

טביעת אצבע של דג

במשך מאות שנים התבססו זיהוי המינים וסיווגם הטקסונומי על מאפיינים פיזיים כגון צורה, מבנה או ספירת רכיבים כמו עלי כותרת בפרח או קוצים בסנפירי דגים. בתחילת שנות האלפיים החלה להתפתח שיטה חדשה המבוססת על מידע גנטי. איך זה עובד וכיצד זה מסייע לזיהוי ולשימור מיני דגים בישראל?

כתב: פרופ' גדעון חולתא

מה המשותף לקנייה בסופרמרקט או לשאילת ספר בספרייה ולמאבק בסחר בלתי חוקי בחיות בר? לכאורה שאלה מוזרה, ובכל זאת קיים חוט מקשר ושמו "ברקוד" ("קוד קווים" בעברית תקנית). זהו קוד שבו ספרות או אותיות מיוצגות בקווים שאותם אפשר לקרוא (לסרוק) באמצעות טכנולוגיה מתאימה, כך שיהוו קלט למכשיר ממוחשב, כגון קופה רושמת או תוכנה להשאלת ספרים. שיטת זיהוי זו פותחה כדי לאפשר קריאה אוטומטית של תוויות מוצרים (למטרת זיהויים) והיא מייעלת את העבודה במקומות שבהם יש לבצע מספר רב של קריאות (כגון מחסנים, חנויות, ספריות או תחנות מיון). אם כך, מה בין קוד הקווים לזיהוי חיות בר? התשובה היא ה"ברקוד הגנטי" שפותח בעשור האחרון ומאפשר זיהוי יצורים ומיונם בעזרת מידע גנטי. מידע זה אמנם אינו "מוטבע" על גבי היצורים, ואי אפשר לקרוא אותו באמצעים טכנולוגיים כמו אלה המשמשים לקריאת תווית מוצר בסופרמרקט, אך אפשר לזהותו במעבדה מתאימה באמצעות דוגמת רקמה זעירה של היצור (פיסת עלה, שערה, קשקש של דג, טיפת דם או רוק או דגימת שריר) ולקבוע מיהו היצור הנבדק. בשנים האחרונות מצטרפת רשות הטבע והגנים לגופי אכיפה נוספים בעולם, הפועלים נגד ציד בלתי חוקי של חיות בר וסחר בלתי חוקי בהן באמצעות "זיהוי פלילי". ידע גנטי



השוואה בין שני מיני אמנון: אמנון הירדן (למטה) ואמנון מצוי (למעלה)

מסייע להתגבר על הקושי שבהוכחת עברות ציד, כמו במקרה שבו לא נמצא בידי החשודים בעל החיים שניצוד. הביצוע המדעי של הבדיקות נעשה במעבדה בבית הספר לווטרinריה, בפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה על שם רוברט ה. סמית, באוניברסיטה העברית בירושלים.

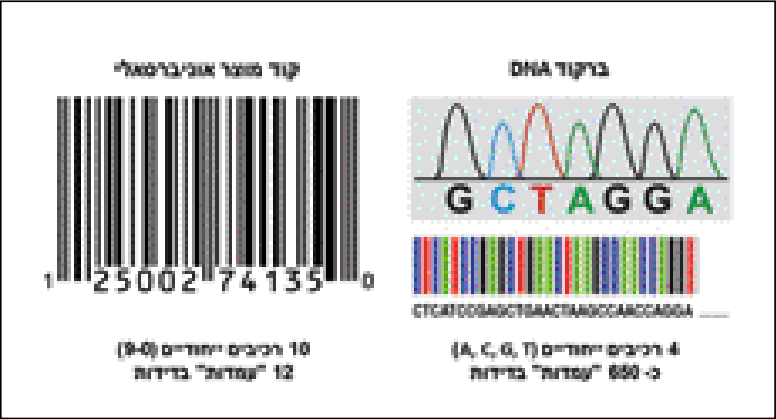
זיהוי וסיווג על פי מידע גנטי

במשך מאות שנים, עד לפני כעשור, התבססו זיהוי המינים וסיווגם הטקסונומי על מאפיינים פיזיים (מאפיינים מורפולוגיים - צורה, מבנה, ספירת רכיבים כגון עלי כותרת בפרחים או קוצים בסנפירי דגים). דוגמה טובה לכך הם מגדירי הצמחים, דוגמת "המגדיר לצמחי ארץ ישראל" (מאת איג, זהרי ופינברון, 1931) או "המגדיר החדש לצמחי ישראל" (זהרי, 1958). הסיווג הטקסונומי של המינים באמצעות

הסיווג הטקסונומי של המינים באמצעות מאפייניהם הפיזיים הוא תהליך מורכב ביותר. השימוש במגדיר מורכב אף הוא ודורש איסוף דוגמאות של חלקי הצמח או של בעל החיים העומד להגדרה בשלבי חייו השונים, לשם אפיון, מדידה או ספירה

זיהוי פלילי בקרב דגים

בארץ, הברקוד הגנטי משמש ככלי עזר לזיהוי ולשימור של מיני דגים בישראל. הנה שניים מהיישומים של השימוש בו.
מיון אמנוניים בשיטת הברקוד הגנטי: משפחת האמנוניים ("ציכלידים" בלעז) כוללת מאות מינים, שהמוצא של רובם באגמים ובנהרות באפריקה. בישראל נמצאים כיום חמישה מינים אנדמיים - אמנון מצוי (*Tilapia zillii*), אמנון הירדן (*Oreochromis aureus*), אמנון הגליל (*Sarotherodon galilaeus*), אמנונית יוסף (*Astatotilapia flavijosephi*) וטברנון כנרת (*Tristramella simonis*). תת־מין טברנון חולתי (*Tristramella simonis intermedia*) היה אנדמי לאגם החולה ונכחד לאחר ייבושו. מין נוסף, טברנון לסתני (*Tristramella sacra*), היה אנדמי לכנרת אך לא נצפה שם מאז 1990 וכנראה נכחד אף הוא. מין אחר, אמנון היאור (*Oreochromis niloticus*), היה מצוי בעבר (עד סוף שנות ה־60) בנחל ירקון ובמעיינות ראש העין אך נכחד בטבע (אמנון היאור ובני כלאיים שלו שמגדלים בבריכות דגים, מקורם בדגים שהובאו ארצה מחו"ל). נוסף לכך, מגדלים בארץ אדמונית (אמנון אדום) - דג מכלוא מפיתוח מקומי על בסיס דגים שהובאו מחו"ל, ובתחנות מחקר נמצאים מינים נוספים של אמנונים שמקורם בחו"ל. בעבודה שנעשתה במעבדה לגנטיקה של בעלי חיים במינהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני, נקבע רצף הברקוד בכל המינים שנבדקו. במקצת מהמינים זוהו שני רצפי ברקוד שונים במעט זה מזה, אך עדיין אפשר היה לסווג את כל המינים. הסיווג הטקסונומי שהתקבל תאם במידה רבה את הסיווג הטקסונומי הקלאסי, אך במקרים בודדים נצפתה סטייה מסוימת במידת הקרבה האבולוציונית.
זיהוי דגים על פי עצמותיהם: מדענים מאוניברסיטת חיפה מצאו בסקר תת־ימי שערכו בחוף דור שרידי ספינה טרופה שתוארכו לתקופה המוסלמית המוקדמת (מאות שביעית־שמינית לספירה). בין הממצאים הרבים היו גם כדי חרס ובתוכם עצמות של דגים קטנים. על פי המורפולוגיה שלהן זוהו העצמות כשייכות לדגי אמנון. מדענים מהמעבדה לגנטיקה של בעלי חיים במרכז וולקני הצליחו להפיק דנ"א מהעצמות העתיקות ולאתר מקטע חלקי של רצף הברקוד. דגימות אלה הושוו לרצפים של מינים שונים של אמנונים עכשוויים ונקבע כי העצמות אמנם שייכות לדגי אמנון. התאמה טובה ביותר נמצאה לרצפי הברקוד של אמנון הירדן ואמנון הגליל אך ללא יכולת הבחנה ביניהם. שוני ב"אות" אחת בין רצף הברקוד שהופק מהעצמות לרצפי שני המינים בני זמננו מצביע על אפשרות שמקור העצמות במין או בתת־מין קרוב להם, שנכחד בינתיים.



בכרומוזומים הבנויים ממולקולות ענק של חומצת גרעין המכונה "דנ"א". הדנ"א מורכב מארבע אבני בניין בסיסיות ("אותיות"), שהרצף שלהן הוא שפה הבנויה ממילים בנות שלוש אותיות. רצף של מילים כאלה מכונה "גן", והוא משמש תבנית (קוד) לחלבון מסוים שהוא תוצר אותו גן.

המדען הקנדי בחר בגן המקדד לאנזים מסוים, שנמצא בתאי כל היצורים ושמבנהו קבוע במידה רבה. קל לחקור גן זה מכיוון שבכל תא יש עותקים רבים שלו, הנמצאים באברונים פשוטים וקלים לבידוד הנקראים "מיטוכונדריה". המדען התמקד במקטע שאורכו כ־650 "אותיות" גנטיות מתוך הרצף של גן זה, וכינה אותו "הברקוד הגנטי". השיטה שפיתח מבוססת על ההנחה שלכל הפרטים השייכים למין מסוים יש רצף אותיות זהה בגן הברקוד, בעוד הברקודים של מינים אחרים שונים ולו במעט. מידת הדמיון ברצפי הברקוד מעידה על הקרבה האבולוציונית בין המינים.

ספריות מקוונות של ברקודים לאימות השיטה נערכו כמה מחקרים שבהם נבחן אם מיון המבוסס על שיטת הברקוד הגנטי תואם לתוצאות הטקסונומיה הקלאסית. במחקר אחד נקבע בשיטה החדשה הברקוד הגנטי של ציפורים, שמוינו על ידי הטקסונומיה הקלאסית ל־260 מינים. כמעט בכל המקרים

התקבלו ממצאים זהים לגבי מיון מינים אלה ומידת הקרבה ביניהם. בשיטה החדשה התגלו ארבעה מקרים שבהם "מין" אחד של ציפור (לפי המיון הטקסונומי הקלאסי) כלל למעשה שני מינים נפרדים הקרובים ודומים מאוד זה לזה. מחקר אחר התמקד במין של פרפר אשר סווג לראשונה ב־1775, אך זה זמן רב יש ספקות רבים בנוגע לשאלה אם אכן מדובר במין אחד. הסיבה לכך היא השוני הגדול בסוגי הצמחים שאותם מעדיפים הזחלים לאכול, אף כי הפרפרים הבוגרים המתפתחים מהם דומים מאוד זה לזה. בדיקה שנערכה על מדגם שנאסף באזור מצומצם של מרחב התפוצה של הפרפר גילתה עשרה ברקודים שונים המרמזים כי ה"מין" הזה כולל לפחות עשרה מינים שונים. אפשר לשער כי בבדיקה מקיפה של "מין" פרפר זה ברחבי מרחב התפוצה שלו יתגלה מספר לא מבוטל של מינים נוספים "המתחבאים" בתוכו.

השיטה נראית מבטיחה מאוד, אף כי ברור שיש בה קשיים וכי היא אינה מסוגלת לפתור את כל הספקות. ידוע למשל כי המיטוכונדריות עוברות בהורשה אימהית (מאם לבת). אם פרט נבדק הוא בן כלאיים, יזהה הברקוד את המין של ההורה הנקבי (האם) בלבד ולא יצביע על היותו בן כלאיים. נוסף לכך, השיטה מתקשה לחשוף הבדלים בין מינים "צעירים" במונחים אבולוציוניים, אשר טרם נצברו מספיק הבדלים בין רצפי הברקוד שלהם כדי לאפשר לזהותם כמינים נפרדים. אף על פי כן, יוזמי השיטה מאמינים כי אפשר לזהות בעזרתה באופן מדויק כ־96 אחוז ממיני היצורים, ובמקרים שיש ספקות אפשר להשתמש בסמנים גנטיים מסוגים אחרים לשיפור יכולת ההבחנה. כמו כן אפשר לאמת את הזיהוי המקורב בשיטות של הטקסונומיה הקלאסית. במסגרת פרויקט בינלאומי הוקמו ספריות מקוונות שבהן נאגרים ברקודים של יצורים שונים ברחבי העולם. מאגר מידע זה משרת מדענים להפקדת ברקודים ומידע נוסף לגבי היצורים המתועדים, והוא גם משמש כלי עזר לבירור שאלות טקסונומיות ולהשוואות עם ממצאי עמיתים.

הכותב הוא חוקר במכון לחקר בעלי חיים, מינהל המחקר החקלאי [מרכז וולקני]