

לינה, ארוחת בוקר וסקס בפרחי הפשתה השעירה - על צורה, צבע ודגמים בפרחים

פרופ' אמוץ דפני, המעבדה לאקולוגיה של האבקה, המכון לאבולוציה

"אן יפי הפריח לא גארה עס גליש כאריגא"

ריינרדט גאט

נבהיר עוד, שהתפתחות הפרחים על שפע צורותיהם וגווניהם, הם תולדה של אבולוציה הדדית (קואבולוציה) בת מיליוני שנים, שבין הפרחים לבין מאביקיהם. במשך הדורות עברו הפרחים והחרקים סלקציה הדדית שתוצאותיה הן התאמות בין הפרח והחרק, המבטיחות את התועלת ההדדית של שני השותפים – האבקה תמורת גמול.

נתיבי צוף

נקדים ונאמר שלחרקים אין כוונה, עניין או העדפה אישית לבקר בפרחים כאלו או אחרים, אלא אם כן למדו שבפרח מסוים ניתן גמול המתאים לאורח חייהם המיוחד. לדוגמה, בכרמל לבד יש כ-800 מיני דבורי בר ולרבות מהן יש דרישות ייחודיות הנובעות הן מגודלן והן מדרישותיהן המזוניות. מין פרח מסוים צריך להתאים לגודל חדק המציצה של החרק. המאביק, חרק קצר-חדק לא יוכל לשאוב צוף החבוי עמוק בפרח, כמו במשל השועל וחסידה. כמו-כן הפרח צריך להתאים בהופעתו לחושי

החרקים, כולל ראיית צבעים, תגובה לריחות ויכולת הלמידה והזיכרון שלהם. הפרח חייב להיות מתאים לחרק המסוים, ועל החרק מוטלת החובה לזהות את הפרח, לדגום אותו ולזכור לשוב אל פרחים בני אותו המין. כך יש סיכויים שתבוצע ההאבקה כהלכתה.

בספרות המדעית קיים מידע נרחב אודות חשיבות הצבע, גודל הפרח והריח כגורמי משיכה אל הפרחים ביחס לחושי המבקרים ומילוי

מחקר על אמצעי המשיכה וההכוונה אל הגמול בפרחי הפשתה השעירה המופעלים על זבובי העוזיה הדו-צבעית בהתאם למצב רוח ההתנהגותי של הזבובים

שנית אל הפרח המסוים. על הפרח מוטלת החובה האקולוגית-אבולוציונית למשוך את החרק ממרחק ולדאוג לכך שייבחר המאביק המתאים, מבחינת הגודל וההתנהגות באופן שיגרום לו להעביר את

הפרח כמסעדה וכאיבר הרבייה של הצמח

יפי הפרחים מושך את לבנו, וכמעט שאין תרבות אנושית שאין בה מקום של כבוד לאסתטיקה, לסמליות ולטקסיות הקשורים בפרחים.

הבוטנאים, חוקרי הפרחים, מודעים היטב לכך שיופיים של הפרחים לא נועד לספק את חושינו האנושיים, אלא למשוך מבקרים שיבצעו את תהליך ההאבקה – העברת האבקה מהאיבר הזכרי אל האיבר הנקבי כשלב הכרחי לפני ההפריה. רוב מבקרי הפרחים הם חרקים בהם עוסק מחקר זה. בעולם הגדול נפוצה האבקה על-ידי ציפורים ואפילו על-ידי קופים, לטאות וגירפות. המבקרים בפרח משתמשים בו כמסעדה זמנית המספקת חלק מתפריט המזון –



שדה פשתה

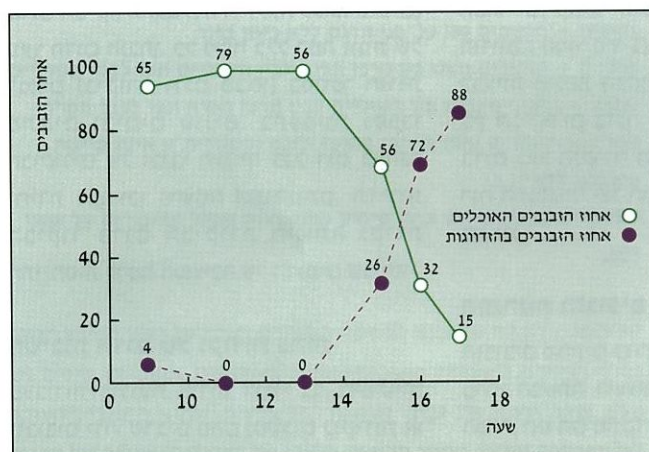
האבקה ליעדה. חרק גדול מידי או קטן מידי עשוי להיטען באבקה מהאבקנים ולא להעביר אותה למטרה – לצלקת. תפקיד הפרח לכוון את החרק אל איברי הרבייה ואל מקור הצוף ולספק את צרכיו במידה כזו שתהיה לו סיבה לביקור נוסף בפרח, ואז יש סיכוי שתבוצע העברת אבקה מאיברי הזכר – האבקנים, אל איברי הנקבה – הצלקת, ורצוי שלא באותו הצמח, ואז יוקטנו הסיכויים להאבקה עצמית.

אבקה פרחים (פולן) וצוף הן עבור הבוגר והן עבור הצאצאים (תלוי במחזור חי החרק המעורב). במילים אחרות, הפרח משלם תמורת שירותי האבקה על-ידי הקרבת חלק מיכולת הרבייה, באמצעות הצעת האבקה כמזון רב-חלבון ומינרלים. פרחים רבים מייצרים צוף, שהוא נוזל סוכרי רב-קלורי ולכן עולה ביוקר לייצר אותו. הצוף לרוב אינו נחוצ לחיי הפרח התקינים, אלא משמש לשכנוע המבקר לבוא

* המחקר בוצע בשיתוף עם סטיב גינסון מקייפטאון, אפריקה הדרומית, ששהה במעבדה כפוסט דוקטורנט. מאמר זה מוקדש לזכרו המבורך של יריב עברי ז"ל, איש איילת השחר, תלמיד, חבר ועמית שרעה וראה רבות בשדות הפשתה.

ההעדפות האופטיות של זבובי העוזיה

בשלב הבא של המחקר נבדקו מספר שאלות: האם זבובי העוזיה מעדיפים פרחים ורודים? מה תפקידם של הפסים שעל הכותרת? האם למרכז הפרח הכהה יש משמעות בחיי הזבוב? ומה הקשר האפשרי בין התנהגות הזבובים לאורך שעות היום לבין תגובתם לדגמים שעל הפרחים? כדי לענות על שאלות מסוג זה נבנתה מערכת ניסויית בה הוכנס שינוי בגורם מסוים כמו צבע הפרח, צורתו, גודלו או הדגם שעל עלי הכותרת. כך נבחנה תגובת הזבובים לאותו שינוי לעומת התנהגותם הרגילה בתנאי שדה או לדגם ביקורת כלשהו (ראה להלן).



טיפוס התנהגות זבובי העוזיה על פרחי הפשטה השעירה לאורך היום

ישנם חרקים כמו דבורי דבש ודבורי אדמה, שאפשר ללמד להגיב לדגם מסוים המכיל צוף "מתמורה" עבור השתתפות בניסוי. לאחר שהדבורים למדו להכיר את הדגם המקורי והתרגלו לבקר בו עקב התמורה המצפה להם, משנים את הדגם ובודקים מה תעשה הדבורה בתנאי החדש ומה היא מעדיפה. במקרה זה עוסקים בחקר של התנהגות נלמדת כאשר אין יודעים מה הרקע של הדבורה ומה ניסיונה עם פרחים אמיתיים בשדה. כדי לבחון אם ההתנהגות נורשת מבטן ומלידה צריך לגדל את החרקים בתנאי מעבדה, כך שיהיו נאיביים וחסרי ניסיון, ורק אז לבדוק את תגובתם לדגמים השונים ואת העדפותיהם המולדות. מחזור חיי העוזיה נעלם מעינינו ואין ביכולתנו לגדלם או לאלפם. למרבה המזל, הסתבר (מאחורי מילה קטנה זו מסתתרות ארבע עונות של ניסוי וטעייה!) שהזבובים מוכנים לנחות על פרחים העשויים מנייר צבעוני, למרות שאין להם ריח

הצמחים מרכז הפרח ורוד כהה עד סגול-שחור. תצפית קצרה ביום אביבי יפה ושטוף שמש מגלה עד מהרה שהפרחים מבוקרים תדירות על-ידי זבוב שחור (שגודלו 5-10 מ"מ) בעל כנפיים משולשות וחדק ארוך, העונה לשם עוזיה דו-צבעית. תצפיות מקדימות הראו שהעוזיה קשורה קשר הדוק לפרחי הפשטה השעירה, ולמעשה מבלה את רוב ימיה ולילותיה על או בתוך פרחי הפשטה. בשעות הבוקר (איור 1) עסוקים רוב הזבובים באכילה: הם מוצצים אבקה ישר מהאבקנים החשופים בעזרת החדק הצר והארוך הפועל כקנה שתייה, ובעזרת אותו איבר הם גם מוצצים מהצוף המופרש בקרקעית הפרח. לצורך

זה נדחקים הזבובים פנימה אל תחתית הפרח. בתצפיות שנערכו בשעות

הבוקר נצפו רוב הזבובים שעל פרחי הפשטה כשהם אוכלים ביחידות, בעוד אחר-הצהריים על בטן מלאה היו הזבובים עסוקים בחיפוש בת זוג או בהזדווגות ואז ניצפו רובם בזוגות זוגות (איור 2). בתום עמל

יוםם נדחקים הזבובים פנימה לתוך צינור הפרח ולנים בתוך הפרח אשר סיפק את צרכיהם השונים במשך היום, כשהם מוגנים מפגעי הסביבה במשך הלילה.

מנקודת מבט של הזבובים גרגרי האבקה אינם אלא "קופסאות שימורים" עתירות חלבון ומינרלים. דופן גרגרי האבקה עשוי מחומר נוקשה ועמיד שאינו מתעכל במעי הזבוב, מאחר ולמיני צמחים רבים יש גרגרי אבקה האופייניים בצורתם ובגודלם, אפשר לבדוק את תוכן קיבת הזבוב ולוודא מהו סל מזונותיו. הבדיקה העלתה שרוב גרגרי האבקה היו של פשטה שעירה – עדות נוספת לקשר ההדוק שבין העוזיה והפשטה. בשדה רואים רק לעתים נדירות ביקורי עוזיה בפרחים אחרים ובדיקת תוכן הקיבה מאשרת תצפית זו. כמעט ואין מוצאים גרגרי אבקה של מיני צמחים אחרים, עדות לנאמנות הזבוב לפרחי הפשטה.

דרישותיהם המזוניות. פחות תשומת-לב הוקדשה לחקר המשמעות האקולוגית של צורת הפרח ודגמי הצבע של הכותרת – בהם נעסוק במאמר זה.



פרח בודד עם עוזיה במרכז

כאשר מתבוננים בפרחים רבים מקרוב, מבחינים בשלב דגמי צבע, נקודות, כתמים, פסים על רקע בהיר יותר או מרכז כהה יותר. דגמים אלו מכונים בשם "נתיבי צוף" או "דרכי צוף" ונחשבים כסימני דרך המראים לחרק היכן חבוי הצוף, לרוב במרכז הפרח. ההנחה היא שהריח והצבע מושכים את המבקר ממרחק רב, בעוד צורת הפרח והשרטוטים שעל הכותרת מנחים ממרחק שאינו עולה על סנטימטרים ספורים (2-4 ס"מ עבור דבורת הדבש). להנחות אלו, המקובלות על רוב החוקרים, יש מעט מאד עדויות ניסוייות, ורובן נערכו על דבורי דבש בתנאי מעבדה ובדגמים מלאכותיים בצבעי שחור-לבן. מספר מחקרי השדה בנושא זה בתנאים טבעיים (ושאינם עוסקים בדבורת הדבש), נער יספרם.

שטיחי הפשטה וביקורי העוזיה

הפשטה השעירה היא אחד הצמחים החד-שנתיים היוצרים באביב שטיחים ורודים של מאות ואלפי פרחים בנופים ים תיכוניים פתוחים וגם ליד האוניברסיטה בסמוך לגן הארכיאולוגי "דרך הדורות". כותרת הפרח הפרושה לרווחה קוטרה כ-2-3 ס"מ. העורקים כהים (סגולים-שחורים) ויוצרים דגם של פסים המתכנסים אל מרכז הפרח. לעתים קרובות, בחלק מאוכלוסיית

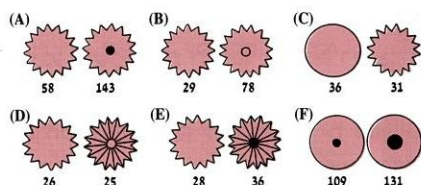
ותגובתו נקבעות לפי הפעילות העיקרית של הזבוב וההתנהגות האינסטינקטיבית שלו בזמן נתון למרות שמדובר באותו הפרח. הברירה להעדיף פסים או נקודות ברגע נתון קשור בצרכים הבסיסיים של הזבוב ולא בדגם הפרח עצמו.

חשיבות צורת הפרח

כפי שכבר נרמז, יש בידינו מידע מועט ומקוטע אודות חשיבות צורת הפרח מנקודת מבט של החרק המבקר. בספרות ישנם נתונים אודות העדפת פרחים בעלי צורה שבורה (עלי כותרת שסועים או מפורצים) על-ידי רפרפים, דבורת דבש וזבובים, רוב העדויות נובעות מתצפיות שדה לא מבוקרות או מניסויי מעבדה בדגמי שחור לבן.

המערכת הנוכחית מאפשרת לברר אצל הזבוב בתנאי שדה איזו צורה מושכת יותר, וכן האם קיימת התאמה בין הצורה החיצונית של הפרח לבין השרטוט (=הדגם) שעל הכותרת.

באיור מס' 3 מובאות תוצאות ניסויי הבחירה של הזבוב בתנאי שדה (כאמור בדגם פרח מסוים מתוך הדגמים השונים המונחים אופקית על קיסם הנועץ באדמה).



תגובת זבובי העוזיה לדגמים בעלי צורה שסועה. המספרים מתחת לכל דגם מציינים את המספר המצטבר של הזבובים שנחתו על הדגם

הצורה השבורה משכה באופן מובהק יותר זבובים מאשר הצורה העגולה (143 לעומת 58), תוספת נקודה שחורה במרכז העלתה את כושר המשיכה של הצורה השבורה ביותר מפי שניים (78 לעומת 29). עיגול שחור ריק במרכז הפרח, או עיגול ריק בצירוף פסים, לא הגדילו את משיכת הזבובים ממרחק. כאמור הפסים משמשים להכוונה בתוך הפרח ולא לפרסומת מרחוק. כאשר היו גם נקודה שחורה וגם פסים לא משכה הצורה השסועה יותר מדגם פרח ללא כל שרטוט. כך משתמע כאילו הפסים מבטלים את אפקט הנקודה.

ההתנהגות קדם-הזדווגותית. הזדווגות אמיתית (או ניסיון להזדווגות), חלה רק אם יש גרויים נוספים של ריח או של צורת פני השטח. כאשר הדבקנו זבוב אמיתי על-פני שטח עלה הכותרת של הפשתה, וחשפנו אותו לביקורים של זבובים בתנאי שדה 100% (מתוך 77 תצפיות) נסתיימו בניסיון להזדווג עם הזבוב השבוי שעל הפרח. ההתנהגות דומה נצפתה כאשר ציירנו נקודה כהה על הכותרת — 85% ניסיונות הזדווגות (מתוך 144 תצפיות).

בדיקת המשיכה של דגם בעל נקודה כהה במרכז (בקוטר 3 מ"מ) העלתה כי דגם זה משך הרבה יותר מאשר דגם הביקורת, אך רק בשעות אחר-הצהריים, כאשר הזבובים היו במצב רוח של הזדווגות (איור מס' 1). בבוקר כאשר היו טרודים בבעיות פרנסת הבטן לא היה הבדל משמעותי בין הביקורים בדגם הביקורת לבין הביקורים בדגם בעל הנקודה הכהה. הזבובים היו במצב רוח התנהגותי של חיפוש מזון ולא ניפנו לחפש בת זוג.

התנהגות הזבובים לאחר הנחיתה

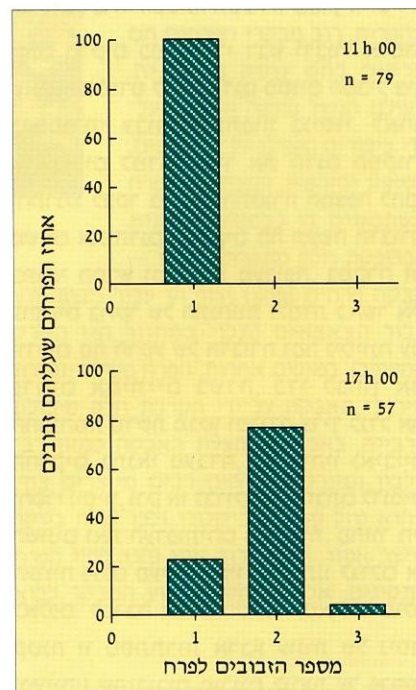
הזבובים נוחתים בדרך-כלל באמצע הכותרת של פרחי הפשתה השעירה בין שוליה לבין מרכז הפרח, ואז הם מתקדמים בהליכה למרכז. אחר-הצהריים הזבובים נוחתים ישר במרכז הפרח, במיוחד אם הפרח כבר "תפוס" על-ידי זבוב אחר. בדיקת התנהגות הזבובים על דגמים שונים (טבלה 1) מגלה טיפוס אוריינטציה שונים. זבובים הנוחתים על דגמים חסרי צורה ברורה, או דגם בעל פסים מקבילים, נעים לאחר הנחיתה ללא כיוון מוגדר — 65.8%-80.7% מכלל הביקורים, או לעבר שולי הדגם — 19.3%-34.2% מכלל הביקורים. אבל 73%-77% מהזבובים הנוחתים על דגם המכיל פסים המתכנסים לעבר המרכז, נעים לאחר הנחיתה כלפי מרכז הפרח. נטייה זו להתקדם אל המרכז בלטה פחות כאשר שולי הפרח היו דמויי עלי כותרת (ולא דגם עגול) ובצירוף פסים מתכנסים. ב-81% מהביקורים שנערכו אחר-הצהריים, נחתו הזבובים במישרין על הנקודה השחורה, אך לא בבוקר! מכאן שתנועת הזבובים לאחר הנחיתה מושפעת הן מהדגם והן מ"מצב הרוח" ההתנהגותי של הזבוב. בזמן האכילה יש לפסים משמעות רבה בהכוונת הזבוב, ואילו בזמן החיזור קובעת הנקודה הכהה את מקום הנחיתה. ההעדפה האופטית של הזבוב

(לפחות ריח הקשור לפרחים) ואינם מכילים גמול כלשהו.

בניסויים מקדימים הסתבר שהעוזיה מעדיפה באופן ברור דגמים מנייר ורוד הדומה בתכונותיו (הרכב האור החוזר) לפרחי הפשתה, ממצא המעיד על הקשר האינטימי בין החרק והפרח. הדגמים ששימשו לניסויים הוכנו בצורה הבאה: בראשיהם של שיפודי עץ הנוצצים באדמה הודבקו (באופן אופקי) דיסקיות עגולות מנייר ורוד בקוטר של 3 ס"מ. דגם פרח זה שימש כדגם הביקורת, מאחר וכל שאר הדגמים הושו אליו. דגם הביקורת ננעץ בלב שדה פשתה בגובה המתאים לפרחים הטבעיים. במרחק 10 ס"מ מדגם הביקורת (עגול, ורוד וללא כל שרטוטים) ננעץ הדגם הנבחן. כל ניסוי כלל כמה זוגות של דגמים (ביקורת ודגם מבחן) במספר חזרות מתאים ובימים שונים. בתצפיות נספרו הביקורים של זבובי העוזיה בכל דגם באותה יחידת זמן וכן נרשמה התנהגותם. תדירות הביקור בדגם הביקורת היוותה נקודת התייחסות לרמת המשיכה של הדגמים שבניסוי.

חשיבות הדגם של נקודות כהות

מעבודות קודמות אודות דבורי בר, חיפושיות וזבובים ידוע שרבים מהם נמשכים לנקודות או לכתמים שחורים (על הפרח ומחוץ לו)



נוכחות זבובי עוזיה על פרחי הפשתה

התנהגות הזבובים לאחר נחיתה על דגמים שונים של פרחים

הדגם	סך כל התצפיות	171 אחרי הצהריים	28 לפני הצהריים	36	24	26	13	30	149	187
במקרה	12.9	89.3	5.5	45.8	15.3	15.3	63.3	65.8	80.7	
שוליים	0	0	0	4.1	0	0	36.6	34.2	19.3	
אמצע	0	0	25.0	45.8	73.0	77.1	0	0	0	
מטרה	87.1	10.7	69.4	4.1	11.5	7.6	-	-	-	

האוריינטציה של זבובי העוזיה בקשר לדגם, השרטוט והצורה של דגמים ורודים.

הובחנו ארבעה טיפוסים התנהגות אופייניים:

במקרה – הזבובים נעו על-פני הדגם ללא כיוון ברור

שוליים – הזבובים נחתו בין מרכז הדגם לבין השוליים ונעו לעבר השוליים

אמצע – הזבובים נחתו בין השוליים לבין מרכז הפרח ונעו לעבר המרכז

מטרה – הזבובים נחתו היישר במרכז הדגם (קטגוריה זו אינה קיימת בפרחים ללא דגם).

המספרים מבטאים את אחוז טיפוס ההתנהגות מכלל הביקורים על אותו דגם.

של המרכז הכהה שבפרחי הפשתה במשיכת הזבובים בזמן חיפוש הזיווג. פרחי הפשתה השעירה מושכים איפוא באמצעים אופטיים שונים (של צבע, צורה ודגם) את זבובי העוזיה הדו-צבעית, שהיא המאביק העיקרי של הפרחים ומקור המזון הכמעט בלעדי של הזבובים. שילוב של תכונות הפרח – צבע ורוד, שוליים מפורצים, פסים ומרכז כהה, מפעיל התנהגות אינסטנקטיבית של החרק – אכילה בעיקר בבוקר והזדווגות אחר-צהריים. שילוב זה מספק את צרכיו העיקריים של הזבוב – לינה, אוכל וזיווג התורמים בכך להעברת האבקה המתאימה ליעדה.

הממצא שהזבובים נמשכים אל דגם פרח ורוד ללא גמול מאפשר להבדיל בין חשיבות צורת הפרח והדגם המשורטט על עלי הכותרת לבין השפעת המשיכה מרחוק על התמצאות החרק שכבר נחת על הפרח והכוונתו אל הגמול שבמרכז הפרח. התוצאות המובאות בזה שופכות אור חדש אודות חשיבות צורת הפרחים בתנאי שדה – נושא שרבו בו הנסתר על הגלוי.

מחקר זה מוסיף נדבך נוסף להבנת משמעות צורת הפרח והקשרים ההדדים שבין פרחים למאביקיהם, שהם תוצאת אבולוציה רבת-שנים לתועלת שני הצדדים.

ניסויים ראשוניים אלו מראים שלצורה החיצונית ולנקודה השחורה יש חשיבות רבה במשיכת הזבוב ממרחק וכי הנקודה השחורה מוסיפה אפקט משיכה נוסף על הצורה החיצונית (כמובן אחר-צהריים, ראה לעיל). ההסבר לכושר המשיכה הגדול יותר של צורה שבורה על-פני צורה עגולה הוא בכך שכולל שקווי המתאר החיצוניים (הקונטורים) של הצורה ארוכים יותר, כך גדל הניגוד בין הצורה המסוימת לבין הרקע ולכן היא בולטת יותר לעיני החרק המתקרב אל המטרה.

העוזיה – ספציאליסט של פרחי הפשתה

הניסויים מראים שזבובי העוזיה מבחינים בין הדגמים השונים על-פי צבעם, גודלם, צורת השוליים ודגם השרטוט שעל הכותרת. תוצאות אלו מתאימות לתצפיות המראות קשר הדוק בין מחזור חיי הזבוב לבין פרחי הפשתה, הזוכה גם היא לביקורי דבורים, ואינה תלויה בלעדית בשירותי האבקה של העוזיה. למעשה, הזבוב הוא ספציאליסט של פרחי הפשתה. הקשר בין פרחי הפשתה והעוזיה הדוקים במיוחד לאור העובדה שהפרח מהווה מקור עיקרי לצוף ואבקה לזבוב, ומשמש כמלון לילה וכוירה למציאת זיווג.

הממצא שהזבובים מעדיפים דגמים בעלי שוליים מפורצים מקבילה הן לצורה האמיתית של הפרחים והן לממצאי מחקרים אחרים שהעלו כי דבורים, פרפרים ופרפים מעדיפים פרחים בעלי שוליים מפורצים.

התנהגות זבובי העוזיה על פרחי הפשתה, בעוקבם אחרי הפסים אל מרכז הפרח, מתאימה גם לעדויות שלפסים יש חשיבות בהכוונת הדבורים הנוחתות אל מקור הצוף. התנהגות נורשת זו מסייעת לחרק הנוחת לנווט באופן אוטומטי, ללא צורך בניסיון קודם ובלמידה, כפי שהוכח אצל דבורת הדבש, המגיעה אל מרכז הפרח שם נמצא הגמול הצפוי. דגמים בעלי פסים מתכנסים לא היו יותר מושכים ממרחק, ולעתים אפילו משכו פחות מדגם הביקורת. זו עדות עקיפה לכך שהפסים אינם משמשים לפרסומת מרחוק, אלא להכוונה שלאחר הנחיתה, ובכך מצדיקים את הכינוי הרווח "נתיבי צוף".

פרחי הפשתה משמשים כזירת מפגש לצורך הזדווגות במיוחד אחר-צהריים. התנהגות זו מעלה רעיון אפשרי שהדגמים שעל הפרח (במקרה זה מרכז כהה, אך ישנם גם מיני פרחים אחרים בעלי נקודות או פרחים עיקרים כהים) התפתחו כתוצאה מברירה שהופעלה על-ידי ההתנהגות הקדם-הזדווגותית של הזבובים. אמנם, התברר שהזבובים נמשכים במידה רבה על-ידי זבובים המצויים כבר על הפרח, או על-ידי נקודה שחורה שצוירה על הפרח או על הדגם. תוצאות אלו מצביעות על חשיבות אפשרית