

תפקידן של מלכודות מולקולריות בהתגוננות צמחים

פרופ' רוברט פלור

הרצאה מיום 15.12.2010

צהריים טובים לכולם. הבקשה הרגילה שלנו לכבות פלאפונים. ברוכים הבאים. אני מאוד מודה לפרופ' רוברט פלור מהמחלקה למדעי הצמח שירצה לנו על מלכודות מולקולריות בצמחים, ובטח תהיתם בפוסטר כשהודענו על ההרצאה מה הקשר בין העלה הירוק הנחמד למלכודת עכברים, אז כאן הסקרנות משתלמת ופרופ' פלור ישמח לענות על שאלות לקראת סיום – לא לברוח, כל מי שיש לו שאלה – יענה.

צהריים טובים. אני כבר כמה זמן, שלושים שנה, מתנצל שאני עולה חדש ופה ושם עם שגיאות בעברית, ואני מקווה שמה שהקלדנית מקלידה שתוך כדי יצא מזה איכשהו. מה שאני רוצה לעשות בהרצאה הזאת, בפורום כזה מכובד, הוא לנסות להסביר לכם איך אנחנו כבילוגים רואים את הצמח מגיב לסביבה עוינת. חרקים, חיידקים, מיני מזיקים מסתכלים על צמחים כמזון. הם אויבים ואנו צריכים להתמודד עם זה. הרקע להתעניינות שלנו בעצם בא על הצורך שלנו לאכול צמחים. לפני מספר שנים הייתה מהפכה ירוקה ובעצם אנחנו היום חייבים להבטיח את המשך האספקה המתמדת של המזון. כאן יש תמונה של קציר שנעשה על ידי ואן גוך לפני למעלה ממאה שנה. זו תמונה יפה אך יש כאן מוטיב שצד את עיני וזה היחס בין הגובה של החיטה לבין האיש שעושה קציר. אנו רואים שבעצם החיטה מאוד גבוהה. היום החיטה לא מגיעה לגובה כזה והחלק הזה של הגובה משתלב עם המהפכה הירוקה כי זה הגובה. רואים בתמונה אישה גבוהה. רק החיטה התקצרה. זה בעצם המהות של המהפכה הירוקה. נורמן בורלוג קיבל פרס נובל ב-1970. אגרונום שהצליח להבין שעל מנת לקבל אספקה יותר טובה אפשר בעצם לוותר על חלק גדול מהחלק הירוק ולא לעבד את הזרעים במידה, ואז ... בתוספת חומרי דישון ומים ומפנקים את הצמחים. התוצאה הזאת הכפילה, השלישה את כמות הארגונים העולמית, במיוחד בהודו. אין ספק שאנחנו יכולים לדבר היום בידיעה שהמזון הוא לא בעייתי בגלל המהפכה הירוקה. הבעיה היא שלא היה ניתן לעשות את זה פעם נוספת. ... כמובן אנחנו יודעים שיש עליה בכמות האוכלוסייה. כמות האדמה שניתנת היום היא כמו ב-1960. למעשה זה לא משתנה. אפשר להוריד עוד יערות עד ירוקים אבל בעצם לא רצוי בגלל איזון אקולוגי קיים. לרשותנו לא תהיה תוספת של מקום. אז איך בכל זאת ניתן לתת תשובה לאוכלוסיה הגדלה, שאולי יהיה צורך בעצם, שוב פעם, בהכפלת כמות המזון תוך 40 שנה. לא נראה כי המהפכה הירוקה יכולה לחזור על עצמה ואנו יודעים כי יש לה מגבלות. יש נקודה מסוימת מאוד חשובה. בעצם חלק ניכר מהמזון שאנו אוכלים היום בעצם שורד. 40 אחוז הולך לאיבוד. יש תחרות בין מזון שאנו מגדלים למזון צמחים כתוצאה ממזיקים לא רצויים. יש פתוגנים, יש חרקים. המעבדה שלנו מטפלת בקטע הזה יותר. מסתמן לנו ממחקרים רבים בעולם כי הכיוון הוא כיצד ניתן לשמור על המזון מלכת לאיבוד. אנחנו מתרכזים עכשיו בקטע על טיפול בצמחים. מחלות – דוגמא לחשיבותן – ראינו שזה חשוב בשקופית הקודמת ובוא ניתן כמה דוגמאות למחלות חדשות ישנות. (מפנה למצגת) כאן רואים תפוח אדמה, קצת קשה להבחין שזה תפוח אדמה. הוא סובל ממחלה. זה ציור מתוך עיתון אנגלי. הם בעצם לא נתנו עזרה לאירים. האירים היו ... כמעט בצורה בלעדית בגידול תפוחי אדמה. כתוצאה מהמחלה הזו היבולים נפגעו כמעט במאה אחוזים והיה רעב גדול שהביא עימו הגירה של אירים, וזה שינה הרבה דברים וגם הביא לשינויים תוך-פוליטיים בתוך אירלנד. היום פתרנו את הבעיה כי למעשה יש זנים עמידים, אך אם נסתכל בעיתון שהתפרסם לפני שנה או שנתיים – יש עכשיו התחדשות של המחלה. פטריות חדשות עמידות נגד הזנים שפיתחו מולם ושוב יש לנו התפרצות חדשה. אז נכון, אנו לא תלויים כמו פעם, ואולי זה טוב, בגידול אחד, אך בכל זאת היבולים האלו שוב בסכנה. אם נגיע לסוגי גידולים שאנו מכירים ומשתמשים בהם הרבה, לדוגמא חיטה בה יש התפרצות של מחלה חדשה. המחלה התפרצה באזור אפריקה ומתפשטת בעולם. (מפנה למצגת) מאוד יפה, אפשר לראות את הצבעים. המחלה הזאת אין לה כרגע עמידות. אין לנו זנים של חיטה שאנו מוצאים שהם עמידים מתוך הטבע, כך שיש לנו שוב באופן מתמיד אתגרים הולכים וגדלים לגבי איך לטפל בגידולים שהולכים לאיבוד כתוצאה ממחלות. כאן נפתח מעט את המושגים שלנו וכיצד אנו בתוך המעבדה מנסים לטפל.

מאחר וזה פורום מכובד ודאי תרצו לדעת באיזה כלים. אז איך צמחים נלחמים במחלות וחרקים? כאן הבאתי שתי דוגמאות מאוד כלליות, מאוד שטחיות. נניח אם יש מחלה או יש התקפה של חרקים שאוכלים צמחים. כן, ראינו שחמש עשרה אחוז מהצמחים ... כתוצאה מזה. יש כבר בתוך הצמח, ואנחנו קצת נכנס לזה בהמשך, איזושהו מנגנון שמרגיש. אין לו מערכת עצבים, אך יודע כשיש מתקפה של חרקים שבאיזושהו מקום חרקים אוכלים את העלים שלו או מוצצים חומר, ואז הוא שולח סיגנל מסויים שמגיע ליתר הצמח וגורם לאיזושהי תגובה. לדוגמא של חלבוניים שעובדים נגד מערכת העיכול של החרקים. הם לוקחים את החומצות אמינו של הצמח עצמו והופכים אותם לחומרים פחות מזינים ומפריעים לאותו יחס בין מה שהחרק ציפה לקבל מהצמח. לגבי מחלות פטריות או חיידקים, יש עוד תגובה של הצמח שנקראת תגובת יתר שהיא תגובה בעצם של מוות תאית מקומית. (מפנה למצגת) מה שנראה לכם כאן כמשהו נורא – זה כביכול עלה בריא וזה עלה חולה, נהפוך. מבחינת אנשים שעובדים בשטח זה עלה שהוא ... יש כאן מוות תאית מקומית שמונע התפשטות של המחלה ליתר חלקי הצמח. כאן משמאל העלה הזה יתכן שהוא חולה ולכן המחלה תתפשט ותגרום בסופו של דבר למוות לכל הצמח. את הדרך הזאת של העמידות אנחנו לא מכירים בבני אדם. תגובת יתר בבני אדם יכולה לגרום רק לצרות. בצמחים זה לא נורא. קצת נכנס לתוך הנושא הזה ונשאל את עצמנו איך אנחנו מגלים גנים בצמח. אמרתי לכם שיש גנים בצמחים שתפקידם להלחם. הצמחים לא חיכו לבני אדם על מנת להראות עמידות מול סביבה עוינת. כמובן שהם כבר מכילים את הדברים האלו ואנחנו יכולים או לרססם בחומרים מלאכותיים או להסתמך על יכולות פנימיות שלהם. בהרצאה הזאת אנו נדבר על היכולות הפנימיות של הצמח. אז איך אנחנו עושים זאת. נעשה חזרה כללית בדקה על מה יש בתוך הצמח. ישנו חומר DNA. הוא משכתב חומר בין החלבונים שבסופו של דבר מכתיבים את תוכנם של הצמחים. יש RNA וחלבון. אני חושב שנתקלתי במושגים האלו בכל ההרצאות ששמעתם בביולוגיה. גם הצמחים מכילים את זה. זה משכתב RNA שעושה חלבון. החלבון הזה יכול להיות אנזימים. יכול להיות אותם חומרים נגד אותם אנזימים שמפריעים למערכת העיכול של החרק שאוכל את הצמח. זה הביולוגיה.

(מפנה למצגת) יש כאן צמח אחד שכל הגנום שלו עבר פענוח. אנחנו יודעים עכשיו את כל, כביכול, את כל הגנים שישנם. אתם בטח תוהים. אמנם מדובר בצמחים פשוטים יחסית, אך כמות הגנים שיש בהם לא נופל מכמות הגנים שיש בבני אדם. בוא נדגים לכם את זה. הלכתי עכשיו לשכתוב המילולי של גן. כאן רואים את אחד הכרומוזומים של הצמח שכל הגנום שלו עבר שכתוב. שימו לב כאן למטה כתוב שיש 584 דפים וזה רק כרומוזום אחד. מה זה הדפים האלו? אני יכול כל ההרצאה רק לגולל למטה. כל המילים האלו הם ... שונים וכל חלבון כזה יכול להכתיב תכונות שונות של הצמח, ועלינו לגלות את אותם תכונות שחשובות. זה מה שאני מנסה להסביר לכם. גנום של צמח לא פחות מסובך מגנום של בן אדם. אולי זה לא מפריע אבל זה כך מאחד ולא ניתן לברוח מבעיות, חובה לטפל בהם במקום. התגובות האלו מבחינה גנטית בתוך הגנום הן מורכבות. איך לגלות מה עושה כל גן. היום, וזו רק שיטה אחת מתוך הרבה, אך בשביל שיהיה לכם מושג – אפשר לקחת את הרצף של ה-DNA, להדביק רצפים קטנים, חלקים ממנו על איזושהו סלייד אחר, משהו קטן. כל דבר כאן בעצם מכיל בתוכו DNA מסויים שמאפיין את הגן הזה שאנו לא יודעים מה הוא עושה. אנו צריכים לגלות מה הוא עושה בעזרת הדבר הזה. על הסלייד הזה צריך לשים 30 – 40 אלף נקודות כאלה. היום ניתן לקנות חלק מהדברים האלו באופן מסחרי. כאשר סיימנו לעשות את זה אנו לוקחים נניח עלים שטופלו לעומת כאלה שלא טופלו ובצורה כימית ... אותם ביחד. אחרי שבעצם מגיע החומר מצמח מטופל ללא מטופל נוצרת תגובה עם הסלייד שמכיל את הגנום. ... מורכב מכימיה מסויימת שיודעת לחפש את החברים שלה. לכן אם הגן הזה דומה לחלק הזה של ה-RNA שיצא מהעלים – אנו יכולים אז לדעת שהוא ידבק כאן. ובעצם אם זה השתנה, וזה לא השתנה, נוכל לדעת בעצם את כמות ה-RNA שנוצר כאן לעומת כמות ה-RNA לאותו גן שנוצר כאן. אני אדגים את זה בצורה נוספת. (מפנה למצגת) יש כאן צמח עם מוצצים והצמח מגיב. אנו רוצים לדעת אילו גנים מגיבים. זה הסלייד, הגדלה של הסלייד. יש כאן נקודות DNA וכאשר אנו לוקחים את ה-RNA המסומן הזה אנחנו רואים שכאן יש אכילה ו-כאן מבדדים את התגובה הכלל צמצית, ואנו רואים שבעצם אחרי הניסוי הזה כל נקודה ונקודה מקבלת איזושהו צבע שונה. זה בעצם צבע שאנו עושים בהתאם לכימיה שעשינו כדי לטפל ב-RNA. כאשר אנו יודעים מראש: הצמח האדום אומר שנוצר יותר RNA לפני האכילה מאשר אחרי האכילה. אני מקווה שזה קצת ממחיש לכם. בעצם מה ההיפותזה כאן? אמרנו כך, אנו מאמינים שהצמח מגיב לסביבה, לחרקים, למחלות. אנו חושבים שאם RNA מגיב כתוצאה מאינטראקציה עם הפתוגן או הסביבה, אם יעלה, נוכל לדעת שזיהינו את הגן. זה כמובן לא אומר לנו מה הגן עושה או תפקידו אבל זה התחלה. בוא נניח אנו רוצים לפענח האם יש לו תפקיד שהוא חשוב לגבי זה ... נתנו לחרק לאכול. עכשיו כתוצאה מהעליה כאן, את הגן הזה הספציפי שאנו לא יודעים עליו ועל חשיבותו דבר, אנו

מעבירים את הגן לצמח אחר. עושים יותר מהגן הזה. לוקחים את הגן הזה ומעבירים את זה לצמח חדש. איך עושים את זה? קודם כל, זה רק המחשה. קיים מכשיר כזה שעובד כמעט אותו דבר. פה יש תחמיש ריק שמייצר גזים. פה שמים את ה-DNA. זאת אומרת, השאלה שלנו לגבי עמידות. אנו קצת מטפלים בו כדי שהוא יתבטא בצורה רחבה יותר בצמח כך שאם הוא קשור לנושא העמידות החרק שיאכל אותו יפגע אם הוא קשור לעמידות. הדרך הטכנית לעשות את זה, שוב, עם גזים מעיפים את ה-DNA שקשור לאיזושהו גרגיר.. כבד לתוך המצע הזה שמכיל תאים או רקמות של העלים שאנו רוצים לעשות להם טרנספורמציה. כתוצאה מכך אנו מחכים קצת בצורה של... רקמה לוקחים את אותם חתיכות עלים, ואחרי זמן מה נוכל לקבל צמח שמכיל את הגן שהעברנו לו. גן חדש שטיפלנו בו קצת. זה מאוד טכני אבל זו הדרך בה נוכל לבדוק האם הגן הזה קשור לאותו דבר. יש הרבה גנים, כולם דומים. זה הדרך לפתח את זה. התוצאה כאן נניח היא אכילה של עלה עגבניה ע"י חרק מסויים. (מפנה למצגת) זה מה שנשאר מהעלה. כאשר משתמשים בצמח שמכיל חומרי הדברה, קצת דיברתי קודם על שקף שהיה כתוב בו על חלבון שמעכב פרוטאזות. אם אנחנו נגביר את כמות החלבון באופן סיסטמטי בעלה הזה, כל הזמן אנו יודעים שהחרק הזה לא מתפתח. הוא מתפתח יותר לאט ואוכל קצת אבל לא בצורה כזו. תפקיד הגן הזה להעניק עמידות. אגב, זה גן טבעי שנמצא בצמח. תפוא"א מכיל הרבה... יש לו מנגנון פנימי שבו הוא לא נגיש כל כך לחרקים. למה אנו לא כל כך מרגישים את זה? אנחנו כן מרגישים. אם תנסו פעם לאכול תפוא"א לא מבושל זה יעשה לכם כאב בטן. בישול תפוח אדמה הופך את אותו חלבון לחומר שניתן לעכל ולחומר שבעצם הופך להיות חלבון מזין, אבל לפני עוד כן זה מזיק לחרק. לכן אנחנו ככה עומדים על תפקיד החלבון בלהעניק עמידות. הכל יפה; אפשר לצאת לשוק, אפשר לעשות פטנטים, אפשר לעבוד עם ידע אך זה לא פשוט כך והעולם יותר מורכב מזה. חלק ממטרת ההרצאה זה להראות את המורכבות. אם אנו לוקחים צמח כזה רגיל ומשווים אותו לצמח שעשו לו טרנספורמציה בו מגבירים את כמות הגן שנותן עמידות אנו רואים שהיעילות של הצמח הזה נפגע; יותר עמיד ולא יאכל ע"י צמחים אך גם יתן הרבה פחות יכול. לכן אנו צריכים להיות הרבה יותר מתוחכמים בדרך אותה אנו מפתחים. הנושא הזה יחזור כל הזמן. הרצון שלנו לשפר צמחים. את בני האדם לעומת הצמחים אנו רוצים לרפא. אנו יודעים שכמעט כל ריפוי או תרופה שניתן יהיו לה תופעות לוואי שליליות. זה נסבל כי העיקר להיות בריא. בצמחים זה לא נסבל כי בצמחים מאוד חשוב שזה לא יקרה כי בסופו של דבר היכול הוא מה שאנחנו צריכים. נתחיל להבין קצת יותר איך הצמח עושה fine tuning. איך בדיוק הוא משנה את היכולת של עמידות הגנים לכדי צורתם הנכונה. נכנס לדוגמא מסויימת ונגלוש קצת בפנים. אתם זוכרים את התמונה הזאת. צמח אחר, חרק, ..., כאן רואים שנוצרת תגובה בצמח. זהו חומר צמחי שאחראי על הסיגנל של הגנום הצמחי – לנפק את הידע שעכשיו צריך לעשות את הסינתזה. על מנת להבין איך להגן על הצמח יותר טוב או איך הוא מגן על עצמו אנו צריכים להבין את המסלול הזה טיפה יותר טוב. איך לווסת... על המוצא הסופי שבעצם עושה את הטיפול. (מפנה למצגת) אם ניקח לדוגמא מודל מאוד פשוט של אכילה של חרקים. החרק אוכל וכתוצאה מכך ישנם סיגנלים. האכילה ההתחלתית בסדר, אך אחרי מספר שעות/ימים העלים האלו יכולו חומרים. זאת אומרת יש כאן מערכת שהיא בעצם נוצרת יש מאין כתוצאה מהאכילה. זה הרבה יותר בריא לצמח וליבולים. שני דברים שצריך לזכור: אנו מדברים על חומר ליפיד שנובר דרך חומרים כימיים. האדום הזה מזהה אנזימים שאחראים על היצירה הזאת. אלה עוזרים לצמח לייצר את החומרים האלו. אז עכשיו בואו נמשיך וננסה לחקור, כאשר בואו נסתכל על אנשים שעבדו בתחום. עיקר העבודה נעשתה ע"י יהודית שנמצאת פה. אבישי מור התחיל עם זה. אחד הדברים שיהודית שאלה היה כך: דברנו על גנים שעובדים לטווח ארוך, אבל אם נסתכל על גנים שנוצרים ממש בדקות הראשונות של האכילה, אולי שם טמון סוד חדש של גנים שקובעים את מהלך הביטוי. זה מה שהיא עשתה. היא הסתכלה על גנים מאוד... לדוגמא בצמח אחרי אכילה... כאשר כאן פוגעים וכאן מעודדים. אנחנו יכולים לראות שתוך 5 – 10 דק' יש לנו כבר תגובה מבחינת שעתוק של הגן. זה מאוד מרשים. בתוך 5 דקות מרגע שהחרק מתחיל לאכול לא רואים כלום. תוך 5 דק' נראית תגובה בצד הזה. משהו קורה, הצמח לא אומר כואב לי אך הוא מגיב לתקיפה. מה קורה שם בדקות הראשונות. על מנת להבין אם... באותה שיטה שאפשר לראות גנים שהם מידיים, ובעצם על מנת לבדוק תפקיד של גן ישנה עוד שיטת בדיקה. כאן אנו רואים את הגן האקטיבי. (מפנה למצגת) אפשר ליצור מבודד גן שאינו אקטיבי, שאינו מכיל את הגן הזה. כאשר אנו שמים כאן חתיכת DNA סתמי שמפריע לפעילות הגן. אם ניקח צמח, אותו צמח שבו כל 55 אלף הגנים אותו דבר והנה על ידו ניקח צמח שכל הגנים אותו דבר, אך 34.999, אחד מהם שונה. כך ניתן לזהות את התפקיד של הגן. יהודית עשתה את זה וכאשר היא בדקה אותם היא ראתה משהו מאוד חשוב. לא מפתיע אך מאוד חשוב לגבי ההמשך. שכאשר בודקים את הגן, (מפנה למצגת) זה מספר גנים כאן, היא ראתה שהמוטנט, כאן בצבע סגול - זה הצמח הרגיל, מגיב פחות בכל הגנים הקשורים לחומצה. זה בדיוק

מה שאנו רוצים. גן שאיכשהו משפיע. זה לא שהם לא מגיבים בכלל, הם מגיבים קצת נמוך יותר. זאת אומרת, כן לווסת. אני מסביר איך אנו יודעים מה הוא עושה. גב' דינה ונעם לווינתן אמרו במעבדה – איך נוכל לדעת מה הגן בדיוק עושה? בוא ניקח את כל התגובות של הגנים ונשווה אותם לכל אותם מוטנטים אחרים שיש לנו במעבדה או בעולם ונראה למי הוא הכי קרוב. זו שיטה סטטיסטית מאוד חזקה שמאפשרת בעצם להשוות בין מוטנטים שונים. (מפנה למצגת) לשמחתנו בדיוק יצא שהגן הזה, הפעילות שלו הכי דומה למוטנט שיש במעבדה בשם 3OPR. זה אחד הגנים ... זאת אומרת הגן TLW עובר מסלול מסויים שחשוב לגבי החומצה הנ"ל. זה סוג הדברים שמעניינים אותנו. על מנת לדעת איך הוא עובד ומה הוא עושה יש עוד טריק טכנולוגי שנקרא מערכת שמרים. במקום לבדוק עם מי הגן מתקשר עושים את זה בצורה פשוטה יותר כמו עם שמן. לשמן הזה קושרים את כל הפוטנציאל החלבוני שיש בתוך הצמח לתוך איזו מערכת ... יחסית פשוטה. אנו צריכים לדעת כאן האם החלבון הזה מתייחס או מתחבר לחלבון הזה. במידה והם עובדים ביחד נקבל צבע כחול. זה טריק נהדר שנעשה ע"י אולגה בתוך המעבדה ומה שמצאנו בעצם שהוא מתבטא ומתקשר ל- KAT2. אותו KAT2 זה אחד האנזימים ב... של החומצה הנ"ל. ה... משפיע על האינטרקציה עם אחד האנזימים שמייצרים את החומצה. זה נותן לנו כאן אפשרות להבין את האינטרקציה ואיך הדברים האלו עובדים ומאפשרים לנו להתערב בצורה יותר חכמה במה שקורה בצמח. מה זאת אומרת. חרק אוכל, נוצרים TLW בצורה מיידידת שנותן איזשהו boost turbo לעבודה של KAT2 ואחר כך מייצר באופן סיסטמי תגובה מאוד מהירה. ויסות שלו יכול להשפיע. כאן ביטאתי את זה בצורה מרחבית, את מה שיכול להיות טוב לצמח. נתתי לכם עד כאן תגובה מסויימת איך הצמח מגיב. יהודית המשיכה לשאול שאלות כדי לראות איך הדברים האלו מורכבים ואמרה: טוב, אנו עשינו פגיעות/מחלה/פציעה ובעצם מה שמצאנו הוא שמספיק אם אתה נוגע בצמח. לא צריך להרוס אותו ולאכול אותו. מספיק שאתה פוגע בצמח, נוגע בו, מלטף אותו – נוצרת איזשהו תגובה. ה- TLW הזה שיש לו איזה תגובה עם אותו גן נוצר אפילו מנגיעה. כאן איך אנו מרגישים את זה? (מפנה למצגת) זה צמח ... רגיל, זה אחד שלא מכיל את ... של החומצה הנ"ל וזה אחד שכן. עכשיו אנחנו מלטפים אותו. האם הצמחים אוהבים את זה? כנראה שלא, הם גדלים הרבה יותר קטן, יותר חזקים אבל יותר קטנים. גם מול הרוח הצמח צריך להיות חזק. הצמח הזה, המוטנט הזה שהוא בעצם מוטנט בחומצה הנ"ל במסלול – הוא פחות מגיב. זה אומר לגבי הפעלת הסיגנל שחשוב הקטנת הגודל. בתמונה למעלה ניתן לראות שאם תתחילו ללטף את הצמח הצמח הזה יגיב יותר, הצמחים המוטנטים יגיבו פחות למגע כי שיבשנו לה את מערכת החומצה הנ"ל. מה זה אומר? זה מסובך. אם נרצה לעבוד בוויסות של המנגנון של מערכת החומצה הנ"ל צריך לקחת בחשבון שזה גם ישפיע על תגובות אחרות של הצמח. רק להדגיש לכם כמה הדברים מסובכים. כאן לדוגמא עץ, איך זה בעברית? עץ ערער? זה עץ שגדל באופן טבעי, כאן עץ שגדל כתוצאה מרוח, כאן עץ שמדגים מניפולציות – בונזאי. הצמח מראה פלסטיות עצומה. זה הויסות, היכולת של אותה מערכת חומצה הנ"ל. לכן הדברים האלו מאוד קשורים אחד לשני. העמידות מול הגדילה מאוד קשורים. יש לנו עוד 5 דקות. נסיים כי רציתי עוד נושא אחד. מחלות – במחלות יש לנו תגובה אחרת. במחלות דיברנו על אכילה ועל מוות תאית מקומית – תגובת יתר, על מנת שהמחלה לא תתפשט. Cell death contributes to disease resistance. הם גם הגיעו לתובנות איפה זה יפה ומסובך כאן. תגובת יתר היא מיידידת וטובה כי כך החיידק לא יגדל. יש לזה משמעות גם לגבי יבול. לא ידעתם את זה אני בטוח אבל זה עלה של חיטה. העלה הכי חשוב נקרא עלה הדגל. עלה הדגל הזה הוא בעצם כשישים, שבעים אחוז מספירת ... הזרעים באה ממנו. הוא העלה שמתפתח בצמוד לזרעים ומילוי הזרעים קשור בזה. אנו יודעים כי בזרעים יש חלבון, חנקן. בתהליך שאנו קוראים לו senescence – בוודאי שמתם לב לתמונה עם העלים והשלכת. למה חשוב לצמח להחזיק עלים אחרי שהעלה הפסיק לעשות פוטוסינתזה. העץ השקיע המון בעלה על מנת שיוכל לעשות פוטוסינתזה. בחורף כשהוא חייב להשליך אותו העץ מנצל את כל המכונות המולקולריות והחומרים השונים והורסת אותם, מעכלת אותם ומשיבה אותם חזרה לתוך הצמח. זה דבר מופלא, לא מבזבזת כלום, יעילה. במקרה הזה של מוות תאית איטית ... צריך להיזהר מתגובת יתר (מוות תאית מקומית). חשוב לעשות אך לעשות בחוכמה. אנחנו יודעים על תגובת יתר. אנו יודעים שקיימת כאן העמדה של בוטניקה. יש כאן תא אחד צמחי, מיטוכונדריות, אין כאן ... יש כאן ואקום בו יש חומר תשמורת ואנזימים שאתה צריך בשביל לעשות כל מיני ... מה קורה בזמן תגובת יתר בזמן שעושים התהליך? העלה מתחיל להתפרק וכל החומרים נשלחים לצמח. תהליך מאוד יפה שחשוב לעמידות ול... נוכל לדעת ממערכות אחרות – כאן אנו רואים מודל חשוב בביווגיה. מה שנמצא שם, תכף אסביר את המילה הזו, שיש איזשהו חלבון שמגן עליהם נגד ... מה קרה כאן? זה מיטוכונדריה חיה. זה גרף. אלו מתות. למה הן מתות? שמו אותן בתוך מים עם קצת מלח ובמים בלי מלח. זה מה שקורה יום יום כל הזמן. אלו מתים. למה הם מתים? בגלל שאין להם את הדבר הזה. מה זה בעצם עושה? מה ההשערה של אותה

מעבדה שעשתה את זה? שבעצם יש איזשהו stress signal במים מלוחים/פחות מלוחים. יש massive lysosomal release of proteases ויש מוות טבעי. ... אמרנו זה נראה לנו מתאים כאן אולי זה גם מתאים לנו. בדקנו את זה כאן בצורה מאוד יסודית. לדוגמא כאשר אנחנו לוקחים צמחים עם ... ושמים עליהם גנים שאינם מבטאים עכשיו סרפינג אנחנו רואים שהעלים מתים בקלות יתר. מראים בצורה מוגזמת את מוות התאית. ... באה למעבדה ובשיתוף פעולה עם חוקר מאוסטרליה הצליחו לקבל מודל תלת מימדי לאיך נראה הסרפין (בלועזית)(אנזים) הזה. החלק כאן מכיל ... זה מקום שנגסו בו. אחרי שנוגסים בו התפקיד של הסרפין זה ללכוד באופן ספציפי מפרקי חלבון. מה זה חשוב או מה הדימוי לכאן? והנה מלכודות (מפנה למצגת). זה מלכודת של עכברים אך בעצם האנזים הזה – הסרפין הזה מהווה מלכודת מסויימת. החלק כאן זה הסרפין. יש כאן את החלק הקפיצי. אנו רואים שה- ... עובר סילוק והרס. זה הסרפין. כאן רואים ... הוא נתפס. כתוצאה מזה שהוא נתפס הסרפין לא מרפה. הוא מותח אותו. זה מראה את המתיחה. תוך כדי מתיחה הוא הורס את יכולת ה-... לכן החלבון הזה מורכב מול ... מסוימות שכל תפקידו הוא אחד – לתקוף ולאתר protease. דרכים להסתכל על ה- protease. זה החלבון שמייצר קומפלקס, זה הסרפין וזה שוב פעם ה- protease שמייצר אותו. נוצר לנו קומפלקס. כיצד אנו יכולים להשתמש בזה? בכל מיני דרכים. לקחנו אותו חלבון ATSERPHIN1, אותו חומר נוגד פרוטאזות, הדבקנו צבע GFP. לקחנו פרוטאז מוות – RD21. צבענו אותו ב-RFP אדום. איך זה נראה? כאן חומר תאי.. אנחנו רואים שהסרפין נמצא בציטופלזמה. הפרוטאז לכוד בתוך איזשהם גופיפים שנקראים ER BODY. זה מוקף סרפין. הממברנה מפרידה ביניהם. יש לנו כאן את הקטלן וכאן את החומר שיכול לנטרל את הקטלן בשתי מסגרות שונות. מה ההיפותזה? כאן יש לנו ממברנה שמפריד בין ... עם הפוטנציאל ההרסני לבין הסרפין ששומר בזמן שהצמח רוצה לעכל את עצמו נכנס לנושא של תגובת יתר. אז תלוי כמה סרפין ופרוטיאז יש. יש פרוטיאז – מוות טבעי. יותר סרפין – הגנה. כאן לקחו חומר שמייצר תגובת יתר. הוא בא מהחלקים האלו של החיידק שהצמח מזהה על מנת לדעת שהוא בהתקפה. אז הוא מזהה חלבון מה... ומייצר תגובת יתר. אם נכונה ההשערה הזאת אנחנו רואים כאן שכשמוסיפים flagellin רואים כאן סימן למוות. רואים שכמות הקומפלקס עולה. הצמח, ה-... בין פרויזת מוות לבין ההגנה ... אפשר לראות כאן הדגמה של הדבר הזה. שוב פעם צבעים שונים. אנו רואים שכשמוסיפים הכל נהרס. יש לנו כאן כלי שוב בשביל לחקור את הנושא הזה של עמידות לצמחים. אני רק משחזר מה שדברנו. התחלנו עם המהפכה הירוקה שהעצימה את נושא הגידולים אך מדברים עכשיו על הדרך הבאה בעתיד שהיא לנסות למנוע אובדן יכול מחרקים/מחלות וכו'. סיפרנו קצת איך אפשר לגלות מה הפונקציות של גנים ולנצל את כל הידע העצום הגנומי שיש לנו. דברנו על כך שבצמחים יש איזון פנטסטי/מופלא בין כל המרכיבים ואתה לא יכול לגעת במרכיב אחד בלי לחשוש שהפרעת לאהר וצריך לקחת בחשבון את הדברים האלו. המשכנו לדבר על איך אנחנו יכולים לווסת את החומר הצמחי בעזרת החומצה הנ"ל. בוא נגיע לסיכום. ראינו עכשיו איך הסרפינים יכולים לווסת את הנושא של תגובת יתר. זה קצת מידע על איך צמחים יכולים להתמודד בסביבה עויינת. תודה רבה לכם על ההקשבה.

האם יש שאלות?

בסדר. כולם תודה רבה.