



חישת עקה בצמחים דרך הגבעול

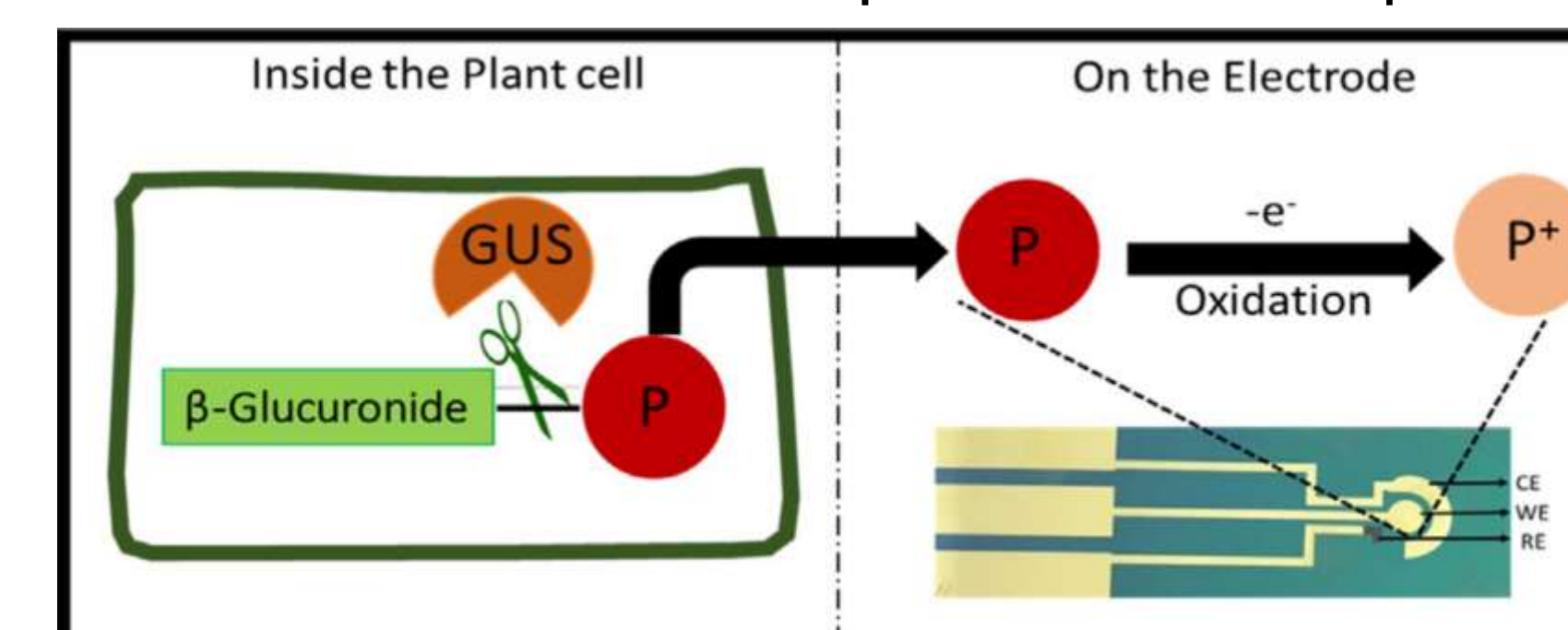
שימוש בתגובה ביו-אלקטרוכימית ובחיישן אלקטרוכימי לחישת מצב הצמח דרך גבעולו

מבוא

בחקלאות, התנאים בשדות ובמטעים נקבעים בכלליות לכל הצמחים, אך לחלק מהצמחים התנאים הללו אינם מתאימים והם נכנסים למצב של עקה. עקה (stress) היא מצב בו לצמח יש מחסור בדבר מה הנחוץ לו כגון מים, מינרלים או אור שמש.

דרך התמודדות מוכרת היא שימוש בחיישנים – מכשירים המשמשים למדידה כמותית של גודל פיזיקלי מסוים. בעזרת החיישנים המתאימים ניתן למדוד מאפיינים בצמח ובקרבתו, וכך לגלות האם הצמח נמצא במצב של עקה. שיטת החישה בה מתמקד המחקר משתמשת בחיישן אלקטרוכימי – חיישן המשמש לניתור תגובה אלקטרוכימית: תגובה כימית שמערבת מעבר מטען חשמלי.

כשצמחים מסוימים נמצאים במצב של עקה, הם מייצרים אנזים בשם GUS. בהזרקת סובסטרט – מולקולה שמגיבה עם האנזים – לבסיס עלה הצמח נוצרת תגובה, וממנה משתחרר תוצר פעיל (P) (איור 1). על מנת לכמת את העקה בצמח, משתמשים בחישה אלקטרוכימית: מפעילים מתח חשמלי בעלה שגורם לתגובה אלקטרוכימית, וזו יוצרת זרם מדיד (איור 1). במחקרים קודמים שיטה זו הוכחה כיעילה להוציא מקרה בו עלה הצמח הנבדק יבש. במקרה זה נמנעת פעולה מיטבית של החיישן, ולכן במחקר זה נבדקה שיטת החישה דרך הגבעול.



איור 1: שלבי שיטת החישה כפי שתוארו במאמרה של Richa Pandey שפורסם ב-Elsevier בשנת 2018.

שאלת המחקר

מחקר זה בחן את השימוש בשיטת חישת העקה המתוארת דרך הגבעול בשני היבטים:

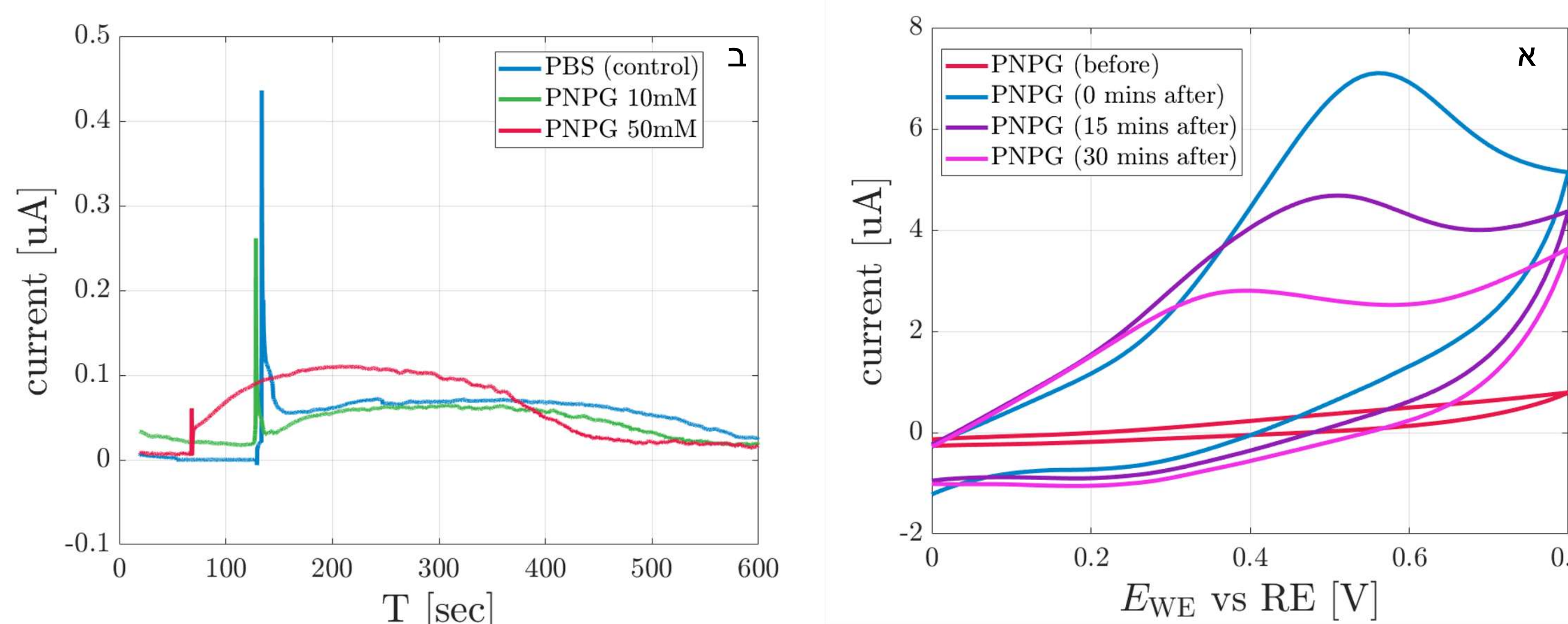
- האם אפשרי להשתמש בגבעול הצמח לחישה כפי שתואר לעיל?
- אם כן, מה עדיף: חישה דרך עלה או גבעול הצמח?

שיטות וחומרים

בכדי לענות על שאלות המחקר נערכו מספר ניסויים, בהם נעשה שימוש בצמחי טבק שהונדסו גנטית לייצור האנזים GUS. לגבעולי צמחים חוברו אלקטרודות לחישה דרכן בוצעו המדידות, ולחלק מהצמחים הוזרק הסובסטרט PNPG, בעוד שלאחרים – קבוצת הבקרה – הוזרק PBS – חומר בעל רמת חומציות זהה. על הצמחים נערכו שני סוגי מדידות: מדידת הזרם החשמלי לאורך זמן לאחר פולס מתח (כרונואמפרומטריה), ומדידת הזרם החשמלי שנוצר עבור מתח משתנה מחזורית (ולטמטריה ציקלית).

תוצאות

על מנת לבדוק האם ניתן להשתמש בגבעול הצמח לחישה, נערכו מדידות כרונואמפרומטריה וולטמטריה ציקלית לאורך זמן. במדידות נבדק הזרם שעובר דרך הגבעול של צמח עבור מתחים שונים, זמנים שונים, ריכוזים שונים, ובהשוואה לזרם דרך גבעולו של צמח הבקרה. התוצאות (איור 2) מראות אפיון של המתח האופטימלי לתגובה האלקטרוכימית בצמח, משך התגובה, זמן לשיא הזרם וזרם שיא לריכוזי סובסטרט שונים.



איור 2: א. תוצאות מדידות וולטמטריה ציקלית עבור סובסטרט בריכוז 50mM ולאורך זמן: לפני הזרקת הסובסטרט (אדום), אחרי הזרקת (כחול), 15 דקות אחרי (סגול) ו-30 דקות אחרי (ורוד). ב. תוצאות מדידות כרונואמפרומטריה במתח 0.6v עבור סובסטרט בריכוז 50mM (אדום), סובסטרט בריכוז 10mM (ירוק) וקבוצת בקרה (כחול).

בהמשך הושו תוצאות מדידות כרונואמפרומטריה: דרך הגבעול ודרך עלה הצמח (טבלה 1).

אזור חישה	שיטת חיבור אלקטרודות לצמח	סובסטרט, כמותו (ml), ריכוזו (mM)			מתח המדידה (v)	משך התגובה (sec)	זמן לתחילת התגובה (sec)	עוצמת זרם מקסימלית ($\frac{\mu A}{cm^2}$)
		PhG	0.1	100				
עלה	קליפס	PhG	0.1	100	0.7	+3000	0	2.8
גבעול	החדרה לחתך	PNPG	~0.3	50	0.6	400	0	36.77

טבלה 1: השוואת תוצאות מדידת כרונואמפרומטריה דרך הגבעול לתוצאות מדידה דרך עלה הצמח כפי שהוצגה במאמרה של Richa Pandey שפורסם ב-Elsevier בשנת 2018, איור 4.

סיכום ומסקנות

מתוצאות הניסויים שנערכו ניתן לענות על שתי שאלות המחקר:

ראשית, אפשר להשתמש בגבעול הצמח לחישה כפי שתואר לעיל. התוצאות מראות, עבור מתח מסוים, עליה חדה בזרם דרך גבעולי צמחים להם הוזרק הסובסטרט – מאפיין של תגובה אלקטרוכימית. בנוסף, מהתוצאות משתקף אפיון החישה דרך הגבעול: משך התגובה, השפעת ריכוזי סובסטרט שונים וכדומה.

שנית, מהשוואת תוצאות מדידות דרך העלה ודרך הגבעול (טבלה 1) מובהרים ההבדלים בין אזורי המדידה השונים. התוצאות מראות כי התגובה בחישה דרך העלה ארוכה בהרבה, בעוד שדרך הגבעול הזרם – עוצמת האות – גבוה יותר. לכן, במקרים מסוימים, דוגמת פעמים בהן יש לבצע מדידות רבות בהפרשי זמן קצרים, חישה דרך הגבעול עדיפה.



חשיבות המחקר

מחקר זה והוכחת אפשרות החישה דרך הגבעול ממשיכים את פיתוח תחום חישת העקה דרך צמחים ומוסיפים לו שיטת חישה נוספת. מטרתו של תחום זה, בסופו של דבר, היא פיתוח אמצעים שיאפשרו חקלאות חכמה יותר וחסכונית יותר, כך גם מחקר זה טורם למטרה זו ומהווה אבן דרך נוספת בדרך אליה.

חשוב לזכור שמדובר רק בהוכחה של אפשרות החישה ויש עוד הרבה מה לחקור על חישה דרך הגבעול. מומלץ להמשיך ולהשוות מדידות דרך הגבעול למדידות דרך העלה שנעשו בתנאים זהים לחלוטין. בנוסף, עדיין לא ידועה השפעת שעת המדידה ביום על תוצאותיה, ועל כן כדאי לערוך ניסויים נוספים בשעות שונות ולכמת אותה.

מתחרים

יעל הלמן

ביה"ס

תיכון הנדסאים הרצליה,

הרצליה

מורה מלווה

מר שלומי כהן

גב' מירית בראשי

מנחה

פרופ' יוסי שחם

מר אקאש זוג,

אוניברסיטת תל אביב

הנחיה מטעם התחרות

מר דותן הלוי

