז ... β D-glucose
גלוקועמילז ... gluco amylase
גליקוגן ... glycogen
גליקוליזה ... glycolysis
גלוקופור ... glucophore
דו-יון ... zwitterion
דו- סוכרים ... disaccharides
דנטורציה של חלבונים ... denaturation of proteins
הומו רב-סוכר ... homopolysacchride
הטרו רב-סוכר ... hetropolysacchride
הידרוגנציה ... hydrogenation
הכסוזה ... hexose
ויטמינים ... vitamins
ויטמין A ... vitamin A
ויטמין D ... vitamin D
ויטמין E ... vitamin E
ויטמין K ... vitamin K
חד-סוכרים ... monosacchrides
חומצות אמיניות ... amino acids
חומצות אמיניות חיוניות ... essential amino acids
חומצה אמינית מגבילה ... limiting amino acids
חומצות שומן ... fatty acids

trans fatty acid	חומצות שומן טרנס
essential fatty acids	חומצות שומן חיוניות
free fatty acids – FFA	חומצות שומן חופשיות
unsaturated fatty acids	חומצות שומן לא רוויות
saturated fatty acids	חומצות שומניות רוויות
proteins	חלבונים
butter	חמאה
triglyceride	טריגליצריד
cold pressing	כבישה קרה
cholesterol	כולסטרול
lipoproteins	ליפופרוטאינים
high density lipoproteins	ליפופרוטאנים מטיפוס HDL
low density lipoproteins	ליפופרוטאנים מטיפוס LDL
lipids	ליפידים
primary structure of protein	מבנה ראשוני של חלבון
secondary structure of protein	מבנה שניוני של חלבון
tertiary structure of protein	מבנה שלישוני של החלבון
quaternary structure of protein	מבנה רביעוני של החלבון
mutarotation	מוטרוטציה
monosodium glutamate – MSG	מונוסדיום גלוטאמט
metabolism	מטבוליזם
minerals	מינרלים
margarine	מרגרינה
hydroxyl-methyl group	מתילול
Fischer	נוסחת פישר
digestion	עיכול
sucrose	סוכרוז
α amylase	עמילאז α
amylase	עמילוז
amylopectin	עמילופקטין
starch	עמילן
glycemic index	ערך גליקמי
caloric value of food	ערך קלורי של מזון
polypeptide	פוליפפטיד
chiral carbon	פחמן אסימטרי (פחמן כירלי)
ω carbon	פחמן ω
carbohydrates	פחמימות
flavonoids	פלבונואידים
pentoses	פנטוזות
PKU phenylketonuria	פנילקטונוריה
prostaglandins	פרוסטאגלנדינים
fructose	פרוקטוז
α D-fructose	α D - פרוקטוז
β D-fructose	β D - פרוקטוז

ketoses	קטוזות
glycoside bond	קשר גליקוזידי
peptide bond	קשר פפטידי
polysaccharides	רב-סוכרים
free radical	רדיקל חופשי
Haworth	שיטת הייוורת
refined oil	שמן מזוכך
cellulose	תאית
condensation reaction	תגובת דחיסה
Chinese restaurant syndrome, Kwok`s disease	תסמונת המסעדה הסינית

נספח 5 - רשימת מקורות מוערת ליחידת הלימוד

ספרים

גלעד, ב. וגנוט ש. (2000). *כימיה בתהליכי החיים - מקרומולקולות בעולם החי*. הוצאת האוניברסיטה העברית, ירושלים.

ספר לימוד העוסק בחלבונים ובחומצות גרעין. הספר מדגיש את מבנה חומצות האמינו בחלבון ואת המבנים השונים שלו.

זילבר-רוזנברג, א. (1996). *תזונה - פרי מחשבה, מזון ותזונה במצבי בריאות וחולי*. הוצאת האוניברסיטה הפתוחה, תל-אביב.

הספר מקיף מאוד ומתרכז בעיקר בהיבט התזונתי של האדם, מטבוליזם ומחלות הקשורות בתזונה לא נכונה. הספר כתוב בדגש ביולוגי.

לולב, א. (1995). *והחלבון הזה הוא אני*. הוצאת המחלקה להוראת המדעים, מכון וייצמן למדע.

ספר לימוד העוסק בחלבונים, מתמקד במבנה החלבונים ומספר את סיפורם של ההמוגלובין והמיוגלובין.

ערב ר. (2002). *ביוכימיה II: חומרי הטבע, חטיבה I: פחמימות*. הוצאת האוניברסיטה הפתוחה, תל-אביב.

ספר מפורט מאוד המתמקד במבנה סוכרים ופחמימות מורכבות.

Acree, T.E. & Teranishi (Ed.) (1993. *Flavor Science*. ACS Professional Reference Book, Washington DC.

ספר מפורט, מורכב ומעמיק, אשר מציג תיאוריות לתחושת טעם וריח, תגובות ומנגנונים כימיים האחראיים על תחושת הטעמים השונים.

Atkins, P. (2003). *Atkins' Molecules*. University press, Cambridge, U.K.

הספר מציג גישה חדשנית. הוא כולל מיגוון מולקולות הקשורות ו/או מוכרות מחיי היום-יום ומאורגן לפי נושאים כגון: דלקים, שומנים, סבונים, טעם, ריח, צבע, כאב ועוד. ההתייחסות היא בעיקר לשימושים או להשפעות של המולקולות השונות על חיינו ועל הסביבה ולא לתהליכים ומנגנונים כימיים של המולקולות.

Belitz, H.-D., Grosch, W.& Schieberle, P (2004). *Food Chemistry*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.

ספר מפורט ומעמיק על כימיה של מזון. כתוב ברמה גבוהה. מכיל מיגוון רחב של טבלאות וגרפים המתייחסים לחומרים ופרמטרים שונים הקשורים במזון.

Coultate, T.P. (1995). *Food - The Chemistry of its Components*. The royal society of Chemistry (third edition), Cambridge, U.K.

הספר מציג בצורה נרחבת ובדגש כימי את מרכיבי המזון: סוכרים, פוליסוכרים, שומנים, חלבונים, ויטמינים, מינרלים. כמו כן, יש התייחסות נפרדת ומפורטת לצבעי מאכל, חומרי טעם, חומרי שימור וחומרי רעל במזון.

Emsly, J. (2004). *Vanity, Vitality and Virility, The Science Behind the Products You Love to Buy.* Oxford University Press, New York, USA.

ספר חדשני המציג סוגיות וחומרים בעלי היבט מדעי וכימי תוך קישורם לחיי היום-יום. הוא עושה שימוש בשמות ומונחים מדעיים וכימים, תוך הצגתם בצורה מדויקת ונכונה, אך לא כולל נוסחאות ותהליכים. גישתו היא תיאורית-סיפורית ומעוררת עניין רב. הוא כולל גם "סיפורים" מדעיים המציגים היבטים פופולריים מחיי היום-יום הקשורים לחומרים ותופעות מדעיות וכימיות.

deMan, J.P. (1990). *Principles of Food Chemistry* (2nd edition). University of GuelpH, GuelpH, Ontario, Canada.

הספר מכיל פרקים העוסקים בחלבונים, שומנים וסוכרים. בספר מוצגות טבלאות חשובות העוסקות במרכיבי המזון, פירוט על חומצות אמיניות חיוניות במזון, הרכב הסוכרים השונים במזונות וכן הרכבים של חומצות השומן בשמנים שונים. הספר סייע בהצגת מידע בטבלאות בפרקים השונים בספר.

Fennema, O.R, (Ed)(1996). *Food Chemistry*. Marcel Dekker, Inc. (third edition), New York, USA.

הספר בסיסי ומקיף ביותר בנושא: כימיה של מזון. הפרקים בהם ניעזר הם: פחמימות, שומנים, חלבונים, ויטמינים, מינרלים, חומרי צבע וטעם, תוספי מזון. רמת הכימיה בספר גבוהה וכוללת מנגנוני תגובה מורכבים. לכן נשתמש בספר להוצאת מידע כללי ותגובות בסיסיות בלבד.

הספר סוקר גם שיטות שימור מזון רבות ומגוונות. טכנולוגיות השימור השונות מוצגות בשפה מדעית גבוהה מאוד ובאמצעות כלים מתמטיים מורכבים.

Holum, J.R. (1990). *Fundamentals of general, organic, and biological chemistry*. John Wiley & Sons, New York.

ספר העוסק במיגוון נושאים בכימיה, ביניהם גם בפחמימות, שומנים וחלבונים. הפרקים הרלוונטיים בספר עוסקים בקבוצות הפונקציונליות של התרכובות האורגניות, תגובות כימיות שלהן, מבניהן האופייניים ומכיל מיגוון טבלאות.

Selinger, B. (1998). *Chemistry in the Marketplace*. Harcourt Brace & Company, Australia.

הספר מציג את הכימיה הקשורה במושגים, תופעות וחומרים הקשורים לחיים סביבנו. הוא מאורגן לפי תחומי השימוש של החומרים בחיינו: בריאות, כביסה, מטבח, קוסמטיקה, גינה, בריכות שחיה, בדים, צבעים, רפואה וכו׳. החומרים, המבנה והתכונות מוצגים בשפה מדעית ברורה ונוחה, כולל "סיפורי" מסגרת רלוונטיים, מילון מושגים וניסויים פשוטים.

Stauffer, C.E. (1996). *Fats and Oils*. American Association of Cereal Chemists, Inc, St. Paul, Minnesota, USA.

הספר מתמקד בשמנים ובשומנים ומציג בצורה ברורה והדרגתית את הנושא, החל במושגים הבסיסיים ביותר ועד לתהליכים מורכבים. כולל גם טבלאות, איורים וגרפים. בספר גם מילון מושגים מצוין.

Summerlin, L.R. (1981). *Chemistry for the life sciences*. University of Alabama in Birmingham, Random house, Inc. New York.

ספר העוסק במיגוון נושאים בכימיה, ביניהם גם בפחמימות, שומנים וחלבונים. הפרקים הרלוונטיים בספר עוסקים בקבוצות הפונקציונליות של התרכובות האורגניות, תגובות כימיות שלהן, מבניהן האופייניים ומכיל מיגוון מודלים.

Willett, W.C. (2001). *Eat, Drink and be Healthy - The Harvard Medical school Guide to Healthy Eating.* Free Press, New York.

הספר מציג עקרונות של תזונה נכונה ובריאה. מוצגים בו, בשפה ברורה וממוקדת, ממצאי מחקרים שונים, הקשורים במזונות שונים והשפעתם על מיגוון של אנשים. הספר מכיל טבלאות רבות של הרכבי מזון שונים.

מאמרים

דרור, י. (2004). *סיבים תזונתיים – רכיב המזון הנשכח והנידח*. גליליאו, 68, 28-37.

Jacobson, E.K. (2000). JCE resources in food chemistry. *Journal of Chemical Education*, 28(10), 1256-1263.

במאמר מוצגת סקירה מורחבת של מאמרים בהם מופיע מידע, מיגוון פעילויות, ניסויי מעבדה והדגמות הקשורות לנושא כימיה של מזון, תוך התייחסות לרמת הלומד ולנושאים שונים בכימיה.

Mavropoulus, A., Roulia, M., & Petro, A. L. (2004). An Interdisciplinary model for teaching the topic "foods": A contribution to modern chemical education. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5, 143-155.

מאמר מחקרי, המתאר מודל בין-תחומי להוראת נושא המזון. במאמר מוצגים פעילויות ואסטרטגיות הוראה שונות ודרכי הערכה שונות תוך דגש על פיתוח מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה כגון: חשיבה ביקורתית, פתרון בעיות וקבלת החלטות .

אתרי אינטרנט

http://food.oregonstate.edu/food_ingre.htmll

אתר המכיל מידע לגבי מזונות ומרכיבי מזון שונים וכן מפנה לאתרים נוספים.

http://www.accessexcellence.org/AE/AEPC/IFT/index.html

באתר מוצג ספר ניסויי מזון בכימיה, הכולל ניסויים הקשורים לאבות המזון: פחמימות ,שומנים וחלבונים. כמו כן, הספר כולל מדריך פעילויות למורה ולתלמיד ומציג מידע הקשור לכימיה של אבות המזון.

http://www.foodag.com

האתר הינו מילון מפורט לתוספי מזון. הוא מכיל מידע על 1600 תוספי מזון, הרכב וסכנות. כמו כן, הוא מכיל רשימה מפורטת של מזונות פופולריים ותוספי המזון שהם מכילים, כגון: לחם, מסטיק, שמנת לקפה, מרגרינה ועוד.

http://naturemed.co.il/in_food.html

אתר ישראלי המציג טבלה מפורטת להרכב תזונתי של מיגוון רחב מאוד של מזונות.

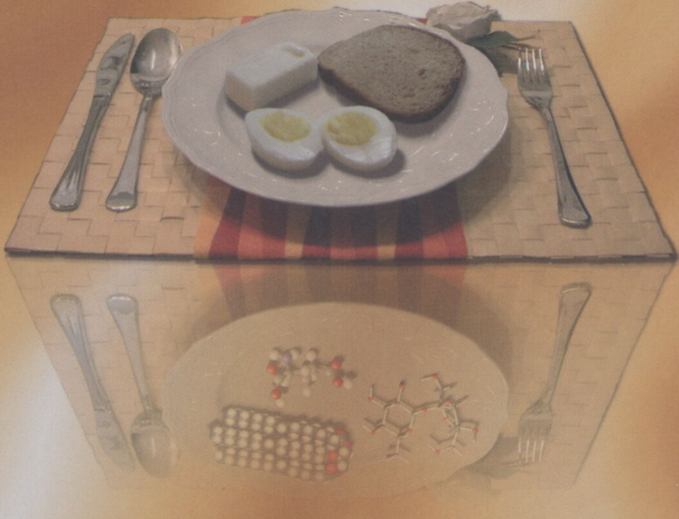
מזון למחשבה

שומנים ושמנים - עובדות מפתיעות

פחמימות לטוב ולרע

חלבונים על קצה המזלג

טעמים של כימיה



0 00510880900 5
51-880900 דאנאקוד

הוצאת ספרים יסוד
www.yesod.co.il