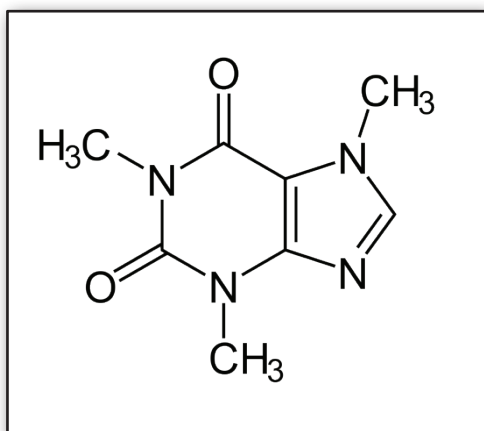


כימיה בכוס קפה

רותי שטנגר, מכון דוידסון לחינוך מדעי, מכון ויצמן למדע, רחובות



נוסחת המבנה של מולקולת קפאין

איך אתם אוהבים את הקפה שלכם? חזק או חלש? עם סוכר וחלב או שחור? בכל כוס קפה שתבחרו לשתות, אחד הטעמים שילווה כל לגימה הוא הטעם המר.

על מידת המרירות של הקפה משפיעים גורמים רבים מאוד¹: סוג פולי הקפה, אופן הקלייה של הפולים, אופן הטחינה של הפולים, המים שבעזרתם מכינים את כוס הקפה, טמפרטורת המים, אופן הכנת הקפה, ועוד.

חומרים רבים אחראיים לטעם המר של הקפה, ואחד החומרים האלה הוא הקפאין. אולם, כאשר מוסיפים סוכר לקפה, הקפה הופך להיות פחות מריר - ולא מכיוון שהטעם המתוק ממסך את הטעם המר.

התופעה מוכרת היטב ומוסברת ברמה המולקולרית:

1. <http://www.coffeeresearch.org/science/bittermain.htm>

שאלות

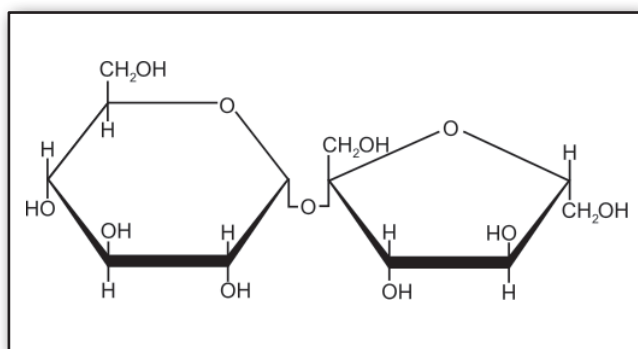
1. אילו קשרים בין מולקולריים נוצרים בין שתי מולקולות קפאין בעת יצירת דימר?

2. קבעו אם ההיגד שלפניכם נכון או לא נכון:

אוהבי הקפה המר צריכים להוסיף לכוס הקפה שלהם חומר שיוצר קשרים בין מולקולריים חזקים עם מולקולות הקפאין.

3. איזה מהציורים באיור 2 מתאים למתרחש בכוס קפה עם סוכר?

4. לפניכם נוסחת המבנה של סוכר: אילו קשרים בין מולקולריים נוצרים בין מולקולות המים לבין מולקולות הסוכר?



נוסחת המבנה של מולקולת סוכר

5. קפאין מסיס אף הוא במים. אילו קשרים בין מולקולריים נוצרים בין מולקולות הקפאין למולקולות המים? הסבירו וציירו קשרים כאלה בין מולקולה אחת של קפאין לשתי מולקולות של מים.

6. בגרף 1 נתונות שתי עקומות המתארות את המסיסות של סוכר ושל קפאין במים בטמפרטורות שונות. איזו עקומה מתאימה לסוכר ואיזו לקפאין? נמקו את בחירתכם.

7. החוקרים מצאו כי הוספת מעט מלח בישול גורמת אף היא להפחתת המרירות של הקפה. הסבירו מדוע.

מולקולות הקפאין שבכוס הקפה נוטות להיצמד זו לזו וליצור דימרים (שתי מולקולות המחוברות יחד בקשרים בין מולקולריים).

כאשר נוצרים דימרים של קפאין, פחות מולקולות קפאין נקשרות לקולטני הטעם בפה, והטעם המריר שאנו מרגישים בעת לגימת כוס הקפה - פוחת.

הוספת סוכר לקפה מגבירה את יצירת הדימרים, ולכן גורמת להפחתת מרירות הקפה.

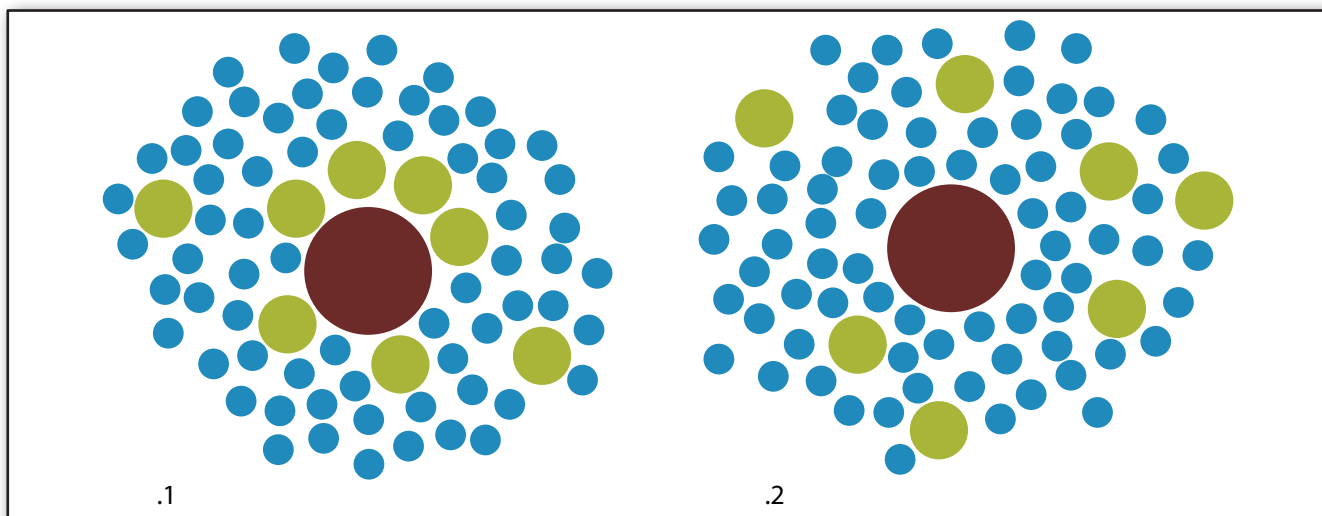
אך מדוע הוספת סוכר מגבירה את יצירת הדימרים? התשובה ניתנה לאחרונה על ידי קבוצת חוקרים מאוניברסיטת יורק, שבראשם Dr Seishi Shimizu². החוקרים לא השתמשו כלל בקפה, סוכר, מבחנות או מעבדה, אלא ביצעו את המחקר בעזרת חישובים תרמודינמיים בלבד.

בחישובים נמצא מהו הגורם העיקרי להגברת יצירת הדימרים: מולקולות הסוכר נקשרות היטב למולקולות המים, אך אין הן נוטות להיקשר למולקולות הקפאין. למעשה, מולקולות הסוכר ומולקולות הקפאין מתרחקות אלה מאלה. כך נותרות מולקולות הקפאין חופשיות להיקשר זו לזו ליצירת דימרים. לעומת זאת, כשמוסיפים לקפה חומרים אחרים, שנמשכים למולקולות הקפאין ונקשרים אליהן היטב, הם מפריעים למולקולות הקפאין להתחבר לדימרים.

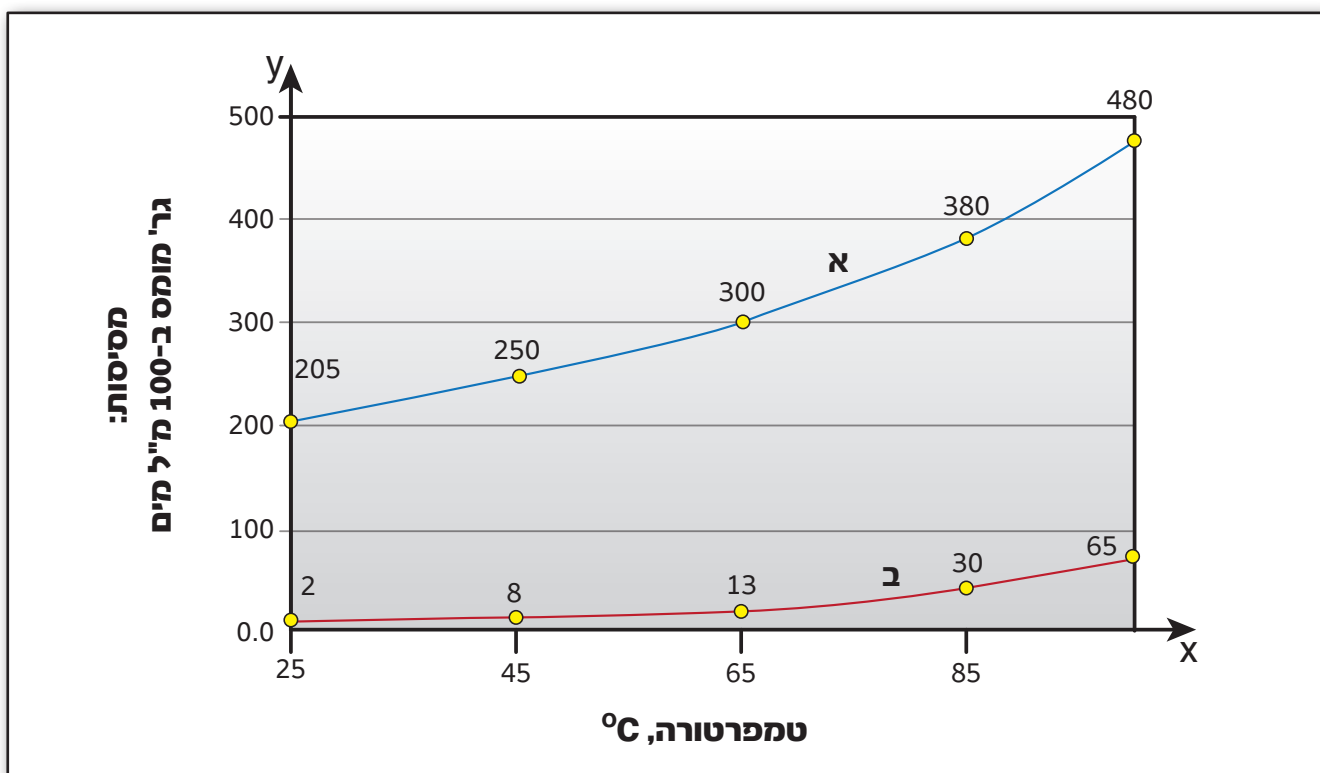
מחקרים חישוביים מסוג זה נערכים לא רק כדי להבין מה מתרחש בכוס הקפה שלנו, אלא מהווים כלי חשוב במחקר הכימי. אפשר לבצע חישובים דומים כדי לחקור מה קורה כשמוסיפים חומרים למערכות מורכבות יותר. לדוגמה: הוספה של חומרים (כמו הסוכר, במקרה של הקפה), יכולה להשפיע על קיפול של מולקולות חלבונים ובכך להשפיע על תפקוד החלבונים; או הוספה של חומרים יכולה להשפיע על מידת המסיסות של תרופות ובכך להגביר את יעילות הובלתן בגופנו³.

Caffeine dimerization: effects of sugar, salts, and water structure, Food & Function, 2015, volume 6, pp. 3228-3235 .2

<http://www.stevenabbott.co.uk/blog/?date=04Aug2015> .3



איור 2. עיגולים כחולים: מולקולות מים, עיגול חום: מולקולת קפאין, עיגולים ירוקים: מולקולות סוכר.



גרף 1

תשובות בקצרה:

1. קשרי ון-דר-ואלס, 2. לא נכון, 3. (2), 4. קשרי מימן, 5. קשרי מימן בין זוגות האלקטרונים הלא-קושרים על אטומי חמצן וחנקן במולקולות הקפאין לבין אטומי מימן חשופים מאלקטרונים במולקולות המים, 6. א. סוכר, ב. קפאין, שכן מסיסות הסוכר במים גבוהה יותר. בין מולקולות הסוכר לבין מולקולות המים נוצרים קשרי מימן חזקים יותר, כי במולקולות הסוכר מוקדים רבים יותר ליצירת קשרי מימן עם מולקולות המים. 7. יוני המלח אינם נמשכים למולקולות הקפאין, אך נמשכים למולקולות המים. נוצרים קשרים בין יוני המלח לבין המטענים החלקיים על מולקולות המים.