



צילום: קווין ב. אגר



צילום: איציק בינונסקי



צילום: אנדראס טרפטה



אפיון המיקרוביום והתזונה של ציפורי שיר נודדות באתר העצירה אגמון החולה



דן סקלובין, ברק בן הרוש, משה לייבוביץ', ד"ר טלי ברמן
החוג למדעי החי, מוקד מחקרים החולה, תל חי אוניברסיטה בהקמה
מכון למחקר מדעי יישומי בגליל

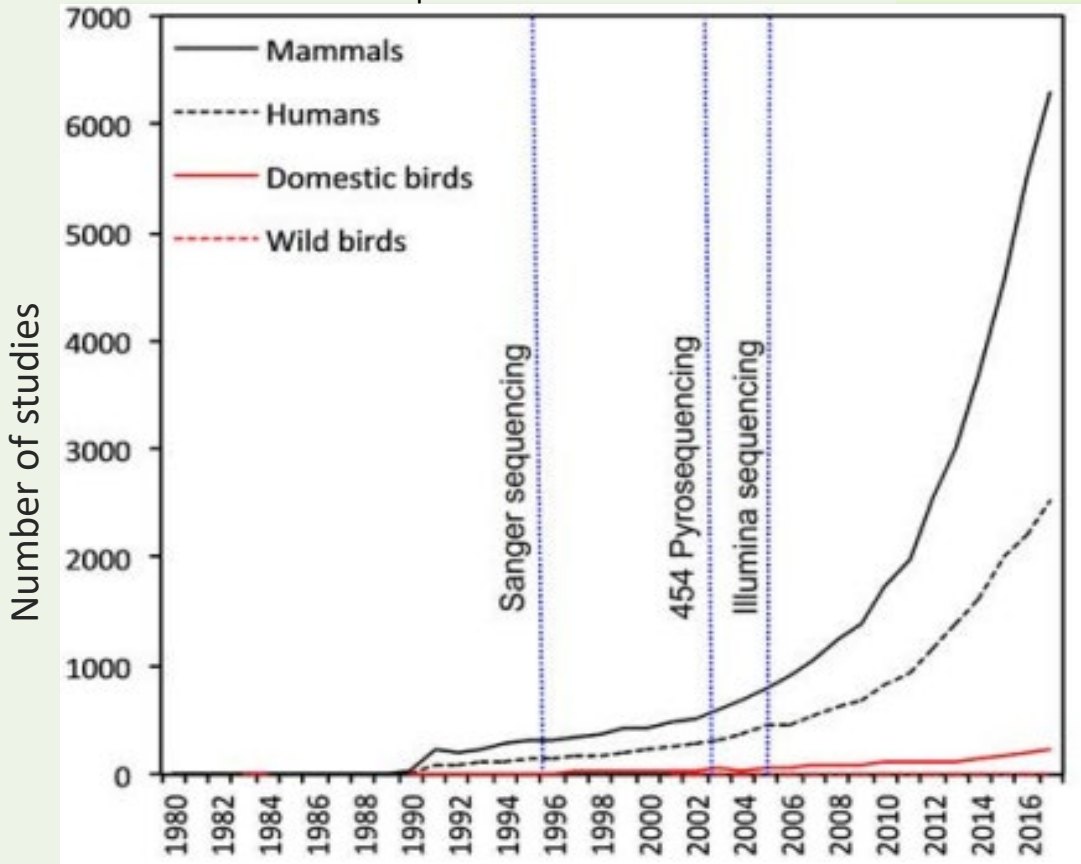


The Berman Research Group

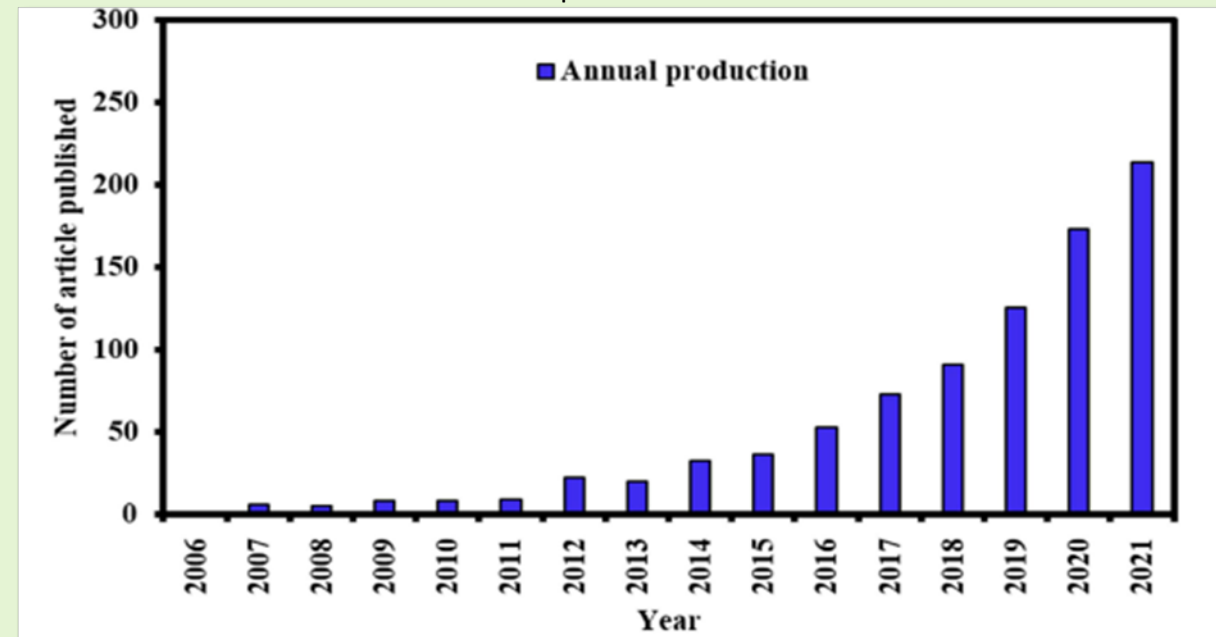
המיקרוביום של המעי בעופות

- המיקרוביום הוא כלל המיקרואורגניזמים החיים בגוף המארח ובאינטראקציה איתו.
- מיקרוביום המעי משפיע על תהליכים מרכזיים בגוף - חילוף חומרים, מערכת החיסון, רבייה והתנהגות.
- בעוד שמיקרוביום המעי של יונקים וחרקים נחקר רבות, המיקרוביום בעופות, בדגש על בעופות בר, נחקר מעט.

מספר המאמרים שפורסמו על מיקרוביום



מספר המאמרים שפורסמו על מיקרוביום בעופות



Sun et al. 2022, *Front. Microbiol*

Grond et al. 2018, *J Avian Biol*

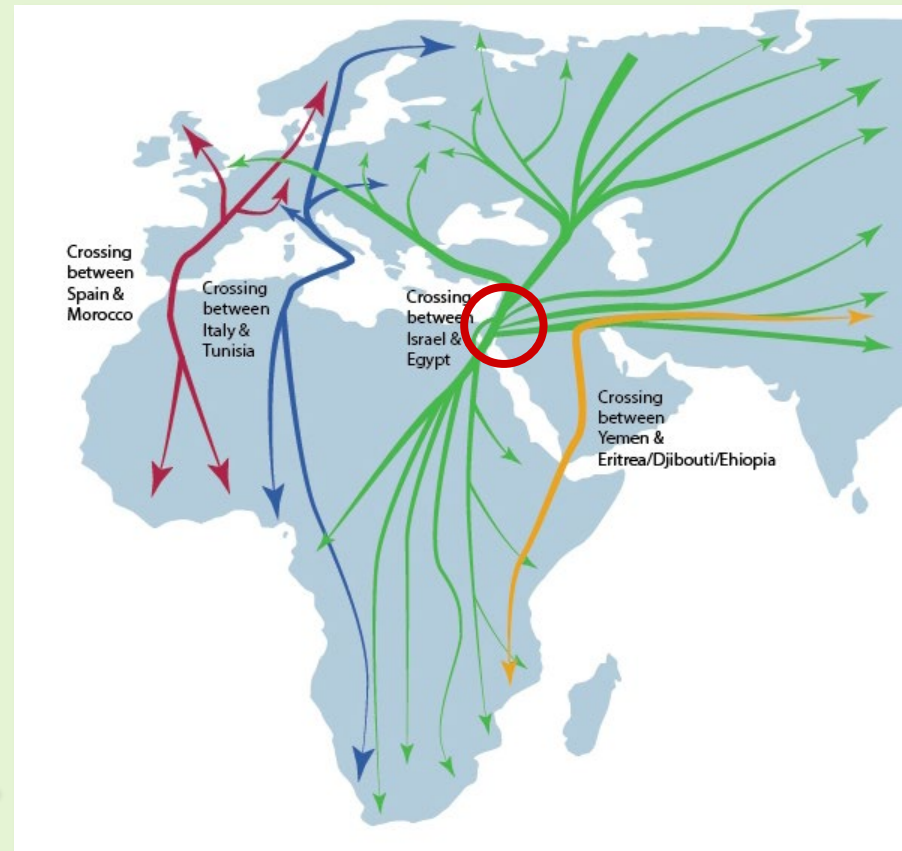
נדידה



צילום: דרור גילוי

ישראל – צומת נדידה עולמית

- נדידה היא תנועה מחזורית של בעלי חיים בין בתי גידול שונים, שמטרתה להבטיח הישרדות והצלחה רבייתית.
- ישראל מהווה נתיב נדידה מרכזי המחבר בין אירופה, אסיה ואפריקה.
- פעמיים בשנה, באביב ובסתיו – חולפים מעל ישראל מיליוני עופות במסעם בין אתרי הקינון שלהם באירופה לאתרי החריפה באפריקה, ולהפך.



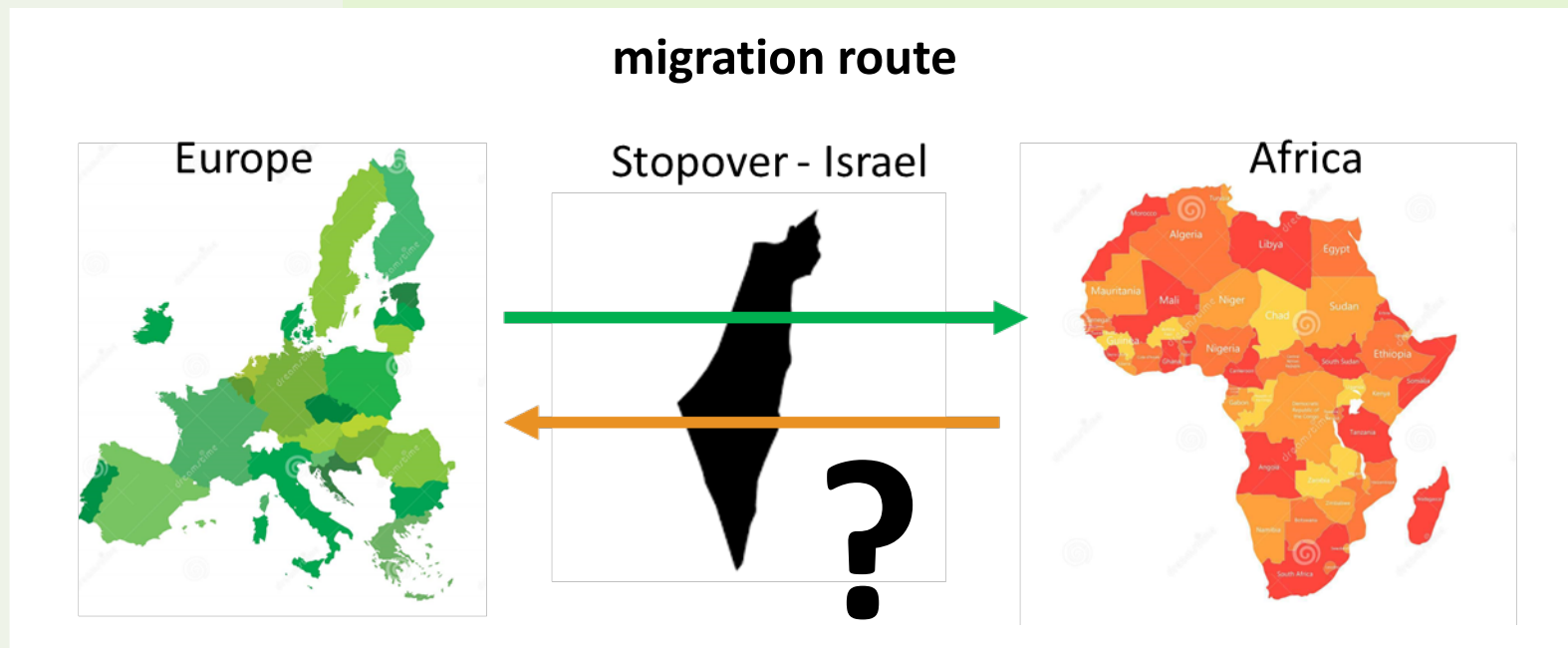
אתרי עצירה - stopover sites

- במהלך הנדידה עופות עוצרים באתרים זמניים כדי לנוח, לחדש מאגרי אנרגיה ולהתאושש, הנקראים אתרי עצירה.
- בישראל יש מספר אתרי עצירה חשובים הבולטים שבהם הם אילת ועמק החולה.

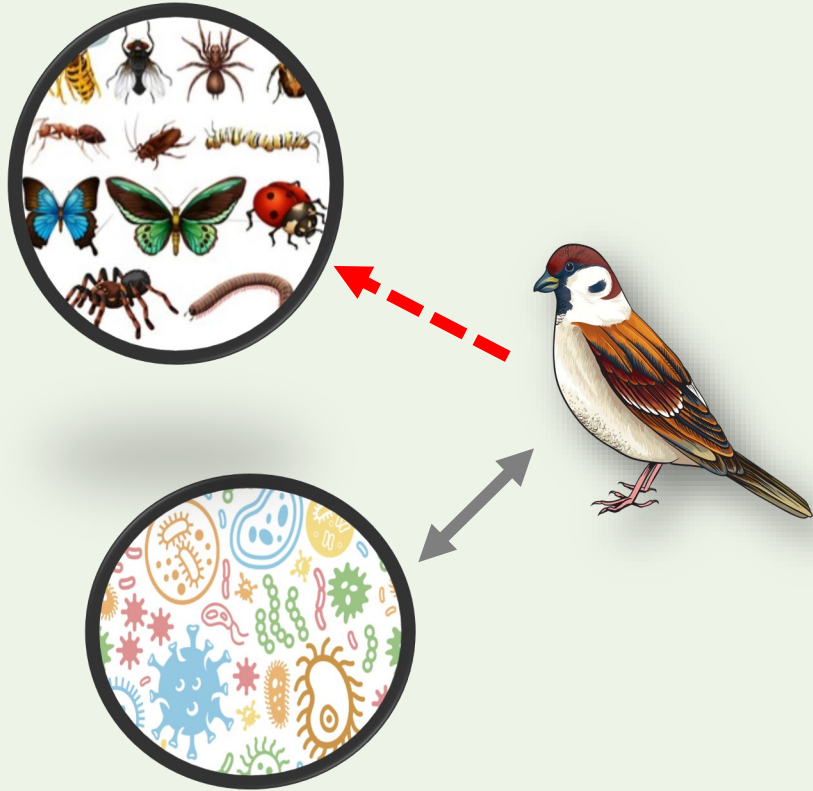


פער הידע

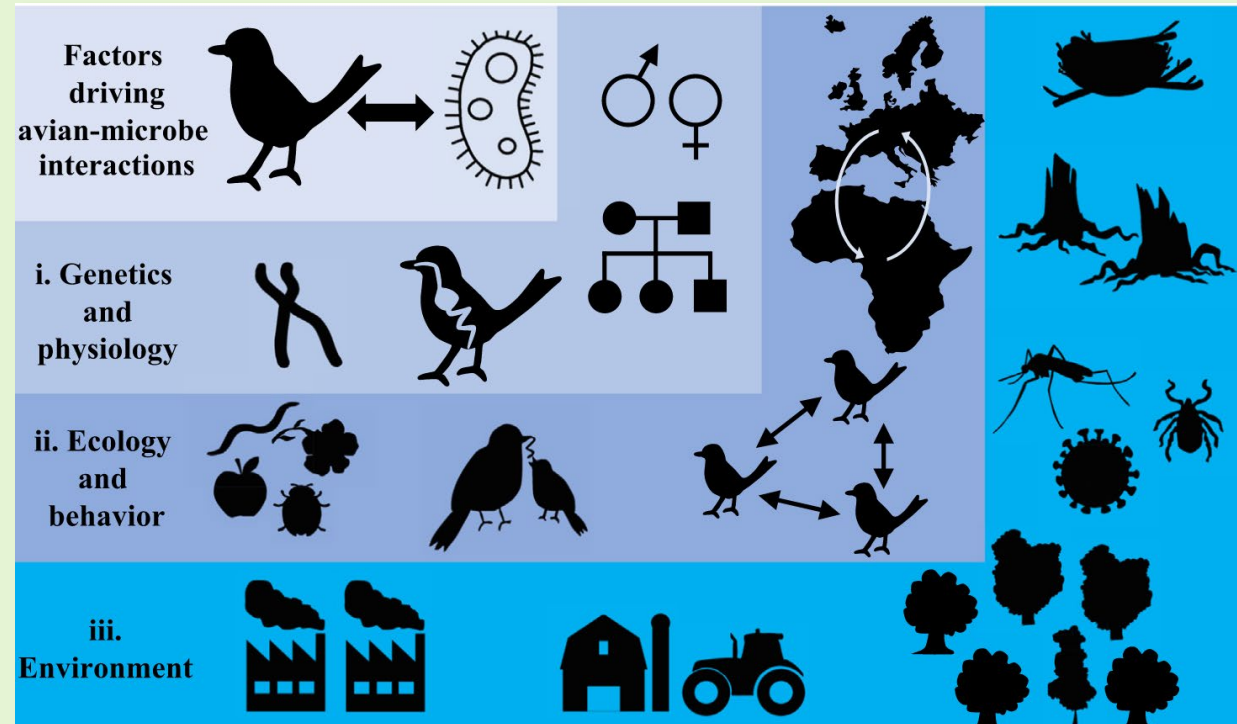
- במהלך בנדידה, ציפורים נחשפות למגוון בתי גידול, אורגניזמים ומקורות מזון, המשתנים לאורך מסען.
- כיום, רוב הידע על המיקרוביום של המעי בעופות בר מגיע מאתרי הרבייה והחריפה שלהן, בעוד שאתרי העצירה נחקרים פחות.



מה אנחנו כן יודעים על המיקרוביום של המעי בעופות?

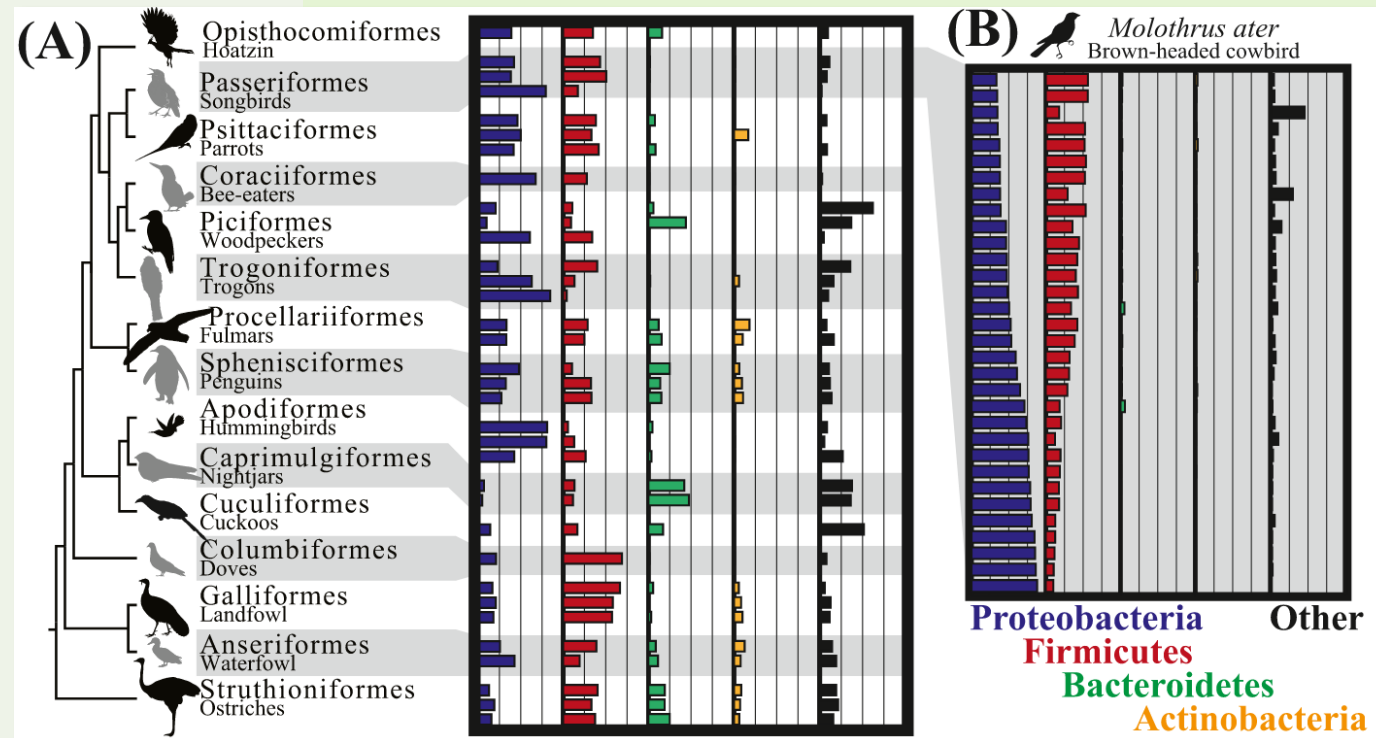


- המיקרוביום של המעי בעופות מושפע ממגוון גורמים – פנימיים וחיצוניים.
- תזונה נחשבת לאחד הגורמים המרכזיים בעיצוב הרכב המיקרוביום של המעי בעופות.



מה אנחנו כן יודעים על המיקרוביום של המעי בעופות?

- המיקרוביום של המעי בעופות מורכב בעיקר מהמערכות החיידקים *Firmicutes* ו-*Proteobacteria*.
- קיימת שונות בין-מינית ותוך-מינית, אך אין בהכרח התאמה פילוגנטית בין העופות למיקרואורגניזמים ספציפיים.



Bodawatta et al. 2022, Trends Microbiol

- ציפורים נודדות יכולות להיות נשאיות של פתוגנים פוטנציאליים.



אזור המחקר – אגמון החולה

האזור כולל בתי גידול מגוונים – ביצות, אגמים ושדות פתוחים, התומכים במגוון רחב של מיני עופות.

ציפורי המחקר – ציפורי שיר נודדות אוכלות חרקים



צילום: רוני סגלי

קנית קטנה - Eurasian Reed Warbler
(*Acrocephalus scirpaceus*)



צילום: אייל ברטוב

סבכי שחור כיפה - Eurasian Blackcap
(*Sylvia atricapilla*)

מטרת המחקר והשאלות המרכזיות



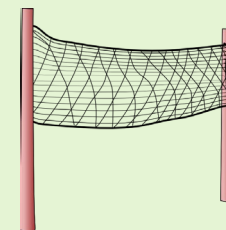
- אפיון הרכב המיקרוביום והתזונה של ציפורי שיר נודדות באגמון החולה, בנדידתן בין אפריקה לאירופה (בסתיו ובאביב).



- האם הרכב מיקרוביום המעי משתנה במהלך הנדידה של בין אירופה לאפריקה?
- ממה ניזונות הציפורים במהלך עצירתן באביב ובסתיו?
- כיצד שינויים עונתיים בתזונה במהלך הנדידה משפיעים על הרכב מיקרוביום של הציפורים?

שיטות

הציפורים נלכדו במאמץ הטיבועים של מוקד המחקרים החולה באמצעות רשתות ערפל, בסתיו ובאביב 2024.
אספנו לשלשת ($n = 112$ קניות, $n = 72$ סבכיים).



DNA הופק מהשלשלת, והוגברו מקטעים מגנים ספציפיים באמצעות פריימרים למיקרוביום (16S rRNA) ולפרוקי-רגליים (COI),
תוצרי ההגברה עברו ריצוף בהספק גבוה (Illumina).

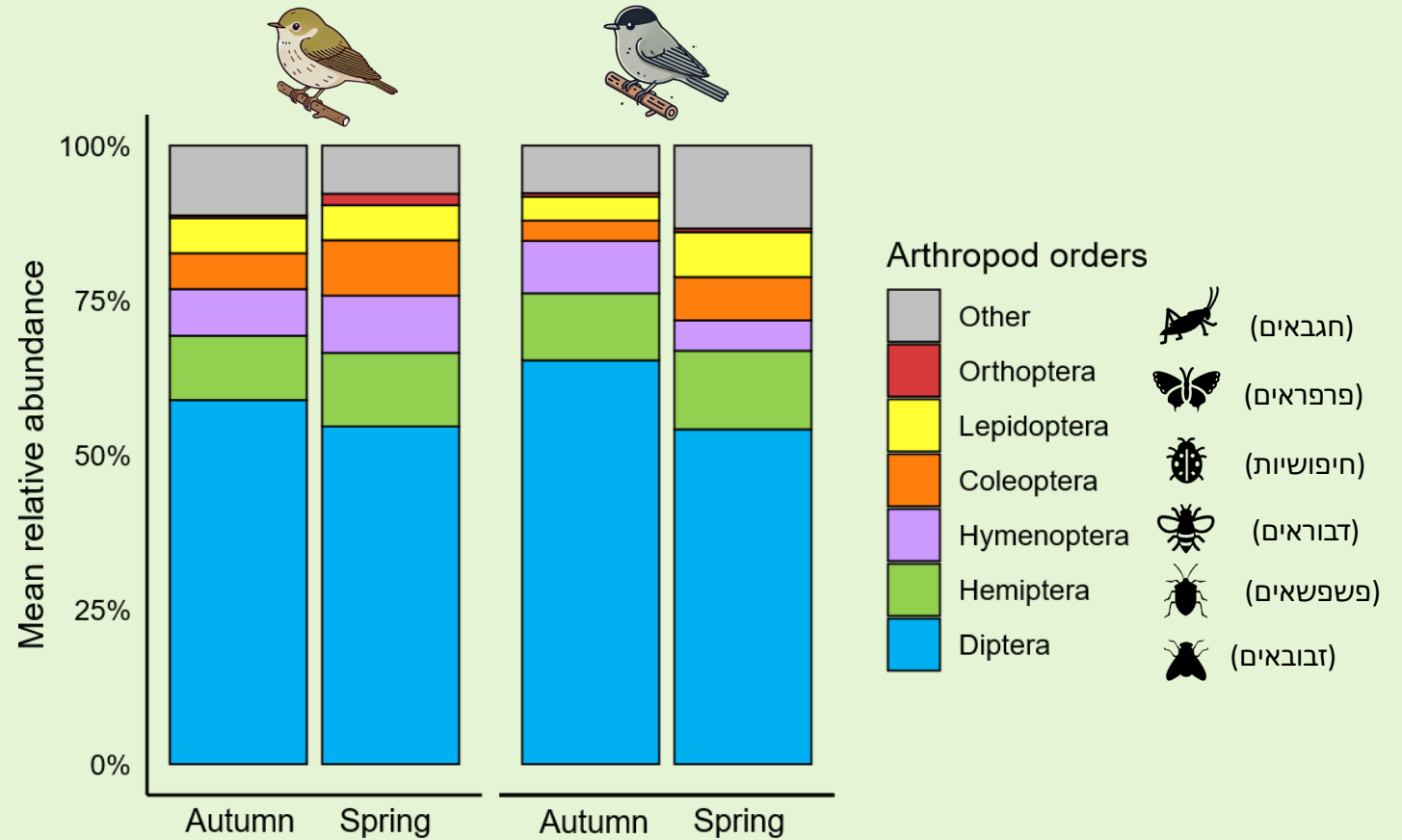


תוצאות הריצוף עובדו בחבילת DADA2 ב-R, וזיהוי טקסונומי בוצע באמצעות מאגרי SILVA ו-BOLD (חיידקים, פרוקי-רגליים).



רשתות ערפל

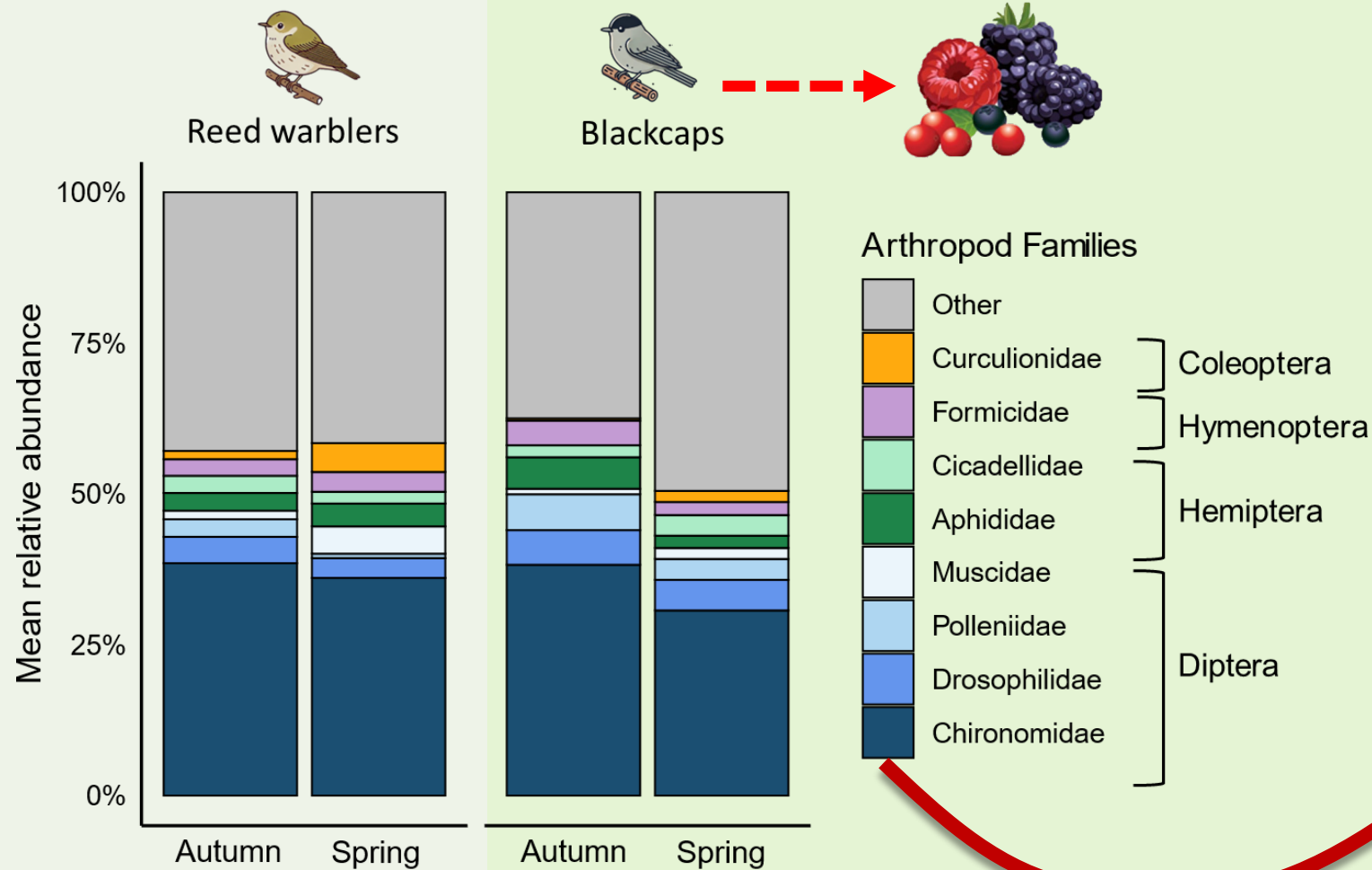
תוצאות - הרכב פרוקי-הרגליים בתזונת הציפורים לפי עונה



שני מיני הציפורים אכלו תזונה דומה באביב ובסתיו.

(PERMANOVA: bird species – $F_{1,113} = 0.8893$, $p = 0.922$, season – $F_{1,113} = 1.0117$, $p = 0.427$).

תוצאות - הרכב פרוקי-הרגליים בתזונת הציפורים לפי עונה



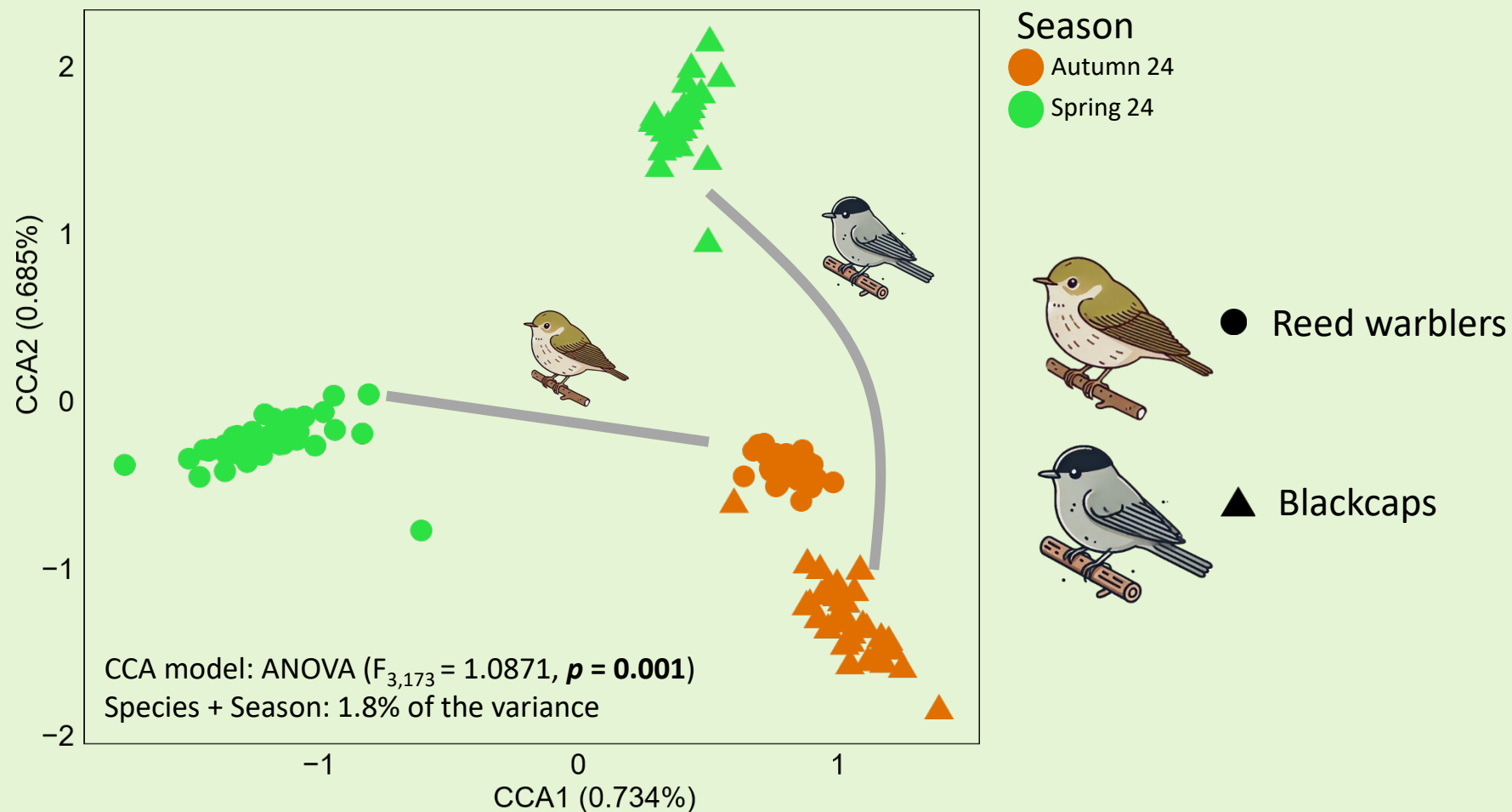
ימשושיים (Chironomidae)



צילום: אנטומארט (Entomart)

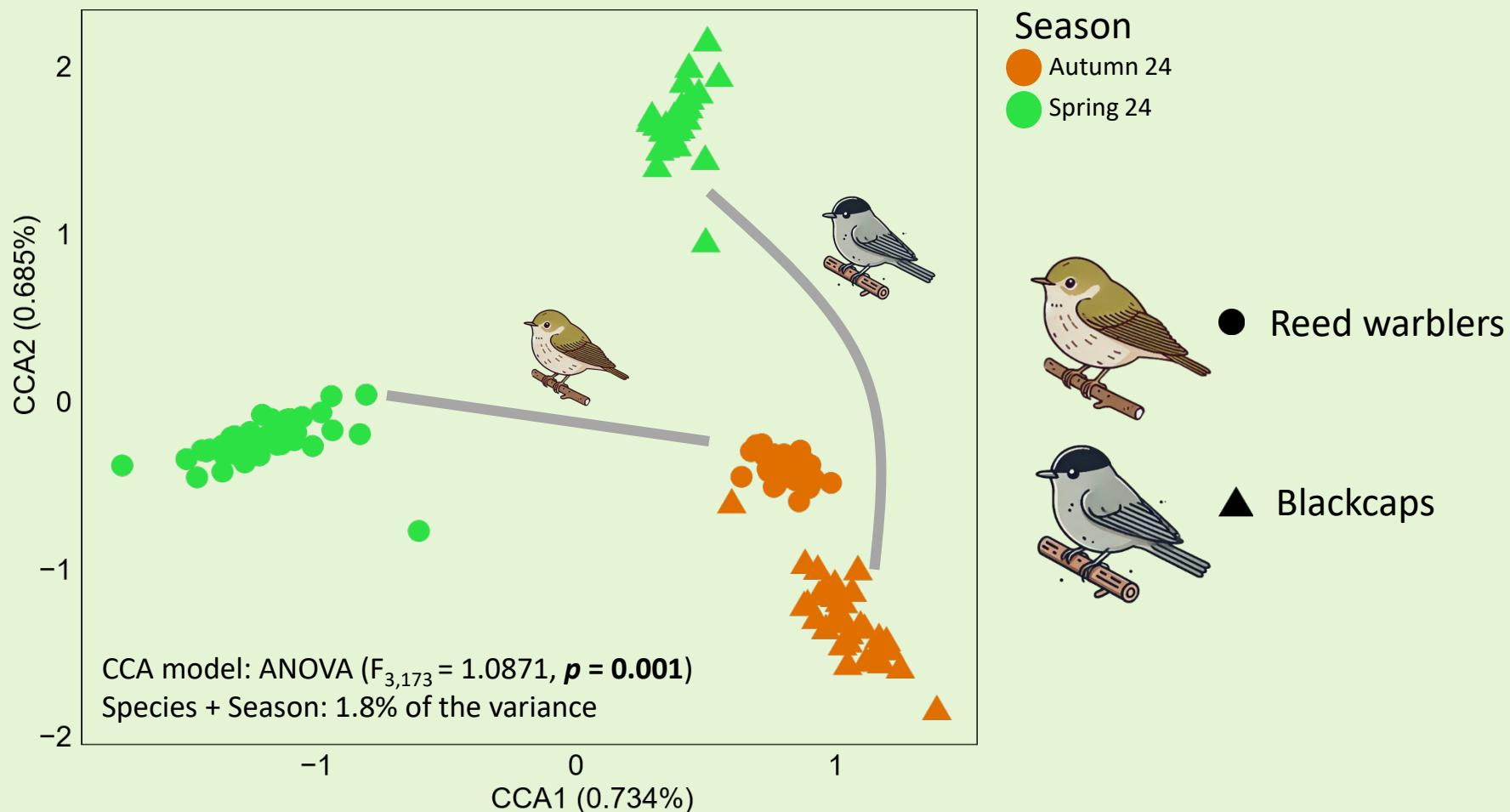
- שני המינים אכלו בעיקר ימשושיים (Chironomidae) באביב ובסתיו.

תוצאות - שינויים עונתיים בהרכב מיקרוביום המעי בציפורים



- נמצא הבדל מובהק בהרכב מיקרוביום המעי בין שני מיני הציפורים (PERMANOVA: bird species - $F_{1,152} = 1.3283$, $p = 0.001$).

תוצאות - שינויים עונתיים בהרכב מיקרוביום המעי בציפורים



• זהו הבדלים משמעותיים בהרכב מיקרוביום המעי בתוך מיני הציפורים בין עונות הנדידה.

(PERMANOVA: season - $F_{1,152} = 1.8086$, $p = 0.001$)

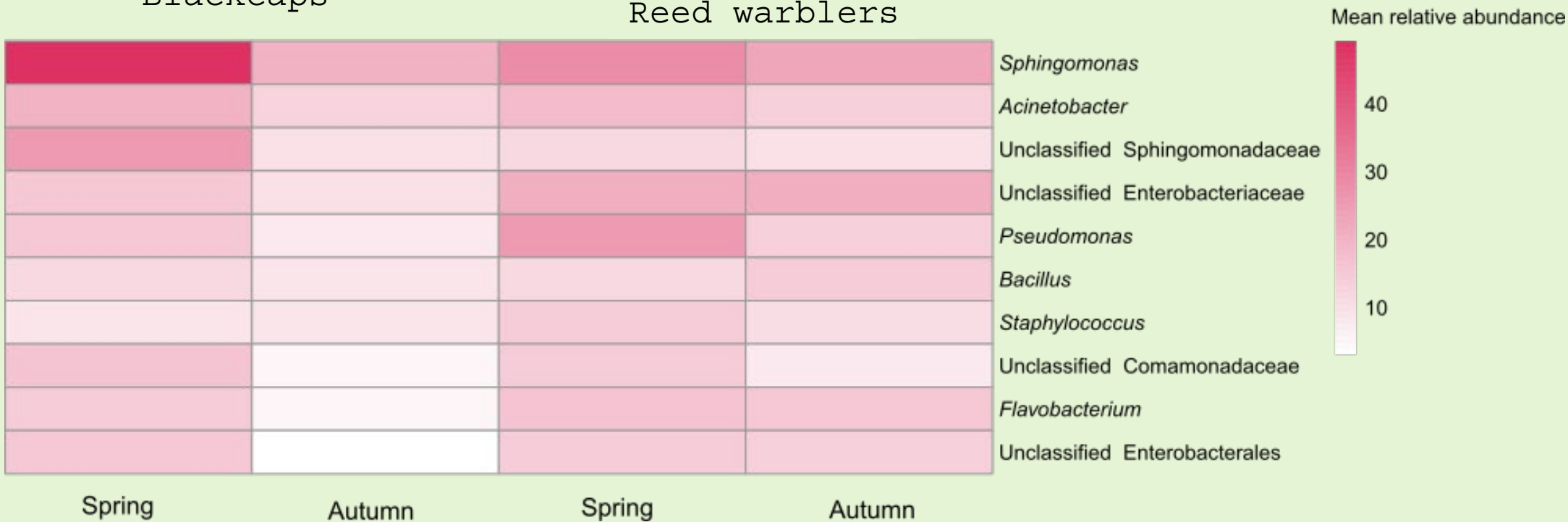
תוצאות- עשרת הסוגים הדומיננטיים ביותר במעי הציפורים בעונות הנדידה



Blackcaps

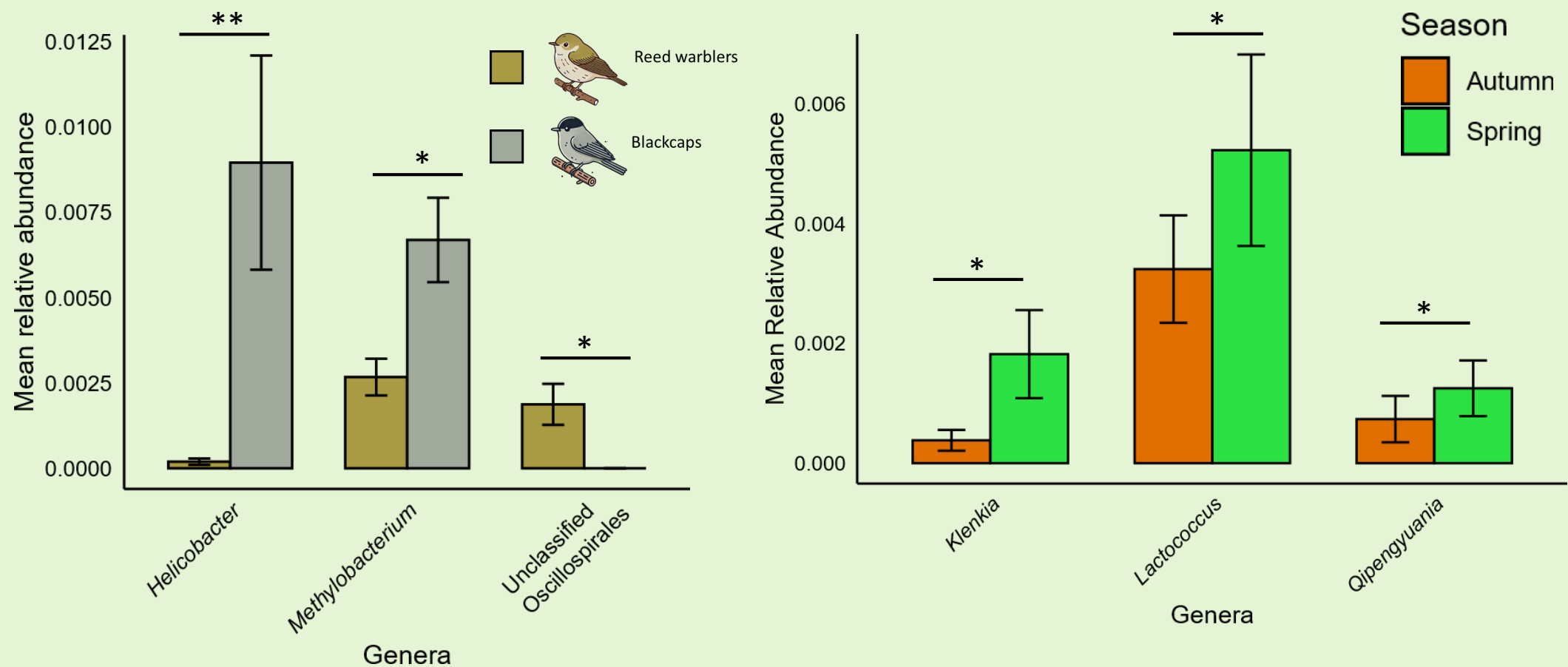


Reed warblers



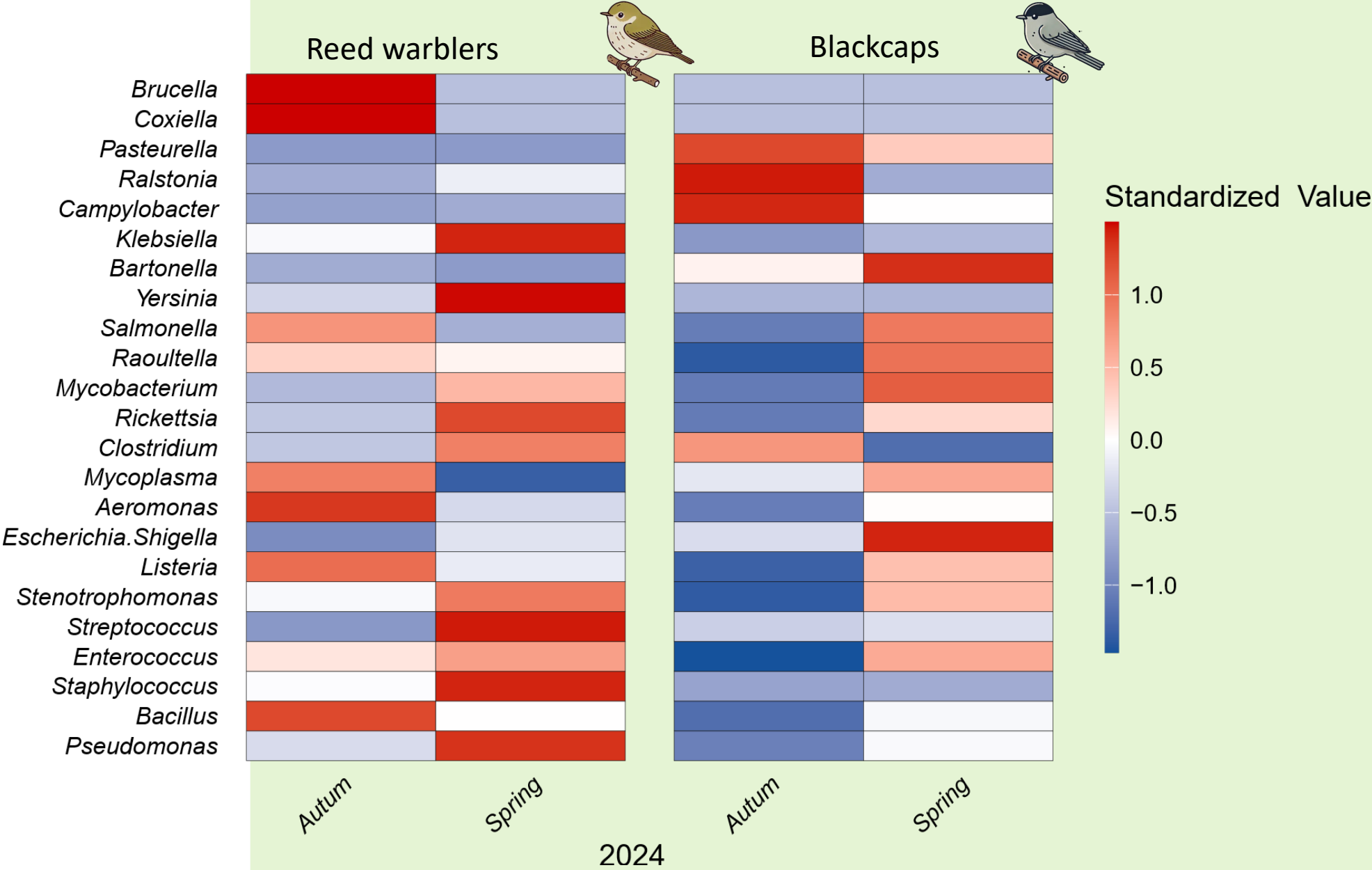
- זהו 1,285 סוגי חיידקים שונים, בעיקר מהמערכות Proteobacteria (39%) ו-Firmicutes (15%).
- הסוג *Sphingomonas* היה הנפוץ ביותר בשני המינים.

תוצאות - שונות מובהקת בהרכב המיקרוביום בין מיני הציפורים ועונות הנדידה



- לפי ניתוח ה- LDM (Linear decomposition model), נמצאו הבדלים מובהקים בין מיני הציפורים בסוגים: *Helicobacter* ו- *Methylobacterium*, ובין העונות בסוגים: *Lactococcus*, *Klenkia* ו- *Qipengyuania*.

תוצאות - שכיחות עונתית של פתוגניים פוטנציאליים במעי הציפורים



תזונה של הציפורים במהלך הנדידה

- הקניות והסבכים ניזונו מתזונה דומה המבוססת על פרוקי-רגליים, שעיקרה היה הימשושיים (*Chironomidae*).
- ההרכב התזונתי הדומה מצביע על אכילה אופורטוניסטית, המושפעת מזמינות הטרף.

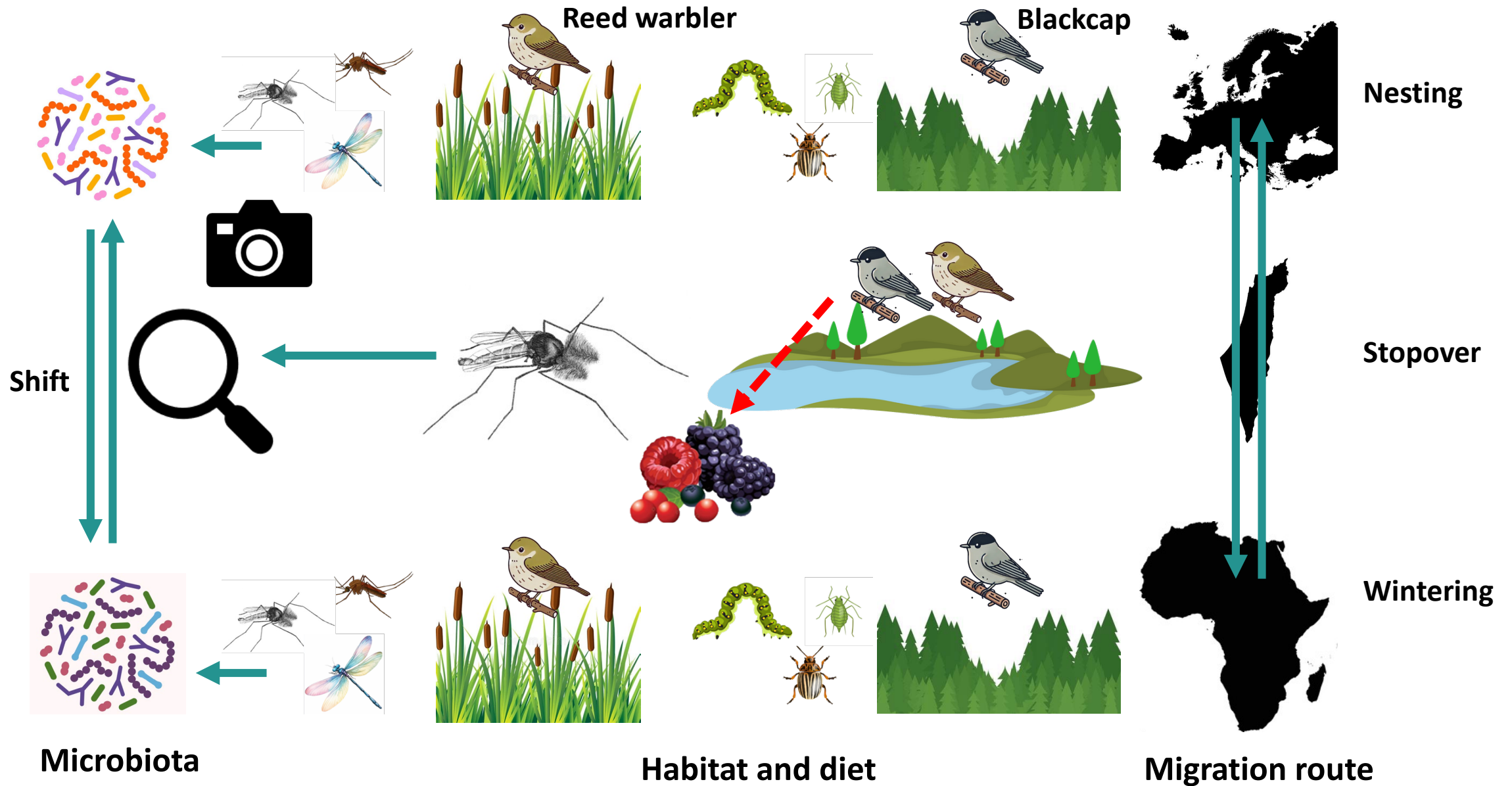


שינויים במיקרוביום של המעי במהלך הנדידה

- המיקרוביום במעי של שני מיני הציפורים השתנה באופן מובהק במהלך הנדידה, ונצפו הרכבים שונים בין עונות השנה.
- הרכב מיקרוביום המעי מושפע מחשיפה באתרי הקינון והחריפה, שניכרו בעת העצירה באגמון החולה.



סיכום



תודות

- צוות מטבעות – אלה רימון, איב מילר, סתיו שי.
- מנהל המעבדה - משה ליבוביץ'
- קולגות – ברק בן הרוש
- מימון ומשאבים – Helmsley fellowship

צילום: בר מדר גרניט

THE LEONA M. AND HARRY B.
HELMSLEY
CHARITABLE TRUST

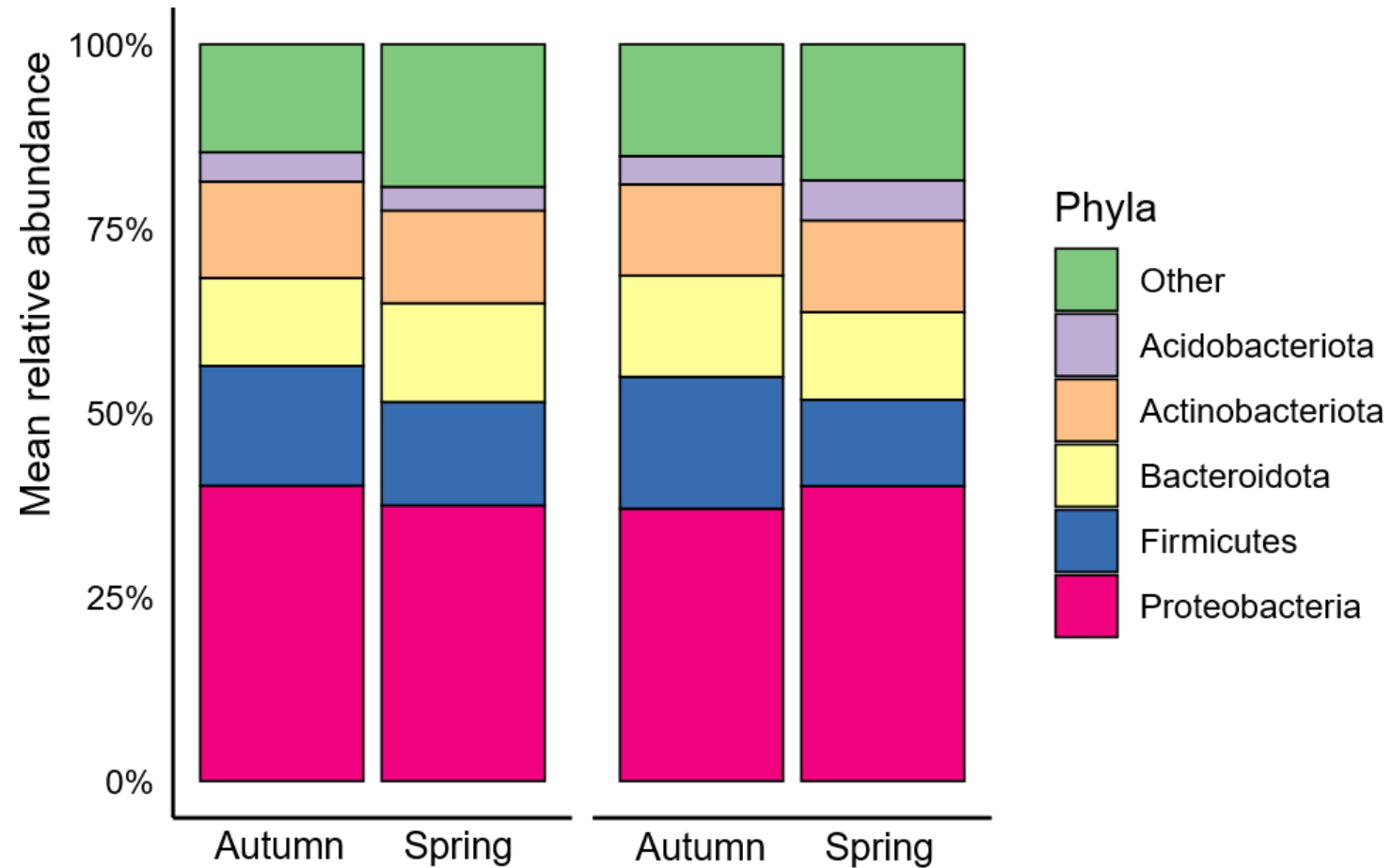
שינויים בהרכב המיקרוביום במעי של הציפורים



Reed warblers

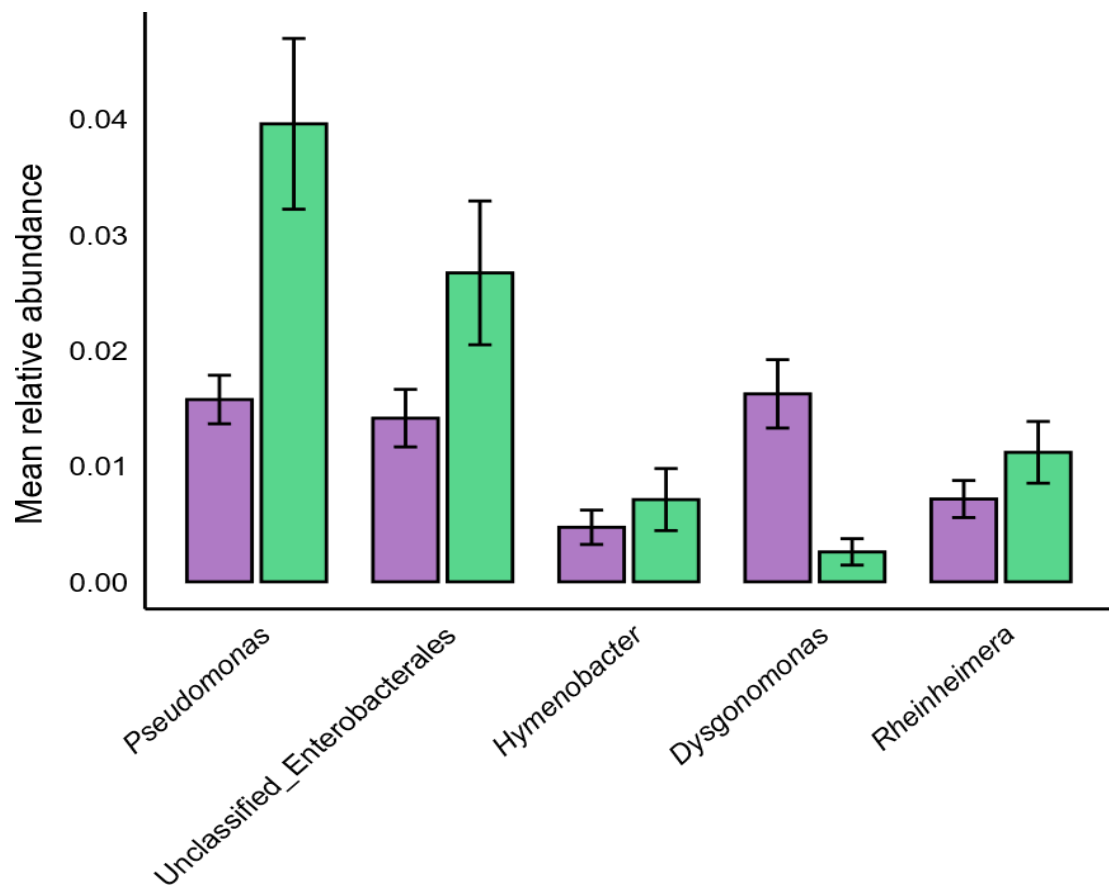


Blackcaps

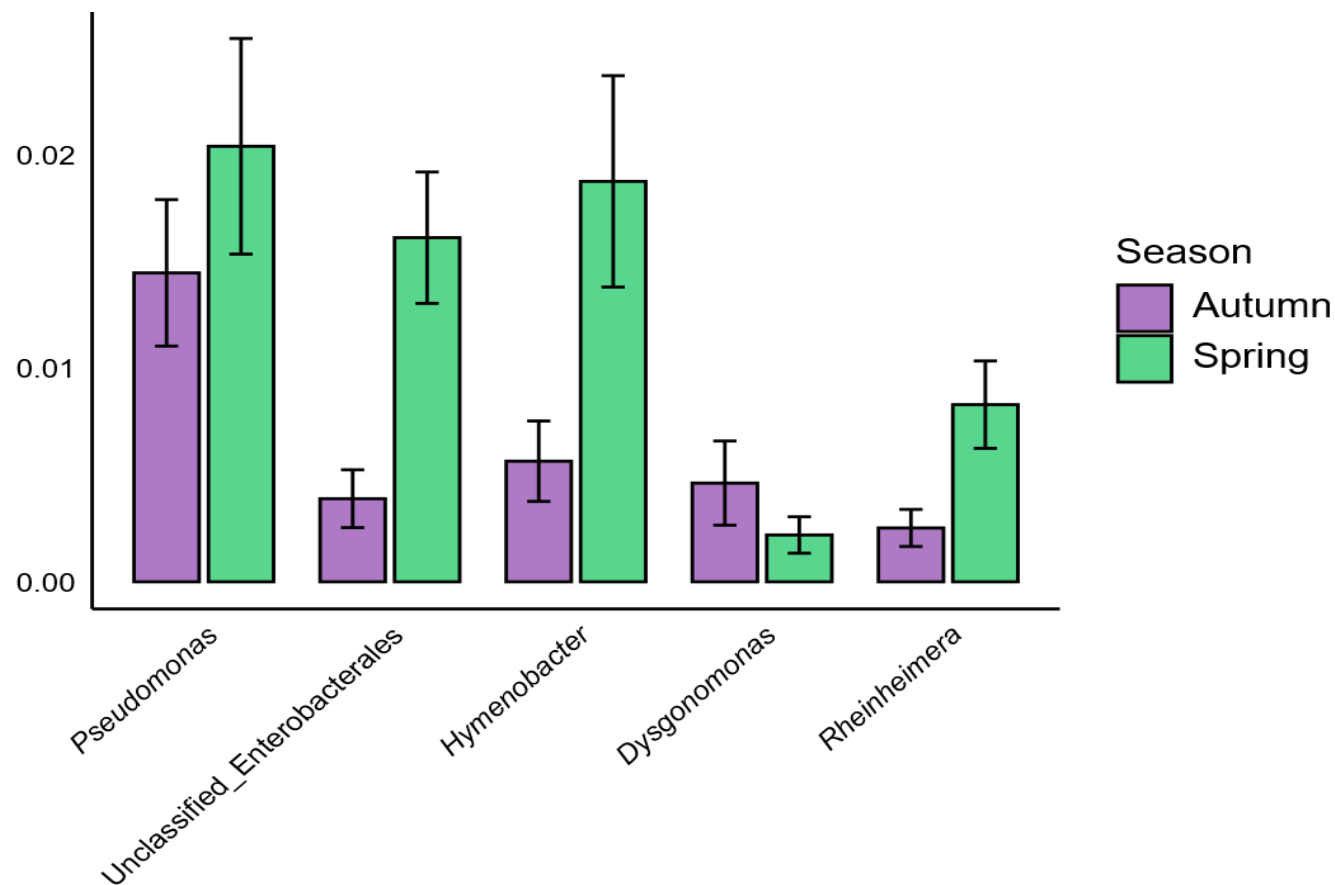




Reed warblers



Blackcaps



Pseudomonas: FDR corrected $p = 0.000542$

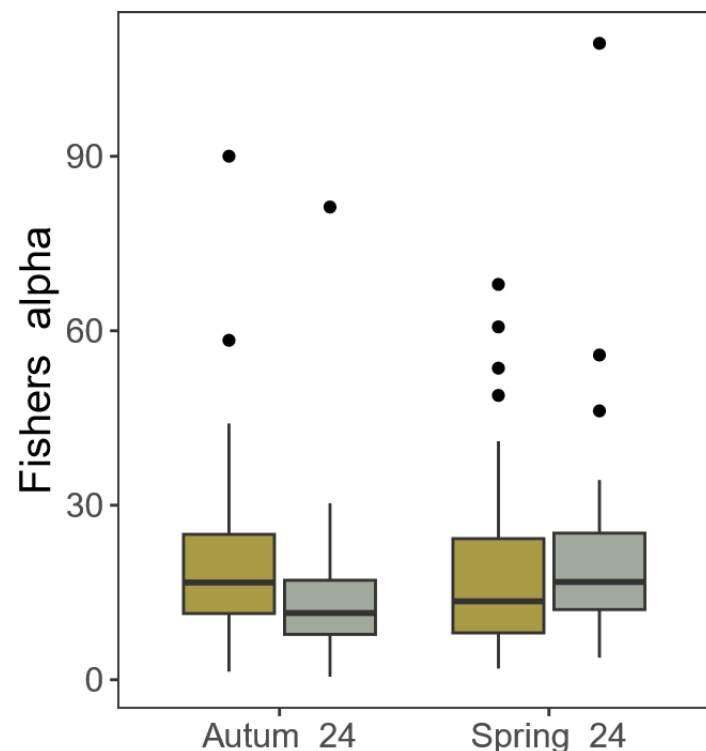
Unclassified Enterobacterales: FDR corrected $p = 0.000833$

Hymenobacter: FDR corrected $p = 0.012625$

Dysgonomonas: FDR corrected $p = 4.17E-05$

Rheinheimera: FDR corrected $p = 0.0275$

תוצאות - מגוון המיקרוביום במעי הציפורים לפי עונה

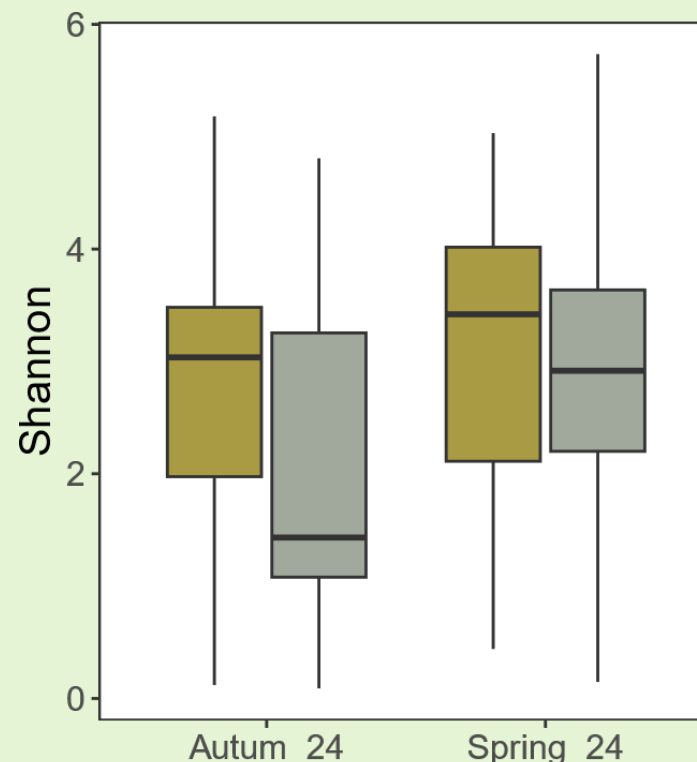


ART ANOVA:

Species ($F_{1,152} = 0.001$, $p = 0.976$)

Seasons ($F_{1,152} = 0.05$, $p = 0.824$)

Species x season ($F_{1,152} = 4.38$, $p = 0.038$)

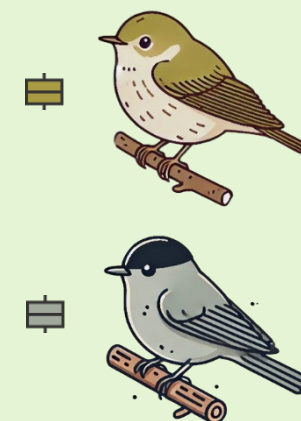


ART ANOVA:

Species ($F_{1,151} = 6.0573$, $p = 0.0149$)

Seasons ($F_{1,151} = 7.4711$, $p = 0.007$)

Species x season ($F_{1,151} = 1.0741$, $p = 0.3016$)



Reed warblers

Blackcaps

• עושר המיקרוביום במעי היה דומה בין מיני הציפורים ועונות השנה, אך המגוון השתנה באופן מובהק.