

תקציר מדעי

במחקר הנוכחי אפיינו את הספים לקוויטציה בעלים של גפן יין ובחנו את ההשערה שבעלי גפן הרגישות לקוויטציה משתנה לאורך העונה. במהלך עונת הניסוי נבחנו שלושה טיפולי השקיה: 1. השקיה ברוויה (כל שעה בעודף מתחילת העונה), 2. תחילת השקיה גרעונית בלבולב, 3. ללא השקיה כלל. במהלך העונה נלקחו מדדים פיזיולוגיים וווגטיביים סטנדרטים כמו שטח עלווה, פוטנציאל מים (Ψ_x), קצב פוטוסינתזה, מוליכות פיוניות, ריכוז האוסמוליטים וכן מדדי יבול. בנוסף, שלוש פעמים במהלך העונה (מאי, יולי וספטמבר) בחנו את ערכי הסף של Ψ_x שיובילו לקוויטציה בעלווה של כרם יין ואת האנטומיה של פטרות העלים. מצאנו שהקוויטציה בעלים מתחילה במאי ב- Ψ_x של -1.35 ± 0.6 MPa ויורדת ל- -1.6 ± 0.3 MPa ביולי ול- -1.9 ± 0.7 MPa בספטמבר. בנוסף, מצאנו שישנה עלייה בריכוז האוסמוליטים בעלה התורמת לאדפטציה של העלווה לפתיחת הפיוניות בפוטנציאל מים נמוך יותר. את ההבדלים ניתן להסביר חלקית ע"י שינויים אנטומיים בפטוטרות. לא מצאנו הבדל ברגישות לקוויטציה בין טיפולי ההשקיה. מהממצאים עולה כי בכרם היין, הגפן מבצעת אדפטציה ליובש במהלך העונה וכל עוד פוטנציאל המים נשמר בטווחים הסטנדרטים (> -1.6 MPa בסוף העונה) אין סכנה של קוויטציה.

דו"ח לתכנית מחקר מספר 20-03-0054

שנת המחקר הראשונה מתוך שנה אחת.

קוויטציה בעצה של גפני יין כערך סף להשקיה גירעונית. האם ומתי היא מתרחשת ומה הן השלכותיה?
ע"י

אורי הוכברג, המכון לקרקע מים וסביבה מנהל המחקר החקלאי, ראשל"צ.

ישי נצר, מו"פ אזורי מזרח, המחלקה להנדסת כימיה, ביוטכנולוגיה וחומרים, אוניברסיטת אריאל.

Uri Hochberg, Institute of Soil, Water, and Environmental Sciences, Rishon Lezion

Hochberg@volcani.agri.gov.il

Yishai Netzer, Department of Chemical engineering, Ariel University Ynetzer@gmail.com

תוכן עניינים

מבוא	3
פירוט עיקרי הניסויים ושיטות המחקר	4
תוצאות	9
דיון	15
רשימת ספרות	18

מבוא

קויטציה היא תופעה בה המוליכות ההידראולית של העצה נפגעת כתוצאה מהיוצרות בועות גז בצינורות העצה. התופעה מתרחשת כאשר פוטנציאל המים בעצה (Ψ_x) יורד מתחת לסף קריטי, השונה בין מינים שונים (Choat et al., 2012). ברוב הגידולים, ובניהם גפן יין, ערכי הסף של פוטנציאל מים קריטי זה עדיין אינם ידועים. חשיפה של הגפן לעקת יובש בכרמי יין גורמת לשיפור באיכות הענבים ולכן השקיה גירעונית הפכה לפרקטיקה מקובלת. עם זאת, אין לנו מידע על ספי Ψ_x שמהם רצוי להישמר ואנו עדים לתופעה של התייבשויות עלים נרחבות עקב השקיה גירעונית מידי, מה שמוביל להתפתחות לקויה ובלתי אחידה בעונות העוקבות. חשוב לציין שההידראוליקה של הצמח היא פלסטית וככל הנראה תלויה בפנולוגיה של הגידול ובגיל העלווה, כמו גם במשטר ההשקיה בעונה הקודמת ובשלבים בהם העצה התמיינה (Munitz et al., 2010).

העבודה הנוכחית התמקדה בבחינת הפלסטיות העונתית של המערכת ההידראולית כפונקציה של תנאי הסביבה ופנולוגית הצמח ובמדידת ערכי הסף והערכת הסכנה לקויטציה בטיפול השקיה שונים במהלך העונה.

*חשוב לציין ששאלות ומטרות המחקר המופיעות להלן זהות להצעה המקורית. היות וההצעה נכתבה לפרויקט של 3 שנים **ומומנה לשנה הראשונה בלבד**, לא כל השאלות נענו ולא כל המטרות מומשו.

שאלת המחקר: מה הם התנאים הסביבתיים והתפתחותיים שיובילו לקוויטציה ברקמת העצה בכרם יין ומה ההשלכות החקלאיות של התופעה? שאלות מחקר פרטניות:

1. מה הם ערכי Ψ_x שיובילו לקוויטציה בעצה?
 2. כיצד ערכי סף אלו משתנים בהתאם להיסטוריה האנטומית והפיסיולוגית ולגיל העלווה?
 3. מה ההשלכות של התפתחות קוויטציות בעצת העלה על הרפרדוקציה והווגטציה של גפני ענבי יין?
- מטרות המחקר:** להבין את הערכים הקריטיים (ערכים שיובילו לקוויטציה הרסנית) בכרם יין כפונקציה של היסטורית ההשקיה ופנולוגית הגידול. לתכלית זו שלוש המטרות הספציפיות הינן:
1. לבדוק את הרגישות לקוויטציה לאורך העונה של שריגים שהתמיינו במשטרי השקיה מגוונים.
 2. להכניס שיפורים בחיישן האופטי כך שיוכל לתפקד בצורה אוטונומית בשדה.
 3. לייבש גפנים לרמות שונות של קוויטציה ולבדוק את ההשפעה על הצימוח והיבול.

היפותזות:

1. אנחנו משערים שערכי Ψ_x שיובילו לקוויטציה בעצה תלויים בפנולוגית הגידול ובהיסטוריית עקת היובש.
2. אנו משערים שקוויטציה בעצה מהווה ערך סף להשקיה שחציה שלו תהיה הרסנית לצימוח וליבול.

פירוט עיקרי הניסויים ושיטות המחקר

מבנה הניסוי:

הכרם ממוקם בעמק שילה (35.1 E, 32.2 N) בגובה של 759 מ' מעל פני הים. הניסוי התבצע בתוך חלקה מסחרית השייכת ל"משק אחיה". החלקה מזן קברנה סוביניון וכיוון השורות הינו צפון מזרח-דרום מערב. צפיפות הנטיעה היא 3 מ' בין השורות, ו-1.5 בין הגפנים כנהוג בנטיעה מסחרית. ההדליה נעשית בשיטת ה-VSP (Vertical Shoot Positioning) המקובלת בכרם יין. ההשקיה התבצעה בטפטוף הטמון בעומק של 10-20 ס"מ, במרחק של 0.75 מ' בין טפטפות, בספיקה של 2.3 ליטר/שעה. מי ההשקיה הינם מים שפירים בתוספת דשן נוזלי מורכב 3-6-12 הניתן בריכוז של 0.1%. בכרם התנהל ניסוי מדען (6 שנים) של השקיה גרעונית, בו נבחנה סוגיית מועד תחילת ההשקיה, ע"פ סיפים שונים של פוטנציאל מים. במסגרת הניסוי התמקדנו בשלושה טיפולים: השקית הרוויה-ליזימטרים (SI), השקיה גרעונית מתחילת הבלבול (DI) וללא השקיה כלל (NI). טיפול הליזימטרים נפסק באמצע העונה בגלל פגיעה ממחלת הכשותית.

טיפול ההשקיה הרוויה בוצע בתוך מערך של שישה ליזימטרים, כאשר כל גפן משמשת כחזרה. כל שאר הטיפולים סודרו במתכונת של בלוקים באקראי בארבע חזרות לכל טיפול, כאשר חזרה מורכבת מ-12 גפנים עם שלוש גפני מדידה (איור 1) ע"פ המתכונת שהוצעה במאמר (Van Es et al., 2007). שורת המדידה מוקמה בין שתי שורות גבול שקיבלו את אותו הטיפול. ההשקיה בליזימטרים התבצעה פעם בשעה, לעומת טיפול ההשקיה הגרעונית (DI) בו התבצעה השקיה שבועית על בסיס ממצאי המודל שפותח (נצר וחובריו 2012, שראל מוניץ עבודת גמר). את הטיפול הגרעוני יישמנו כשמקדם ההשקיה השתנה לאורך העונה ע"פ השלבים הפנולוגיים, כחלק מתפיסת השקיה גרעונית מווסתת (Regulated Deficient Irrigation RDI). בשלב 1 – פריחה עד חנטה, מקדם של 0.5. שלב 2 – חנטה עד בוחל, ושלב 3 – חנטה עד בציר, מקדם של 0.2. דישון משקי וטיפול הגנת הצומח יושמו כמקובל בכרמי ענבי יין. במהלך העונה התבצעו מדידות: רגישות העלים לקוויטציה, שטח עלווה, פוטנציאל מים, קצב פוטוסינתזה, מוליכות פיוניות, ריכוז האוסמוליטים, אנטומיה של הפטוטרות וכן מדדי יבול.

מפת ניסוי כרם יין שילה

	DI	NI		
DI				NI

			NI	DI
NI		DI		
		ליזימטרים		

שם הטיפול	סימון	מועד פתיחת ההשקיה
DI - השקיה גרעונית		לבלוב
NI - ללא השקיה		-
SI - ליזימטרים	ליזימטרים	פעם בשעה

איור מס' 1: מפת ניסוי תחילת ההשקיה כאשר כל ריבוע מסמן חזרה של 12 גפנים.

פוטנציאל מים

במהלך העונה נמדד פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום (Midday Stem Water Potential) אחת לשבוע ופוטנציאל המים בגזע לפנות בוקר (Predawn Stem Water Potential) ארבע פעמים במהלך העונה. מטרת המדידה לפנות בוקר היא למדוד את מצב המים בצמח כאשר יש שיווי משקל עם הקרקע וכך להעריך את פוטנציאל המים בקרקע. מטרת המדידה בצהרים היא למדוד את העץ במצב הקיצוני ביותר של משק המים, המדידה התבצעה בצהרי היום בין השעות 12:00-14:00 מספר שעות לפני שנפתחה ההשקיה (בשעה 19:00). נבחרו העלה הבוגר הצעיר ביותר שבזמורה שהיה שלם ונראה תקין. שעה לפני המדידה כוסו עלי המדידה בכיסוי כפול, בשקית ניילון למניעת אידוי, ובכיסוי אלומיניום ייעודי להקטנת החימום. בצהרי היום נקטף העלה יחד עם השקיות, והפטוטר נחתכה בסקלפל חד בכדי ליצור חתך אחיד. לאחר החיתוך, העלה הוכנס יחד עם שקית הניילון לתוך תא המדידה תוך חצי דקה ומטה מרגע הניתוק מהגפן. על מנת לקצר את משך הזמן בין הניתוק למדידה תאי הלחץ נישאו על גבי מריצות. בשלב המדידה הוזרם גז חנקן לתוך התא, בקצב אחיד. ברגע שנצפתה יציאת מים מהפטוטר על שטח פני הפטוטר, נעצרה הזרמת הגז. המדידה התבצעה באמצעות תא לחץ של חברת "mrc" מדגם ARIMAD 3000 (חולון, ישראל), כשבמהלכה נמדדו בטיפול הליזימטרים כל ששת הגפנים ובשאר הטיפולים נמדדו 3 עלים לחזרה, שהם 12 עלים לטיפול.

אוסמוליטים

לאחר שהעלה נמדד לפוטנציאל מים בצהרי היום, הוא הוכנס למבחנת אפנדורף (1.5 מ"ל) שהוכנסה לתוך מיכל חנקן נוזלי. במעבדה, העלים סוחררו בצנטריפוגה ב-14,000 rpm למשך דקה לצורך הפרדת מוהל העלה. מוהל העלה, נלקח למדידה באוסמומטר (Vapro 5600, Wescor Inc., Logan, UT, USA). באמצעות ריכוז האוסמוליטים שמצאנו, חישבנו את נקודת איבוד הטורגור בעלה, על ידי סימולציה של התרכוזת האוסמוליטים עם הירידה בנפח המים בעלה.

חילוף גזים

במהלך הניסוי נערכו מדידות חילוף גזים לאורך העונה, אלו בוצעו בימי שמש, בשעות הצהריים בטווח השעות 12:00-14:30. לצורך המדידה נבחרו עלים בוגרים ושלמים החשופים לשמש. בכל מדידה בטיפול הליזימטרים נמדדו שני עלים לכל ליזימטר ובשאר הטיפולים נמדדו 3 עלים לחזרה, שהם 12 עלים לטיפול. העלים נמדדו במערכת פוטוסינטטית ניידת מסוג LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, Nebraska USA).

שטח עלווה

מדידת אינדקס שטח עלווה (LAI – Leaf Area Index) לא הרסנית התבצעה אחת לשבועיים על מנת לעקוב אחר התפתחות הנוף וכן לחישוב מנות המים ע"פ האמור לעיל. המדידות נערכו באמצעות מכשיר SUN SCAN (Delta-T Devices, Cambridge UK). המדידה מתבצעת תחת נוף העץ ובסמיכות לקרקע, ומורכבת מ-8 קריאות שנלקחות כל 20 ס"מ. קריאות אלו נקבעות על פי סימונים המצויים על גבי מקל באורך 1.6 מ' שהונח על הקרקע בצמוד ובמאונך לגזע של העץ (איור 2). התוצאה המתקבלת מן המדידה היא ממוצע של שמונת הקריאות תחת העץ, כשהיחידות המתקבלות ממכשיר זה הם מ"ר עלווה למ"ר קרקע. נתון זה מחולק ב-2, מכיוון שערך זה מתייחס לכל השטח הקיים בין שורות הכרם כ-3 מ' ובפועל נמדד רק 1.5 מ'. בטיפול הליזימטרים נמדדו ששת הגפנים ובשאר הטיפולים נמדדו 3 גפנים לחזרה, שהם 12 גפנים לטיפול.



איור מס' 2: מדידת אינדקס שטח עלווה - LAI. מוט הגלאים מוחזק עם כיוון השורה והסרגל המסמן את מיקום המדידה מוצב בניצב לכיוון השורה.

רגישות לקויטציה

שלוש פעמים במהלך העונה (1.9, 1.7, 20.5) הבאנו למעבדה 4 זמורות מכל טיפול. הזמורות יובשו במעבדה תוך כדי מדידת Ψ_x וסריקת עלה בסורק (9000F mark II, Canon) כל 5 דקות עד שהזמורה התייבשה והעלים קמלו לחלוטין. את אירועי הקוויטציה ניתן לראות בגלל הירידה בכמות האור החודר דרך העלה ולכן התכחות בצבע הפיקסלים כאשר מתרחשת קוויטציה. ניתחנו את השינוי בצבע הפיקסלים בין כל שתי תמונות עוקבות לזהות את אירועי הקוויטציה. את הצטברות אירועי הקוויטציה בעלה השוינו ל Ψ_x ויצרנו את עקום הרגישות לקוויטציה של העלה.

אנטומיה של העלים

לאורך העונה דגמנו שלוש פעמים (באותם זמנים כמו הדיגום לרגישות לקוויטציה) שישה עלים מכל טיפול למדידת האנטומיה של העצה בפטוטרת. העלים קובעו ונחתכו במיקרוטום ולאחר מכן נצבעו ב Phloroglucinol-HCL. חתכי רוחב של הפטוטרת צולמו ולאחר מכן נותחו בתוכנת ImageJ. המדדים שנבחנו הם: שטח העלים, קוטר הפטוטרת, קוטר צינורות העצה והיחס בין עובי דופן צינור העצה לבין חלל הצינור - $(t/b)^2$.

קוטר גזע

במהלך הניסוי נמדד קוטר הגזע באמצעות קליבר דיגיטלי תוצרת Metric (דגם 401-111). המדידה בוצעה בגובה של כ-30 ס"מ מעל פני הקרקע, במיקום קבוע. הקליבר הונח אנכית על הגזע ומקביל לפני הקרקע.

המדידה נעשתה פעם בשבועיים במשך העונה. המדידות נעשו על 12 עצים לכל חזרה, שהם 60 עצים לטיפול ועל כל גפני הליזימטרים.

בדיקות יבול, מרכיביו ואיכותו

על מנת לקבל תמונה מלאה על כלל מרכיבי היבול, נשקל היבול ונספרו האשכולות של כל גפן בנפרד (12 גפנים לחזרה, 48 גפנים לטיפול, וכן 6 גפנים לטיפול הליזימטרים). בשבועות שלפני הבציר נדגמו באקראי 100 גרגרים מכל חזרה לצורך בדיקת מדדי הבשלה. בוצעה שקילה של 100 גרגרים, על מנת לקבוע את משקלו הממוצע של הגרגר. האשכולות נסחטו ידנית וסוננו באמצעות בד סינון. בתירוש נבדקו המדדים הבאים: רמת הסוכר (Brix), pH וכמות חומצה כללית (mg/L). מכל חזרה הוכן יין בנפרד על פי פרוטוקול למיקרוויניפיקציה שהוכן על ידי ד"ר שיבי דרורי (סה"כ 20 יינות). ביין נבדקה עוצמת הצבע ורמת הפוליפנולים, על ידי בדיקת עוצמת הבליעה בספקטרופוטומטר (באורכי גל של 520, 420, 280 nm). (620).

תוצאות

שטח עלווה

תחילת העונה מאופיינת בצימוח ווגטיבי מואץ של הגפן, כאשר הטפולים האגרנטים (קיצוצי עלווה וחילונים) נועדו לשפר את חשיפת הפרי לקרינת השמש ולמנוע התפתחות תנאי לחות ולווסת את הצימוח כך שיהיה אחיד.

השינויים בגודל הנוף הושפעו בעיקר מרמת ההשקיה. בתאריך 10/6 בוצע שילוב חוט, ולכן יש ירידה משמעותית במדידה הרביעית. מצאנו שככל שהטיפול הושקה ביותר מים, אינדקס שטח העלווה עלה. בתחילת יוני, אינדקס שטח העלווה היה $1.6 \text{ m}^2/\text{m}^2$ בטיפול הליזימטרים, 1.2 ו-0.9 m^2/m^2 בטיפולי NI ו DI, בהתאמה (איור 3).

פוטנציאל מים בגזע

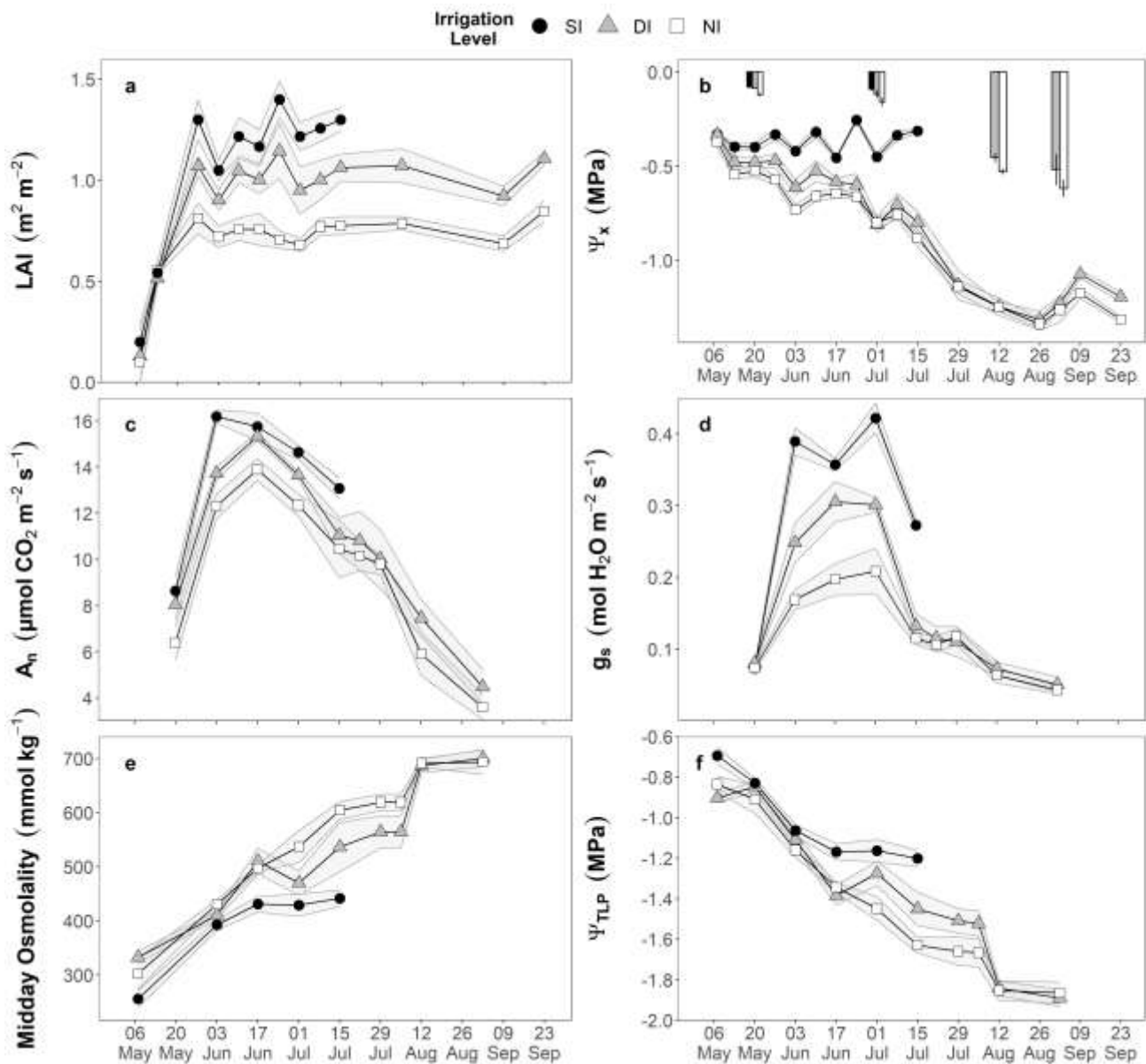
עד יולי, פוטנציאל המים לפנות בוקר היה פחות מ -0.2 MPa עבור כל הטיפולים. מתחילת יולי ועד סוף אוגוסט, מתרחשת ירידה חדה בפוטנציאל המים בצהרים בטיפולי NI ו DI מ -0.8 ל- -1.3 MPa . ירידה זו מבטאת את הירידה בפוטנציאל המים בקרקע, כמו שניתן לראות במדידות שנעשו לפנות בוקר בהם הפוטנציאל ירד ל -0.6 MPa בשני הטיפולים. בשונה מטיפולי NI ו DI, בליזימטרים (SI) פוטנציאל המים בצהריים היה קבוע על -0.4 MPa (איור 3).

אוסמוליטים

ריכוז האוסמוליטים בעלווה של טיפולי NI ו DI עלה במהלך העונה עד 700 mmol kg^{-1} , לעומת טיפול SI בהם הריכוז הגיע עד 420 mmol kg^{-1} . על ידי ריכוז האוסמוליטים חושבה נקודת איבוד הטורגור בעלווה. כך מצאנו כי נקודת איבוד הטורגור יורדת במהלך העונה ל -1.2 MPa ב SI ו -1.9 MPa בטיפולי NI ו DI (איור 3).

קצב קיבוע הפד"ח (פוטוסינתזה) ומוליכות הפיוניות

חילוף הגזים בעלה הלך ועלה עד יולי ומאז ירד עד לסוף העונה. בשיא, מוליכות הפיוניות הייתה $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 0.42, 0.3 ו 0.2 עבור טיפולי הליזימטרים, NI ו DI, בהתאמה. קצב קיבוע הפד"ח הגיע במקסימום ל $16, 15$ ו $13 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ עבור טיפולי הליזימטרים, NI ו DI, בהתאמה (איור 3).



איור מס' 3: המהלך העונתי של ממוצע אינדקס שטח העלוה (a), פוטנציאל המים בצהריים (נקודות) ולפנות בוקר (עמודות) (b), קצב קיבוע הפד"ח (פוטוסינתזה) – A_n (c), מוליכות הפיוניות- G_s (d), ריכוז האוסמוליטים (e), ונקודת איבוד הטורגור (f) עבור שלושת הטיפולים (ליזימטרים-SI-שחור, השקיה גרעונית-DI-אפור, ללא השקיה-NI-לבן). הרקע האפור בהיר מסמן את שגיאת התקן.

רגישות לקויטציה

בתחילת העונה P12 (פוטנציאל המים שגורם ל-12% קויטציה) היה -1.33MPa ב-SI ו-1.55MPa ב-NI. במהלך העונה הרגישות לקויטציה ירדה ב-0.7 MPa עבור P12 ועבור P50 (פוטנציאל המים שגורם ל-50% קויטציה). לא היה הבדל מובהק בין הטיפולים מלבד בתחילת העונה עבור P12, כשטיפול הליזימטרים היה רגיש ב-0.2 MPa באופן מובהק מהטיפול ללא השקיה. מכיוון שבהלך העונה דגמנו את העלה הצעיר הבוגר ביותר, מיקום העלה השתנה במהלך העונה. לכן, בסוף העונה, בנוסף לעלה הצעיר מדדנו שוב את

העלה במיקום של העלה שנמדד בתחילת העונה ומצאנו כי הרגישות של העלה ירדה במהלך העונה באופן דומה (0.7 MPa) (טבלה 1).

אנטומיה

לאורך העונה, שטח העלה וקוטר הפטוטרת ירד באופן מובהק מ-80 ל-25 (סמ"מ) ומ-2.5 ל-1.3 (מ"מ), בהתאמה. גם ממוצע קוטר צינורות העצה ירד במהלך העונה מ-25 ל-16 μm . יש לציין כי בין הטיפולים לא נמצאו הבדלים מובהקים (טבלה 2). לעומת זאת, עובי למלת הביניים היה גבוה בתחילת העונה ירד ביוני ועלה שוב בספטמבר, באופן מובהק המגמה נמצאה בטיפול ללא ההשקיה בו הייתה ירידה מ-474 ל-309 ועלה בחזרה ל-389 ננומטר. בשני הטיפולים האחרים רק הירידה בין מאי ליולי מובהקת.

טבלה מס' 1: השינוי העונתי ברגישות לקוויטציה (12% קוויטציה- P_{12} , 50% קוויטציה- P_{50} ו-88% קוויטציה- P_{88}) עבור שלושת הטיפולים (ליזימטרים-SI, השקיה גרעונית-DI, ללא השקיה-NI). בדיקת המובהקות הסטטיסטית בוצעה על ידי מבחן ANOVA עליו בוצע מבחן posthoc Tukey HSD. בדיקת המובהקות ($\alpha=0.05$) של ההבדל בטיפול לאורך העונה מסומנת באותיות לועזיות גדולות וההבדל בין הטיפולים בתאריך מסוים מסומן באותיות קטנות.

Leaf formation time	Treatment	Sampling time	N	P_{12} (MPa)	P_{50} (MPa)	P_{88} (MPa)
6-May	SI	May	3	-1.33±0.03 ^{Aa}	-1.92±0.09 ^{Aa}	-2.44±0.54 ^{Ab}
	DI		4	-1.5±0.06 ^{Aab}	-1.79±0.05 ^{Aa}	-2.16±0.71 ^{Aa}
	NI		5	-1.55±0.07 ^{Ab}	-1.89±0.02 ^{Aa}	-2.09±0.3 ^{Aa}
17- June	SI	July	4	-1.68±0.07 ^{Ba}	-2.03±0.1 ^{Aa}	-2.35±0.26 ^{Aa}
	DI		4	-1.76±0.03 ^{Bb}	-2.07±0.06 ^{Ba}	-2.56±1.77 ^{ABa}
	NI		4	-1.83±0.03 ^{Bab}	-2.15±0.04 ^{Ba}	-2.65±1.1 ^{Ba}
1-July	SI	August	-	-	-	-
	DI		4	-2.1±0.05 ^{Ca}	-2.53±0.1 ^{Ca}	-2.99±1.5 ^{Ca}
	NI		4	-2.15±0.11 ^{Ca}	-2.6±0.07 ^{Ca}	-3.11±0.96 ^{Ca}
6-May	NI	August	4	-1.82±0.08 ^B	-2.6 ±0.16 ^C	-3.27±0.26 ^C

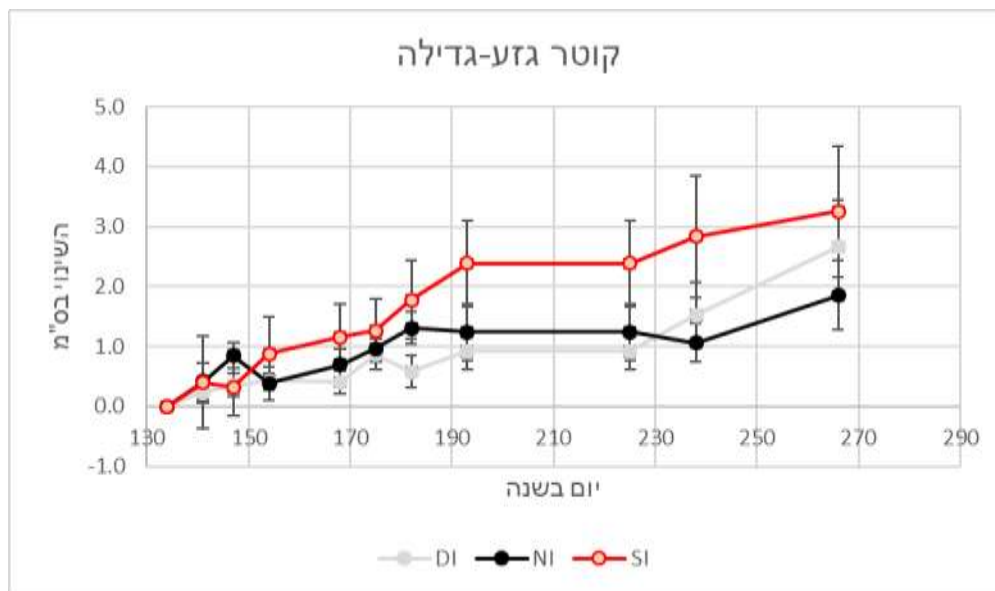
טבלה מס' 2: ממוצע עם שגיאת תקן של מדידות האנטומיה בעלים (שטח העלים, קוטר הפטוטרת, קוטר צינורות העצה והיחס בין עובי דופן צינור העצה לבין חלל הצינור- $(t/b)^2$ ועובי למלת הביניים שבגומץ) שנדגמו במהלך העונה עבור שלושת הטיפולים (ליזימטרים-SI, השקיה גרעונית-DI, ללא השקיה-NI). בדיקת המובהקות הסטטיסטית בוצעה על ידי מבחן ANOVA עליו בוצע מבחן posthoc Tukey HSD. בדיקת המובהקות ($\alpha=0.05$) של ההבדל בטיפול לאורך העונה מסומנת באותיות גדולות וההבדל בין הטיפולים בתאריך מסוים מסומן באותיות קטנות.

Treatment	Date	Leaf Area (cm ²)	Petiole diameter (mm)	Mean Vessel Diameter (µm)	(t/b) ²	Pit membrane thickness (nm)
SI	May	70.59 ± 5.35 ^{Aa}	2.4 ± 0.14	24 ± 0.38 ^{Aa}	0.0029 ± 0.00043 ^{Ba}	725.22 ± 42.37 ^{Aa}
DI		83.76 ± 7.82 ^{Aa}	2.6 ± 0.08	25.89 ± 0.36 ^{Aa}	0.0024 ± 0.00053 ^{Ba}	690.78 ± 26.74 ^{Aa}
NI		83.8 ± 5.06 ^{Aa}	2.3 ± 0.06	23.69 ± 0.34 ^{Aab}	0.0026 ± 0.00032 ^{Ba}	474.07 ± 39.48 ^{Ab}
SI	July	43.84 ± 2.66 ^{Ba}	1.71 ± 0.07	20.3 ± 0.25 ^{Bab}	0.0029 ± 0.0003 ^{Ba}	289.93 ± 18.01 ^{Ba}
DI		55.85 ± 3.69 ^{Ba}	1.73 ± 0.05	20.73 ± 0.29 ^{Bab}	0.0026 ± 0.00031 ^{Ba}	287.42 ± 8.31 ^{Ba}
NI		53.53 ± 3.19 ^{Ba}	1.71 ± 0.05	21.42 ± 0.31 ^{Ba}	0.0024 ± 0.00022 ^{Ba}	309.56 ± 15.33 ^{Ca}
SI	August	-	-	-	-	-
DI		22.58 ± 1.52 ^{Ca}	1.23 ± 0.04	16.83 ± 0.38 ^{Ca}	0.005 ± 0.00034 ^{Aa}	340.26 ± 14.39 ^{Bb}
NI		24.1 ±	1.28 ± 0.03	16.92 ±	0.0043 ±	389.51 ±

1.92 ^{Ca}	0.24 ^{Ca}	0.00051 ^{Aa}	13.24 ^{Ba}
			303.3 ±
			72.6*

קוטר גזע

קוטר הגזע עלה בתחילת העונה עד יולי ומסוף אוגוסט בטיפולים. כאשר בטיפול הליזימטרים קוטר הגזע עלה ב 3.1 ס"מ במהלך העונה, לעומת 2.5 ו 1.9 בטיפולי DI וNI, בהתאמה (איור 4).



איור מס' 4: ממוצע וסטית התקן של גדילת קוטר הגזע במהלך העונה בטיפולים השונים (אדום-ליזימטרים-SI, אפור- השקיה גרעונית-DI, שחור- ללא השקיה-NI).

יבול ומרכיביו

טבלה מס' 3: כמות ואיכות הענבים בניסוי.

טיפול	פתיחת השקיה	מספר אשכולות לגפן	יבול לגפן (kg)	משקל אשכול (g)	יבול (טון לדונם)	Brix	pH	TA (g/l)
השקיה גרעונית	לבלוב	64.0	5.9	92.7	1.31	24.2	3.522	5.325
ללא השקיה	ללא	59.8	4.9	81.8	1.08	24.27	3.59	4.7
ליזימטרים	כל שעה	87.5	7.4	85.9	1.65			

מהתוצאות עולה מגמה (לא מובהקת) של שיפור בגובה היבולים עם העלייה בכמות המים שהגפנים מקבלים. גובה היבול הוא בהתאמה למספר האשכולות לגפן ומשקלם וככל שעולים ברמת ההשקיה עולה מספר האשכולות מ-59.8 במשקל כולל של 5.9 ק"ג בטיפול ללא השקיה ועד 87.5 אשכולות במשקל כולל של 7.4 ק"ג בטיפול הליזימטרים. לכן בסופו של דבר, בטיפול הליזימטרים היבול היה הכי גבוה עם 1.65 טון לדונם, כאשר היבול יורד ל 1.08 טון לדונם בטיפול ללא השקיה (טבלה 3).

פיתוח חיישן

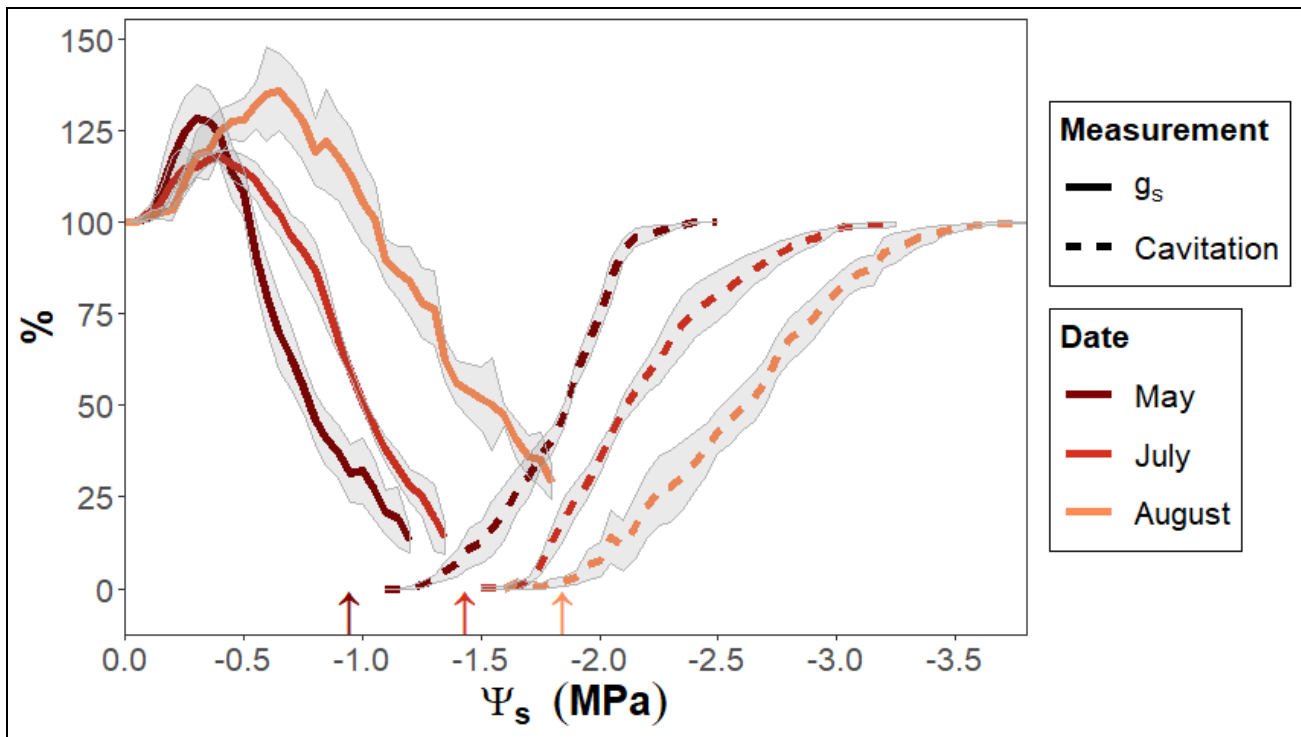
בהתאם למשימה 5 במחקר המוצע, בנינו חיישן המסוגל לזהות קוויטציה בתנאי הכרם. החיישן הורכב ממעבד ומצלמת רספברי פי (Raspberry Pi), עדשה x20, תאורה מסוג LED, ותושבת בהדפסה תלת מימדית. החיישן חובר לשני פאנלים סולארים (12 W) שדרך בקר טעינה חוברו למצבר פריקה עמוקה (80 אמפר לשעה, שנ"פ). המערכת הותקנה בכרם (איור 5) ולאחר כחודש של מגוון תקלות חשמל, המערכת הגיע לתפקוד תקין והראתה יציבות טכנית (צילום ואחסון של תמונות) לאורך שבועיים של ניסוי הקדמי. לא זוהו אירועי קוויטציה במהלך השבועיים.



איור מס' 5: החיישן האופטי ומערכת החשמל בתפקוד בכרם.

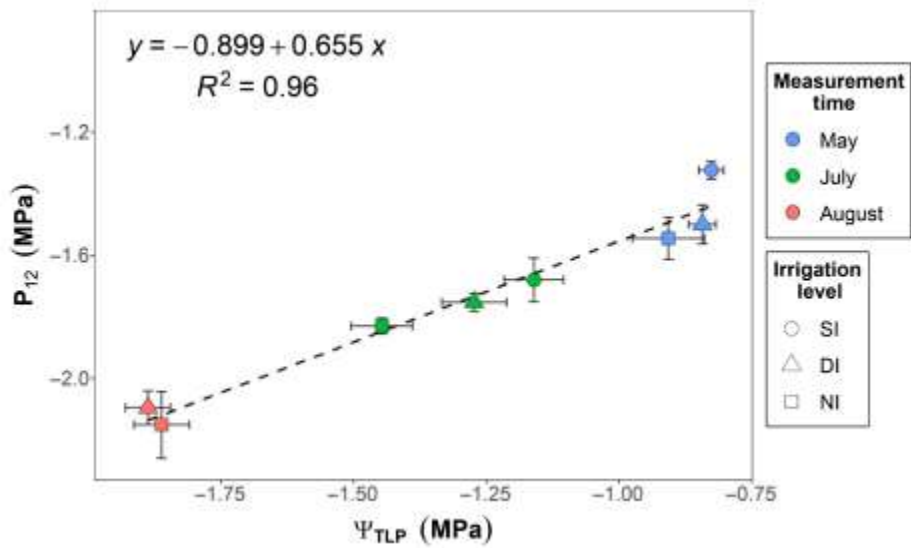
דיון

במחקר זה אפיינו לראשונה את ערכי הסף לקוויטציה עבור גפן יין בישראל, כאשר בתחילת העונה (מאי) ערך הסף (P_{12}) הוא -1.33 MPa - שהולך ועולה עד ספטמבר ל -2.1 MPa. מדד הרגישות לקוויטציה מאפיין את היכולת של העלים לשרוד עקת יובש, כאשר גם רמות נמוכות של קוויטציה בעלה יובילו בסופו של דבר לתמותת העלה ולנשירתו (Hochberg *et al.*, 2017). היכולת של הצמח להימנע מקוויטציה נשלטת על ידי סגירת הפיוניות המצמצמת את איבוד המים ומעקבת את הירידה בפוטנציאל המים של הצמח (Tyree & Zimmermann, 2002). בעבודה זו מצאנו כי עם התקדמות העונה, העלווה של הגפן הייתה פחות רגישה לקוויטציה וגם סגרה את הפיוניות בפוטנציאל מים נמוך יותר (איור 6). כלומר, עם התייבשות הקרקע והתגברות עומס החום במהלך הקיץ הגפן המשיכה לעשות פוטוסינטזה גם בפוטנציאל מים נמוך יותר מבלי להעלות את רמת הסיכון לקוויטציה בעלווה. על ההתאמה בין הרכיבים ההידראוליים השונים לאורך העונה יכולה להעיד הקורלציה הגבוהה בין P_{12} ונקודת איבוד הטורגור (איור 7). הירידה בנקודת איבוד הטורגור במהלך העונה נגרמת בעיקר על ידי העלייה בכמות האוסמוליטים (Bartlett *et al.*, 2014) שמאפשרים טורגור גבוה יותר בפוטנציאל מים נתון. היות וישנו קשר מכני בין הטורגור בעלה ופתיחת הפיוניות (Edwards *et al.*, 1976), התיאום בין הדינמיקה של נקודת איבוד הטורגור וסגירת הפיוניות אינו מפתיע.

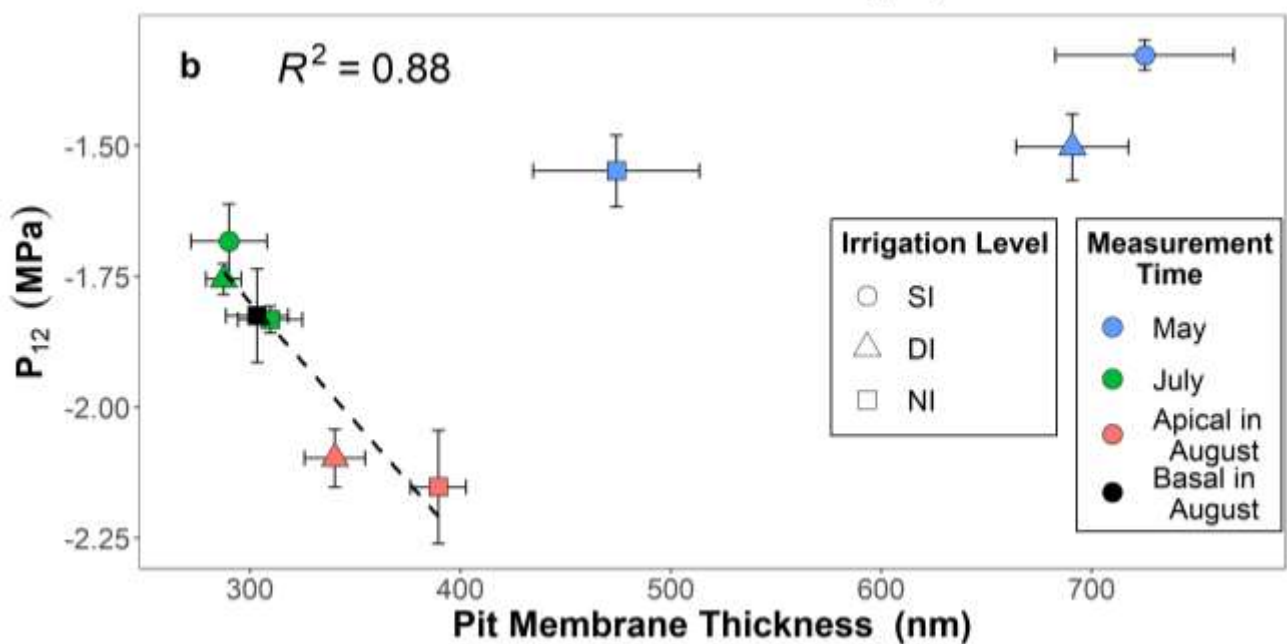


איור מס' 6: אחוז הירידה של מוליכות הפיוניות (g_s , קו רציף) ואחוז הצטברות אירועי הקוויטציה בעלה (קו מקווקו), עם הירידה בפוטנציאל המים בענף המתייבש. המדידה נעשתה שלוש פעמים במהלך העונה, מאי (בורדו), יולי (אדום) ואוגוסט (כתום) בטיפול שלא קיבל השקיה. החצים מתחת, מסמנים את נקודת איבוד הטורגור (Ψ_{TLP}) שנמדדה באותו הזמן בכרם. כל ערך הינו ממוצע של 4 ענפים. שגיאת התקן מסומנת כרקע אפור.

הגורם המרכזי לשינוי ברגישות העצה לקוויטציה הוא המבנה האנטומי של העצה. הסיבה לכך היא האופן בו מתרחשת ומתפשטת הקוויטציה במערכת העצה ("Air-seeding"). התרחשות הקוויטציה נגרמת רק לאחר שהפרש הלחצים בין העצה המוליכה בלחץ שלילי (לפני קוויטציה) לבין עצה עם אויר בלחץ אטמוספירי (אחרי קוויטציה) שצמודה אליה, עובר את סף הרגישות לקוויטציה (Brodersen *et al.*, 2013). לכן, נקודת החיבור בין צינורות העצה (הגומץ) היא נקודת הכשל דרכה מתפשטת הקוויטציה. מקובל כיום כי מאפייני הגומץ ובמיוחד עובי ממברנת הגומץ הם המשפיעים המרכזיים על העמידות של העצה לקוויטציה (Li *et al.*, 2016). גם אנו מצאנו בעבודה זו כי ישנו קשר בין הרגישות לקוויטציה לבין עובי למלת הביניים מאמצע העונה (איור 8). כאשר יש לציין כי העבודה הנוכחית היא העדות הראשונה שמאפייני ממברנת הגומץ יכולים להשתנות במהלך העונה. מכיוון שהעצה מורכבת מתאים מתים, עד היום שיערו שמאפייני העצה אינם דינמיים לאורך העונה. עדויות מהעשור האחרון מעידות שתאים שכנים לתאי העצה יכולים לייצר את הסובסטרטים הנחוצים לבניה של דופן תאי העצה (Barros *et al.*, 2015) גם לאחר מותם וכך לשנות את תפקודה בתנאי יובש.



איור מס' 7: הקשר בין נקודת איבוד הטורגור (Ψ_{TLP}) לבין הרגישות לקוויטציה (P_{12}) שנמדדו במהלך העונה, מאי (כחול), יולי (ירוק) ואוגוסט (אדום) בטיפולים השונים (ליזימטרים-SI, השקיה גרעונית-DI, ללא השקיה-NI).



איור 8: הקשר בין עובי למלת הביניים בגומץ לבין הרגישות לקוויטציה (P_{12}) שנמדדו במהלך העונה, מאי (כחול), יולי (ירוק) ואוגוסט (אדום) בטיפולים השונים (ליזימטרים-SI, השקיה גרעונית-DI, ללא השקיה-NI).

לסיכום, מצאנו שהגפן מבצעת אדפטציה ליובש במהלך העונה. הודות לצבירת אוסמוליטים ושינויים במבנה ממברנת הגומץ הגפן נמנעת מאיבוד טורגור או קוויטציה למרות ירידה לפוטנציאלים נמוכים. כל עוד פוטנציאל המים נשמר בטווחים הסטנדרטים (> -1.6 MPa בסוף העונה) אין סכנה של קוויטציה.

- Barros J, Serk H, Granlund I, Pesquet E. 2015.** The cell biology of lignification in higher plants. *Annals of Botany* **115**: 1053–1074.
- Bartlett MK, Zhang Y, Kreidler N, Sun S, Ardy R, Cao K, Sack L. 2014.** Global analysis of plasticity in turgor loss point, a key drought tolerance trait. *Ecology Letters* **17**: 1580–1590.
- Brodersen CR, Mcelrone AJ, Choat B, Lee EF, Shackel KA, Matthews MA. 2013.** In vivo visualizations of drought-induced embolism spread in vitis vinifera. *Plant Physiology* **161**: 1820–1829.
- Choat B, Jansen S, Brodribb TJ, et al. 2012** Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*. 491:752-755.
- Edwards M, Meidner H, Sheriff DW. 1976.** Direct measurements of turgor pressure potentials of guard cells: II. The mechanical advantage of subsidiary cells, the spannungphase, and the optimum leaf water deficit. *Journal of Experimental Botany* **27**: 163–171.
- Hochberg U, Windt CW, Ponomarenko A, Zhang YJ, Gersony J, Rockwell FE, Holbrook NM. 2017.** Stomatal closure, basal leaf embolism, and shedding protect the hydraulic integrity of grape stems. *Plant Physiology* **174**: 764–775.
- Li S, Lens F, Espino S, Karimi Z, Klepsch M, Schenk HJ, Schmitt M, Schuldt B, Jansen S. 2016.** Intervessel pit membrane thickness as a key determinant of embolism resistance in angiosperm xylem. *IAWA Journal* **37**: 152–171.
- Munitz S, Netzer Y, Shtein I, Schwartz A. 2018** Water availability dynamics have long-term effects on mature stem structure in vitis vinifera. *Am J Bot.* 2018:1443-1452.
- Tyree MT, Zimmermann MH. 2002.** The cohesion-tension theory of sap ascent. In: Xylem structure and the ascent of sap. Springer, 49–88.