

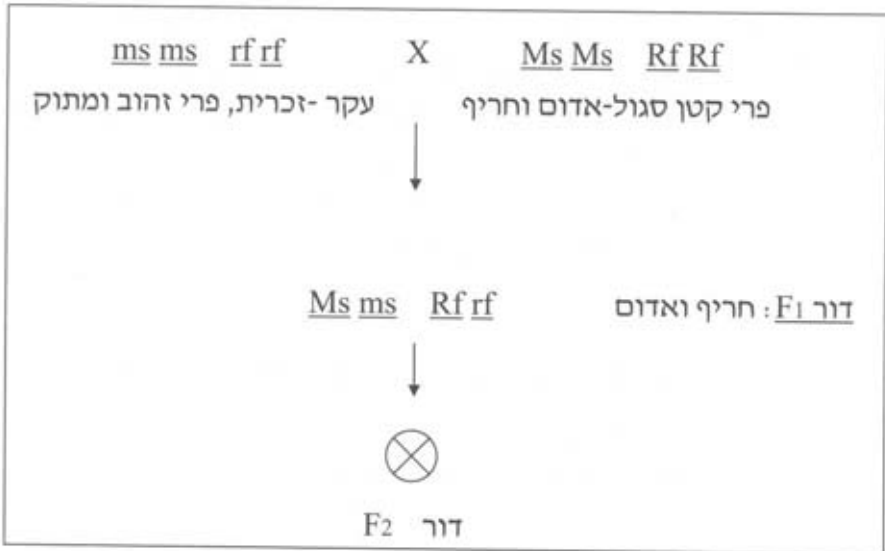
פרק 9: יצירת מכלואים נעדרי חריפות (מתוקים)

פרק זה נועד לתאר מגוון היבטים גנטיים הקשורים לתכונת הטעם בפרי, וביתר דיוק לעניין החריפות מול המתיקות. כל זני הפלפל בעלי הפרי הקטן המוכרים בעולם, שבהם לא נעשו סלקציה או השבחה, מאופיינים בדרגות שונות של חריפות. מרכיבי החריפות שייכים לקבוצת הקפסיצינואידים, כאשר שניים מהם, הקפסיצין והדיהידרוקפסיצין, מהווים כ-95% מכלל התרכובות הללו. המסלול הביוסינתטי של יצירת הקפסיצין אינו מוכר, למעט השערות בדבר המרכיבים העשויים להשתתף בתהליך. השונות בעוצמת החריפות בקרב הזנים הינה עצומה, החל מדרגת 0 חריפות בזני המאכל המתוקים ועד לדרגת חריפות של 300,000 יחידות Scoville⁵. החריפות הינה תכונה דומיננטית המפוקחת ע"י גן ראשי, אך גנים כמותיים נוספים ותנאי הסביבה משפיעים אף הם על דרגותיה. בעת הייצור של זני נוי קיימת חשיבות רבה להחדרת התכונה של העדר חריפות, בכדי להמנע מהסיכון שבמגע עור אדם, ובעיקר של ילדים, עם החומר המגרה, הקפסיצין, המצוי בפירות החריפים.

לשם כך בוצעה הכלאה בין הורה מתוק עקר זכרי ms ms וזהוב פרי, האמור לתרום את המתיקות, לבין הורה זכרי חריף, בעל פרי קטן ועשיר באנתוציאן, ההופך בעת ההבשלה לאדום. מהכלאה זו ציפינו לקבל שושלות צאצאים נעדרות חריפות, בעלות פרי קטן, המכילות את האלל לאנתוציאן A.

5 Scoville - יחידת מדידה לדרוג רמת החריפות, ע"ש החוקר שפיתחה. השיטה מבוססת על טעימת ריכוזים שונים מהמיצוי החריף המקורי אשר נמהל לתמיסות שריכוזן הולך ופוחת. קיימות גם שיטות כימיות מדוייקות למדידה כמותית של התרכובות שתורמות לחריפות.

להלן מהלך ההכלאות וההתפצלות בדורות השונים:



בדור F₂ נתקבלו 1,131 נבטים, אשר התפצלו לסגולים וירוקים ביחס של 288 ל-843 בהתאמה, דהיינו ביחס מקורב של 1 ל-3. במטרה להחדיר גם את הסגול כמרכיב נוי אל שושלות ההורים סולקו כל הנבטים הירוקים. מהקבוצה הסגולה, שכללה כאמור 288 נבטים, התפתחו עד לבגרות רק 219 צמחים, אשר התפצלו לשתי תכונות:

א. עקרות זכרית ביחס מנדלי צפוי לגן יחיד, דהיינו 3 פוריים (Ms Ms) ו-1 עקר (ms ms).

ב. מתיקות, ביחס של 27 מתוקים מול 192 חריפים, יחס החורג באופן סטטיסטי מהצפוי על בסיס התפצלות של גן יחיד, 1 : 3. על פי היחס התיאורטי הצפוי, מספר המתוקים היה אמור להתקרב ל-50 צמחים. מכאן ניתן להניח שמספר גנים מעורבים בהורשת החריפות – מתיקות בהכלאה הנוכחית. ואולם, מאחר וביצענו בדור F₂ ברירה לקבוצת הסגולים בלבד, קיימת אפשרות שעודף הצמחים החריפים על פני המתוקים, בקבוצת 219 הצמחים הסגולים, נובע מתאחיזה כרומוזומלית בין תכונת הצבע הסגול לתכונת החריפות.

מאחר והצמחים המתוקים-סגולים מדור F_2 הנוכחי צפויים להיות הומוזיגוטיים למתיקות, כתכונה רצסיבית (החריפות הינה כאמור דומיננטית), השתמשנו בקבוצה זו כהורים מתוקים להכלאות עם הורה נקבי מתוק מטיפוס $\underline{rf\ rf}$ (S), וציפינו לצאצאים מתוקים. בנוסף, נבדקו הצאצאים של צמחי F_2 המתוקים, דהיינו צמחי דור F_3 הצפויים אף הם להיות מתוקים. ראוי לזכור כי ההורה הסגול בהכלאה המקורית היה חריף, והכיל גם את האלל \underline{Rf} להחזרת פוריות. לכן, מתוך צאצאי ההכלאות האחרונות, פוריים או עקרים, ניתן היה לקבוע האם האללים \underline{Rf} או \underline{rf} בהתאמה עברו אל הצאצאים.

תכונות הצאצאים מההורים הזכריים המתוקים בעלי הפרי הסגול

1. כל הסגולים המתוקים מדור F_2 , אשר היפרו את האם $\underline{rf\ rf}$ (S), הכילו את הגן \underline{Rf} . זאת מצאנו מאחר שרוב שושלות המכלואים בדור F_1 היו פוריות מטיפוס $\underline{Rf\ rf}$ (S). בחלק מהמכלואים נתקבלה התפצלות לפוריים ועקרים, משום שצמח האב בהכלאות אלו היה הטרוזיגוט $\underline{Rf\ rf}$. נתונים אלו מצביעים על תאחיזה בין הגן \underline{A} הנותן צבע סגול לבין הגן \underline{Rf} המחזיר פוריות בצמחים מטיפוס (S).
 2. הצאצאים בדור F_3 מצמחי F_2 המתוקים הנ"ל התנהגו באופן שונה, כאשר חלק מהשושלות הכילו צמחים מתוקים כצפוי, ואילו שושלות אחרות התפצלו באופן לא צפוי לחריפים ומתוקים.
 3. ההפתעה המעניינת מכל התרחשה בהכלאה שבין האם המתוקה $\underline{rf\ rf}$ (S) לצמחי F_2 המתוקים (סעיף 1). מתברר כי רוב המכלואים שהתקבלו מהכלאה זאת היו בעלי פרי חריף, ואילו מיעוטם התפצלו לצמחים חריפים ומתוקים. לא נתקבל אף לא מכלוא אחד של מתוקים. נתונים אלו חורגים מהצפוי מהכלאה בין שני הורים בעלי תכונה רצסיבית (כמו המתיקות בפרק זה), שכן גם הצאצאים היו אמורים להכיל אותה תכונה כמו הציפיה לצאצאים aa מהכלאה aa x aa.
- הנתונים הללו תומכים באפשרות כי המתיקות אינה מורשת ע"י גן יחיד אלא ע"י מספר גנים פעילים, הן בביטוי של מתיקות מול חריפות והן בעוצמתה של החריפות. על בסיס נתונים מוגבלים של חוקרי פלפל בארה"ב הוצע כי נוכחות משותפת של שני גנים דומיננטיים משלימים (complementary) כמו A ו-B

הינה תנאי להתפתחות חריפות. על בסיס רעיון זה קיימת אפשרות לקבלת צאצאים חריפים מהורים מתוקים, וזאת על פי ההכלאה הבאה:

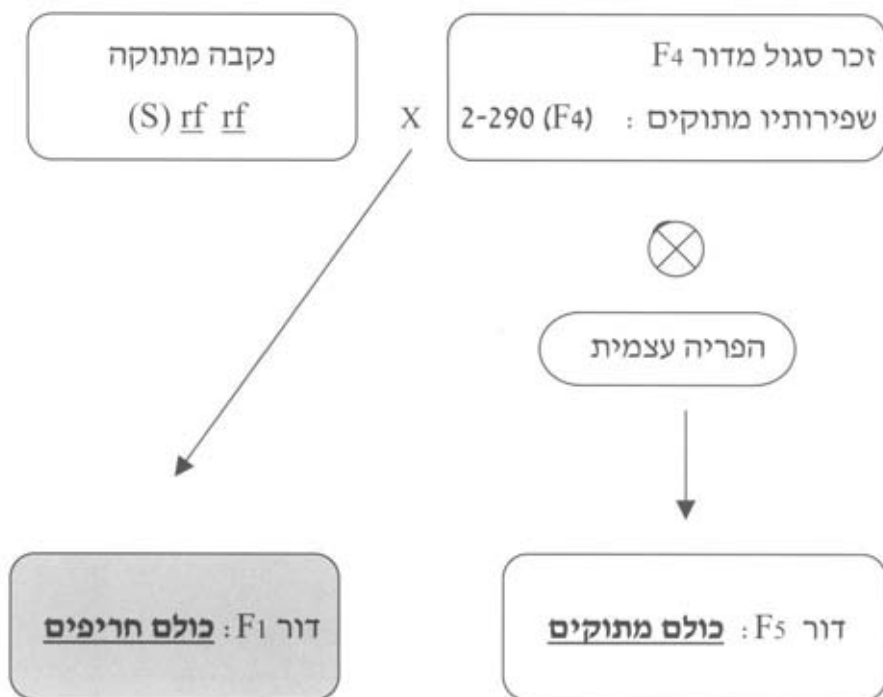


על פי מחשבה זו אפשר שההורים המתוקים שאיתם עבדנו הינם מטיפוס AAbb וכן aaBB ושני הגנים הדומיננטים A ו-B היו בהורה המקורי, החריף והסגול, כ-AABB. הצעה גנטית זו נבדקה בהכלאות בין המתוקים מדור F₃ לאם המתוקה rf rf (S), וכן בהכלאות בין מתוקים השונים במוצאם ושאיתם סגולים, עם אותה אם מתוקה.

החריפות ממשיכה להפגיע

מתוך השושלות הסגולות – מתוקות שקבלנו בדור F₂, המשכנו בדורות של סלקציה, כמקובל, לשם היצוב (הומוזיגוטיות) של תכונת המתקות. מתוך 17 צמחי דור F₄ שפירותיהם נמצאו מתוקים נבדקו צאצאיהם. התברר שרק שתי שושלות מתוך ה-17 המשיכו לתת צאצאים מתוקים. כל השאר, 15 שושלות מתוקות, נתנו בדור ה-F₅ צאצאים חריפים!

בהכלאה הבאה נציג איפוא תמונה כוללת של ה"אנומליה" שמתארת את מצב הידע שהצטבר מהחומר הגנטי שלנו.



לפנינו איפוא צמחים סגולים ויציבים, כהומוזיגוטים לתכונת המתיקות, אשר נותנים צאצאים חריפים בהכלאה עם אם מתוקה. תוצאה זו מחזירה אותנו אל ההנחה שהוזכרה כאן, לפיה גנים דומיננטים משלימים, המצויים באופן נפרד בהורים המתוקים השונים, מתאחדים בبن הכלאיים ומובילים לביטוי החריפות. לעומת מצב "סבוך" זה, הנובע מההורים **הסגולים** עתירי האנתוציאן, מצאנו כי:

א. הכלאות בין שושלות מתוקות וירוקות פרי לבין אותה אם rf rf (S) מתוקה נתנו צאצאים מתוקים בלבד.

ב. בדומה, הכלאה בין אותה אם מתוקה לבין זן סגול עתיר אנתוציאן ומתוק (וממקור שונה מההכלאות שתוארו כאן), נתנה צאצאים מתוקים בלבד. הורה סגול ומתוק זה חסר, כפי הנראה, את הגנים המשלימים ליצירת החריפות, גנים שנוכחותם הוצעה בהכלאות הקודמות.

השפעת הסביבה על דרגת החריפות

במדינת נירמקסיקו, היצרנית העיקרית של פלפל חריף בארה"ב, נעשה ניסוי ללמוד את השפעת הסביבה על דרגת החריפות. השתמשו בזן חריף שמקורו מצמח הפלואידי (בעל מחצית מספר הכרומוזומים) אשר ע"י הפיכתו לדיפלואידי (צמח נורמלי) נהיה הומוזיגוט בכל הגנים. זן הומוזיגוטי זה, בו קיימת זהות גנטית לכל הצמחים, נשתל במספר חלקות, בחזרות מתאימות ובמספר אזורי גידול שונים. בדיקת החריפות בצמחים שונים שגדלו באותה חלקה הראתה הבדלים בין 2,264 ל-9,452 יחידות חריפות (scoville) לצמח. היות ושוונות זו בחריפות הינה כולה פרי השפעת הסביבה, שואפים משביחי הזנים ליצור חומר גנטי יציב, שיחסי הגומלין שלו עם הסביבה נמוכים ככל האפשר, ובפרט כאשר עובדים עם תכונת החריפות. לאור זאת, יתכן כי בחומר הגנטי שלנו, אותו הגדרנו כהומוזיגוט מתוק, היתה לסביבת הגידול השפעה בולטת, שהסתירה את חריפותו הגנטית (תורשתיות נמוכה לעוצמת החריפות).

מקור נוסף למבוכה – Xenia

זה שנים טוענים מגדלי פלפל, כמו גם מספר מדענים, כי צמחי פלפל מתוק הגדלים בסמוך לצמחי פלפל חריף, חלק מפירותיהם נעשים חריפים בעקבות אבקה מהצמחים החריפים המגיעה אל פרחי הצמחים המתוקים. תופעה זו, המכונה Xenia, מבטאת השפעה ישירה של גנוטיפ (ההרכב הגנטי) גרגר האבקה על פנוטיפ הרקמה האימהית, ובמקרה הנוכחי על רקמת השחלה שמתפתחת לפרי. אם קיימת בפלפל תופעה כזאת, היא מתבטאת ברקמת הפרי של דור ההורים. בכדי לבדוק אפשרות זו הכלאנו מספר זנים חריפים עם צמחי אם מתוקים, ולא מצאנו חריפות בפירות צמחי האם, מה ששלל את רעיון ה-Xenia. ואולם, מאחר ומגוון הצרופים חריף x מתוק היה מוגבל יחסית, אין אנו דוחים לחלוטין קיומה בפלפל של אפשרות כזאת.