

שימוש בצילום וידאו תת-מימי, תלת-מימדי, לתיאור קשר חד-רב ערכי שבין שונות מורפולוגית ושונות תפקודית במנגנון שאיבת הטרף בדגי שונית

מוגש ע"י: טל קרן^{1,2}

מנחה: ד"ר רועי הולצמן^{1,2}

¹המחלקה לזואולוגיה, הפקולטה למדעי החיים, אוניברסיטת תל אביב 6997801

²המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת, אילת 88103

talkeren2@gmail.com

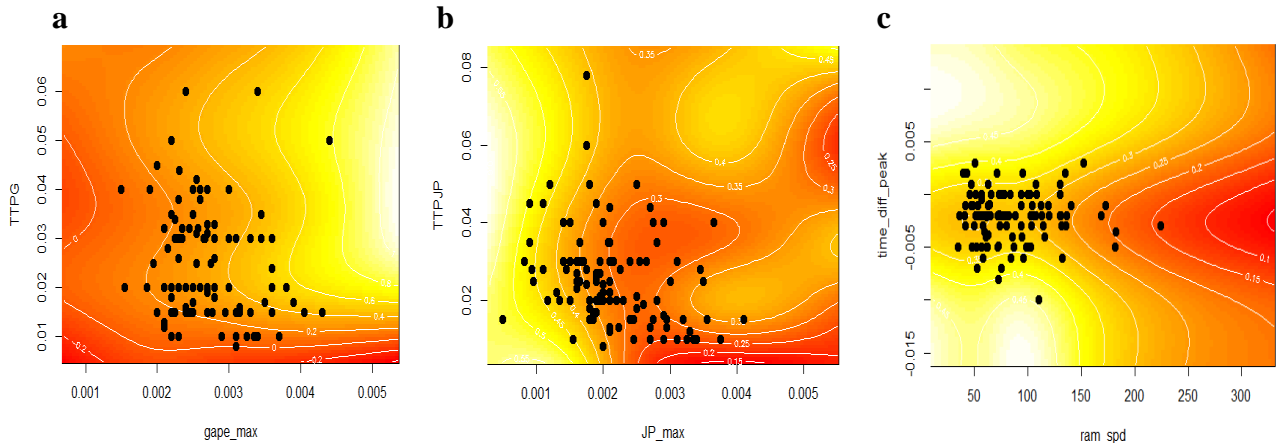
הקשר שבין צורה לתפקוד עומד בבסיס המחקר האבולוציוני והאקולוגי והבנתו דרושה להבנת האופן שבו אוכלוסיה עוברת תהליכים טבעיים. הקשר בין שונות פנוטיפית ושונות תפקודית תואר כבר על ידי צ'ארלס דארווין במערכות פשוטות, דוגמת האופן שבו מורפולוגיית המקור בציפורים עוברת אבולוציה כדי לאפשר למינים שונים להיזון על סוגי אוכל שונים. במערכות מורכבות, בהן התפקוד מושפע ממספר גורמים מורפולוגיים, מתקיים קשר חד-רב ערכי (many-to-one mapping) בין המורפולוגיה והתפקוד, בו מורפולוגיות שונות עשויות לאפשר תפקוד דומה. קשר כזה הודגם במערכת הלסתות של דגים המבוסס על מנגנון 4 מוטות (four-bar linkage) להעברת כוח ותנועה, בו שילובים שונים של אורכי המוטות והזוויות ביניהם מפיקים ביצועים דומים. במערכות כאלו הקשר בין השונות הפנוטיפית והשונות התפקודית עשוי להיטשטש. במחקר זה כימתי את השונות הפנוטיפית במנגנון שאיבת הטרף באוכלוסיית דגים ממין כרומית ירקרקת (*Chromis viridis*) ותיארתי את הקשר שבין השונות הפנוטיפית בשישה מרכיבים של מנגנון הטרפה לבין השונות בביצועי הטרפה באוכלוסיה שנדגמה.

כימות השונות הפנוטיפית במנגנון הטרפה נעשה על סמך נתונים שנאספו בצילומי וידאו תלת-מימדי של הדגים בזמן אכילה, בסביבתם הטבעית בשונית מפרץ אילת. באמצעות מערכת הצילום (תמונה 1) אספתי נתונים על התפלגות הערכים בשש תכונות קובעות תפקוד (כגון גודל הפה, מהירות פתיחתו, מהירות השחייה ועוד), בכ-150 דגים מחמש להקות שונות. כימות השונות התפקודית נעשה באמצעות מודל הידרודינמי המעריך את מידת הצלחת הטרפה על סמך הפרמטרים הנצפים של כל אחד מ-150 ניסיונות תפיסת טרף שתועדו בוידאו. בנוסף, המודל איפשר לי להעריך את הביצועים של כ-6,000 שילובי פרמטרים שלא ניצפו באוכלוסייה הטבעית. נתונים אלו איפשרו לי ליצור, בפעם הראשונה, מרחב אדפטיבי (performance landscape) הקושר בין ערכים של תכונות קובעות תפקוד ובין הצלחת הטרפה במערכת מורכבת. מיפוי של התפלגות התכונות הנצפות על המרחב האדפטיבי (איור 1) הראה שהתפלגות

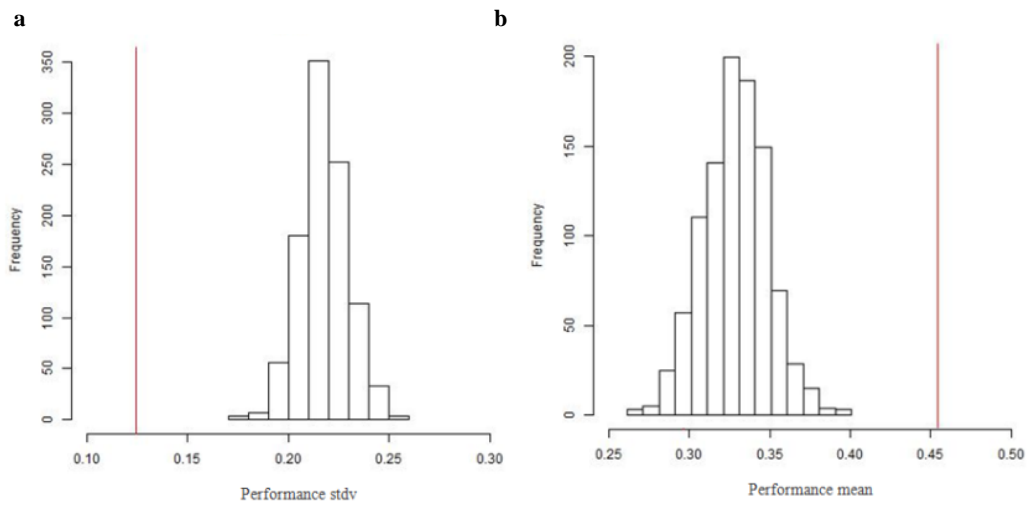
תמונה 1: מערכת לצילום תת-מימי בתלת-מימד. המערכת מורכבת משתי מצלמות וידאו המצלמות במהירות גבוהה (500 פריימים לשנייה) וברזולוציה גבוהה (1024*1280 פיקסלים). המצלמות מותקנות במארז עמיד למים ולחץ שנבנה במיוחד למטרה זו, וממוקמות בשונית במרחק של כ-1.5 מטר מלהקת כרומיות. המצלמות מחוברות זו לזו ולמחשב במעבדה באמצעות כבלים, כך שניתן לצפות בתמונה מהמעבדה, לצלם ולשמור את הסרטים בזיכרון המחשב. האינפורמציה משתי המצלמות מנותרת בהמשך, באמצעות תכנת מחשב, לאינפורמציה תת מימדית המאפשרת מדידות מדויקות של שש תכונות קובעות תפקוד: גודל הפה ומהירות פתיחתו, מרחק ומהירות שליפת הלסתות, מהירות השחייה והפרש הזמנים בין שיא פתיחת הפה ושיא שליפת הלסתות.



האוכלוסייה במרחב המורפולוגי שונה מזו הצפויה באקראי. יתר על כן, מיפוי התכונות של האוכלוסייה הטבעית על גבי המפה האדפטיבית מתבטא בביצועי טריפה טובים בכ-50% מהצפוי באקראי, ובשונות נמוכה פי 2 (איור 2). נתונים אלו מספקים אינדיקציה לסלקציה חזקה על תפקודי טריפה באוכלוסיית הדגים הטבעית. מיפוי זה מוכיח, לראשונה במערכת פונקציונאלית, את התפקיד המכריע של המרחב האדפטיבי בקביעת השונות הפנוטיפית במנגנון הטריפה.



איור 1: מפה אדפטיבית בה שש תכונות מורפולוגיות משפיעות על ביצועי הטריפה: ביצועי טריפה טובים מיוצגים בצבע כהה יותר. הנקודות השחורות מייצגות את הפרטים באוכלוסייה הנצפית. (a) השפעת גודל הפה ומהירות פתיחתו על ביצועי הטריפה; (b) השפעת מרחק ומהירות שליפת הלסתות על ביצועי הטריפה; (c) השפעת מהירות השחייה ופער הזמנים בין שיא פתיחת הפה ושיא שליפת הלסתות על ביצועי הטריפה.



איור 2: השוואה בין ביצועי הטריפה של האוכלוסייה הנצפית לאלו של אוכלוסיות שנדגמו באקראי מהמפה האדפטיבית. (a) ממוצע האוכלוסייה הנצפית (באדום) לעומת התפלגות ממוצעי האוכלוסיות האקראיות. ממוצע ביצועי הטריפה של האוכלוסייה הנצפית גבוה בכ-50% מזה של האוכלוסיות האקראיות. (b) סטיית התקן של האוכלוסייה הנצפית (באדום) לעומת התפלגות סטיות התקן של האוכלוסיות האקראיות. סטיית התקן של ביצועי הטריפה באוכלוסייה הנצפית נמוכה פי 2 מסטיות התקן של האוכלוסיות האקראיות.