

## לא רק שקורי עכביש חזקים מפלדה - הם גם מייצרים את עצמם

אף שתהליך הייצור המלא נותר בגדר תעלומה, חוקרים מתקרבים להבנת התליכים הכימיים המאפשרים לנוזל היוצא מגוף העכביש להפוך לחומר מוצק ועמיד ביותר: "אפשר לייצר חומרים בעלי תכונות יחידות במינן על ידי ניצול תהליך ההרכבה העצמית הזה", מעיד עלי מלאי, ביולוג וביוכימאי

[ניו יורק טיימס](#)

הארץ, 16.11.20

קורי עכביש הם חזקים ביותר. למעשה, בבדיקה על פי משקל, הם אפילו חזקים יותר מפלדה, ועמידים יותר מקוולאר - סיב סינתטי המשמש ליצירת חבלים ויריעות.

אך חוטי המשי הדקיקים בכלל מתחילים את דרכם בצורת נוזל דביק, עשוי חלבונים, שמשתנה ונעשה מוצק בתוך כמה שברירי שנייה. תהליך זה מתרחש כשהנוזל יוצא מגחוונו של העכביש. במהלכו, הספידרואינים - אותם חלבונים הבונים את המשי - מתקפלים ונשזרים, ויוצרים תבנית מאורגנת להפליא. זאת, ללא כל הנחייה מגורם חיצוני כלשהו.

תהליך מרשים זה של הרכבה עצמית הוא פלא. במשך שנים ניסו מדענים לחקות אותו, בתקווה שיום אחד יחוללו מהפכה ויצליחו לייצר חומרים חזקים במיוחד ובני קיימא. אולם, עד כה, ניסיונותיהם עלו בתוהו. "אפשר לייצר חומרים בעלי תכונות יחידות במינן, על ידי ניצול תהליך ההרכבה העצמית הזה", מעיד עלי מלאי, ביולוג סטרוקטורליסט וביוכימאי במרכז ריקן למדע למשאבים בני קיימא ביפן.



קורי עכביש על צמח. במשך שנים ניסו מדענים לחקות את התהליך. צילום / Owen Sholes :  
iStockphoto via Ge

כמו עמיתיו, מלאי עדיין לא פיענח את התהליך במלואו. אולם, במאמר שהתפרסם החודש בכתב העת המדעי, Science Advances הוא מציע דרך חדשה לפתור את חידת קורי המשי. למעשה, מלאי ועמיתיו אף הצליחו לחקות את יציאתם המסודרת מגוף העכביש בעזרת כלים כימיים במעבדה.

**החוקרים פיענחו חלק מכריע בתהליך הטוויה: החלבונים העיקריים שבונים את הקור נפרדים מהנוזל שעוטף אותם בתוך בלוטות המשי, בגופו של העכביש. לאחר מכן, זרם של חומצה מסייע להם להתחבר**

במהלך עבודתם, גילו החוקרים חלק מכריע בתהליך הטוויה: הספידרואינים - החלבונים העיקריים שבונים את הקור - נפרדים מהנוזל שעוטף אותם בתוך בלוטות המשי, בגופו של העכביש. תהליך זה יוצר ריכוז גבוה במיוחד של החלבונים. לאחר מכן, זרם של חומצה מסייע להם להתחבר.

במחקרם, עשו מלאי ועמיתיו שימוש בדגם מעבדה מפושט ולא בעכבישים אמיתיים. אך עבודתם ראויה לציון, בעיקר בשל המבט שהיא מספקת על תהליך ההיווצרות המורכב של קור המשי. "מנוזל לסיב", מתארת אנג'לה אליסאה סראנו, חוקרת עכבישים באוניברסיטת אקרון, שלא היתה מעורבת במחקר. "ראינו לא מעט על תחילת התהליך וגם על סיומו, אבל לא מה מתרחש באמצע."



**רשת קורים ועכביש משפך. תהליך מרשים זה של הרכבה עצמית הוא פלא. צילום: גטי אימג'ס**

לדברי אנה ריסינג, מומחית למשי עכבישים במכון קרולינסקה בשוודיה, קשה להפריז בממדי השינוי שהמשי עובר מהרגע שבו הוא יוצא מגופו של העכביש. ריסינג, שלא היתה מעורבת במחקר, מסבירה כי בעת שהם

נמצאים בבלוטה, הספידוראינים צריכים להישמר בצורת נוזל ב"ריכוזים אדירים". היא מוסיפה ומתארת כי מצבו של החומר "צמיגי, כמעט כמו משחת שיניים".

התזמון והיעילות חיוניים לתהליך טוויית החוטים: אם המשי מתקשה מהר מדי, הוא עלול לחסום את הבלוטות של העכביש. אם הוא מתקשה מאוחר מדי, העכביש עלול לפלוט רק נוזל חסר צורה.

למזלם של העכבישים, מיליוני שנות אבולוציה הפכו את הספידוראינים למגוונים. צורתם של חלבונים אלה כשל משקולות, ממחישה ריסינג, שרשרת ארוכה וחסרת סדר שבשני קצותיה בליטה הדומה לבריח. בבלוטות המשי, אותן "משקולות" מסתדרות באופן טבעי, תוך שהן מתחברות בקצן האחד ויוצרות מעין צורת "וי". אולם, על מנת ליצור מבנה יציב מספיק שירכיב את הקור המוצק - עליהן להתחבר דווקא בקצה השני שלהן.

לדברי ג'סיקה גארב, חוקרת משי עכבישים באוניברסיטת מסצ'וסטס, שלא היתה מעורבת במחקר, תהליך זה מתרחש ככל הנראה בזכות אותות כימיים המתקבלים כשהספידוראינים עוברים במבוך של צינוריות. בזמן זה, תאי העכביש פולטים חומצה לתוך התערובת, שגורמת לקצוות "המשקולות" להידבק אלה לאלה. המסע בתוך הצינוריות מושך את המשי ודוחס אותו - עד שהוא מקבל את צורתו הסופית.



עכביש גינה אירופי טווה רשת קורים. מלאי ועמיתיו הצליחו לחקות את התהליך במעבדה. צילום:

Fabien\_Gouby / iStockphoto via G

עם זאת, מלאי ועמיתי מצאו שההרכבה והעיצוב של המשי אינם יכולים להתרחש אם הספידרואינים הנוזליים אינם עוברים תהליך ייבוש בזמן שהם עוברים בגוף העכביש. כמו כן, ניסויים נוספים מראים שמלחים גורמים לחלבונים להתרחק במהירות מהנוזל שמקיף אותם, בדומה לשמן וחומץ ברוטב לסלט. תהליך זה מאפשר לספידרואינים להשפיע זה על זה ביתר קלות, מתארת צ'ריל האיישי, חוקרת משי עכבישים במוזיאון האמריקאי לטבע, שלא היתה מעורבת במחקר. לאחר מכן, מצע הספידרואינים שהסמיך הולך ולובש צורה של מבנה חוטי.

### **אם המשי מתקשה מהר מדי, הוא עלול לחסום את הבלוטות של העכביש. אם הוא מתקשה מאוחר מדי, העכביש עלול לפלוט רק נוזל חסר צורה**

אף שתהליך פליטת המשי עלול להישמע מעט מסורבל, מנקודת מבט הנדסית הוא אלגנטית ביותר, אומר קייג'י נומטה, מדען במרכז ריקן היפני, ומי שהוביל את המחקר. בדומה לכך, מדענים מסוגלים לבנות פולימרים חזקים ביותר במעבדה, תוך שימוש בכוח המאלץ חומרים להתחבר בדרכים יוצאות דופן. אולם במקרה של עכבישים, כל עוד החומרים הנכונים מתקבלים בתנאים הנכונים, המשי מייצר את עצמו.

כך או כך, החוקרים עדיין אינם יודעים די על התהליך הזה כדי לשחזר אותו במלואו. לא רק שישנן דרכים רבות לטוות קורים, המשתנות בין המינים השונים - אפילו בקרב אותו מין יש פרטים שטווים בדרך שונה, מעידה אמרה גארב. בנוסף, אף שהמשי ידוע בעיקר בזכות תפקידו בבניית הקורים, הוא גם משמש במשיכת בני זוג, הגנה על הביצים - בסיוע לעכבישים נודדים לתפוס "טרמפ" על בריזה מזדמנת.

לאור כל זאת, הסתפקו מלאי ועמיתיו לעת עתה בחקר החלבונים המצויים במשי של קורים נגררים: מעין חבל בנג'י עבור עכבישים שהמשתלשלים מקוריהם או מהתקרה. "אבל עדיין יש המון דברים שהטבע יצר ולנו אין מושג בהם", מודה האיישי.