

## הכנס הבינלאומי על קרינה פיטוסניטרית מלון אבני פלוס ריברסייד, בנגקוק, תאילנד 8-9.11

### יואב גזית

המכון להדברה ביולוגית, ענף ההדרים, מועצת הצמחים

הכנס על הקרינה התעשייתית (IMRP20) *International Meeting on Radiation Processing* התקיים בבנגקוק, תאילנד בחסות מספר גופים כמו הארגון הבינלאומי לקרינה *International Irradiation Association*; (iia); חברות טכנולוגיה מעקרת (STERIS - Applied Sterilization Technologies וחברת MEVEX); חברת iba לפיתוח טכנולוגיות לקרינה חשמלית; חברת סטרג'ניק (Sterigenics) המפתחת פתרונות לעיקור; חברת נורדיון (Nordion) מהמובילות בייצור ואספקת קובלט-60 הרדיואקטיבי; ומכון אריאל (Aerial) הצרפתי, המוביל במחקר על קרינה חשמלית. השתתפו בכנס כ-350 נציגים, רובם מהתעשייה ומהמחקר הקשור בקרינה. הכנס חולק לשלושה פורומים מקבילים: (א) טכנולוגיה של קרינה; (ב) עיקור באמצעות קרינה; (ג) קרינה הפיטוסניטרית – הפורום בו השתתפתי.

מקובל היום שהקרינה הפיטוסניטרית היא תחליף טוב לטיפול בטבילה במים חמים (למנגו, למשל), לאיוד בחומרים בעלי השלכות אקולוגיות שליליות כמו מתיל ברומיד ולטיפול בפרי רגיש לקור. היום בטיפולים פיטוסניטריים, כמעט לא מדברים על אלומת אלקטרונים ישירה (קרינת בטא) מאחר וחדירתה לפירות מוגבלת למילימטרים עד סנטימטרים בודדים. לעומתה קרינת אנרגטית של פוטונים (חלקיקי אור) המבוססת או על פוטונים של גמא הנפלטים ממקור רדיואקטיבי (כמו קובלט-60), או על פוטונים של קרינת X (רנטגן) הנוצרים בתהליך המרה של קרינה חשמלית, חודרנית בהרבה ומסוגלת לעבור משטחי פרי שלמים. התוצרת המוקרנת בעולם מונה שורה של פירות כמו הדרים, מנגו, רימון, פיטאיה, ספוטה, גויאבה, גוארנה, רמבוטן, מנגוסטין וענבי מאכל.

**מהמצב בעולם.** יבשת אוסטרליה מחולקת לשלושה אזורים נפרדים מבחינת הסגר. לכן יש להם דיי הרבה מוצרים שעוברים טיפולי קרינה פיטוסניטריים. בווייטנאם פועלים שלושה מתקני קרינה ולאחרונה ארה"ב אישרו לווייטנאם לייצא אליה פומלו מוקרן. בנוסף, בווייטנאם התחילו להקרין ענבי מאכל. בעוד שטיפול קור בענבים ממושך מאוד, קרינה מאפשרת את יצוא הענבים בדרכי אוויר והגעתם המהירה לשווקים, מה שהופך את התהליך לכלכלי. לדרום אפריקה יש בעיות מקומיות. בציר הענבים שם תלוי בעונה, במזג האוויר ובגשמים. כל איחור בבציר, עלול לפגוע בכל שרשרת ההובלה של הענבים מהכרם לבית האריזה. בתאילנד, מצאו שקרינה משפיעה טוב יותר על צבע המנגו בהשוואה למנגו לא מוקרן. בפקיסטן, המנגו עובר לפני ההקרנה את מארז בית האריזה (שטיפה, טיפול נגד פטריות ואחסון) ולכן אחרי ההקרנה הפרי מאוד איכותי ורווחי.

**חשמל.** בעיה נוספת ממנה סובלת דרום אפריקה היא חוסר יציבות באספקת החשמל. כיוון שאין מספיק חשמל, המדינה מבצעת הפסקות חשמל יזומות ומתוכננות מראש שבין השאר משביתות את מפעל ההקרנה בקייפ-טאון (HEPRO) שעל אף שהוא מבוסס על קובלט-60 רדיואקטיבי, הפעילות בו תלויה במערכות חשמליות לשינוע והובלה. פרי קטוף על כל שרשרת האריזה והיצוא שלו, לא יכול "לחכות" לחידוש אספקת החשמל וחזרת המפעל לפעולה. על בעיה זו יש להוסיף את זה שהקובלט דועך (זמן מחצית החיים שלו הוא 5.27 שנים

כלומר, מקור שהפליטה שלו היום 100%, יפלוט בעוד 5.27 שנים רק 50%, ובעוד 10.54 שנים 25% (וכן הלאה). לכן כל חודש יש לתקן את משך ההקרנה ע"י תוספת זמן שתפצה ותשמור על המינון הדרוש. הפסקות החשמל ועצירת הפעילות לא עוצרת את הדעיכה של הקובלט ולכן מסרבולות ומייקרות עוד יותר את כל התהליך.

**גלי X.** בניו-זילנד מטפלים בקרינה פיטוסניטרית בתפוחים. מטעמים של יחסי ציבור הם לא משתמשים במונח "טיפול קרינה" אלא במונח "טיפול בגלי-X" הידידותי (?). יותר.

**שרשרת הקירור.** שמירה על טמפרטורה נמוכה של הפרי לאורך כל תהליך האריזה והשיווק חשובה מבחינת הבטיחות הביולוגית (התפתחות מזיקים בפרי) ופחות מבחינת איכות הפרי.

**מינון גנרי.** בשנת 2007 הוחלט שמינון קרינה בן 150 גריי טוב נגד כל זבובי הפירות. החלטה זו הפכה ללא רלוונטיים הרבה מחקרים שבקשו לקבוע את המינון היעיל לכל מין של זבובי פירות. השאיפה היום היא ליצור מינון גנרי כזה למזיקים נוספים. קורי פנקה (Cory Penca) מה-USDA הציג תרשים של המינונים הדרושים לקטילת מגוון של חרקים. מהתרשים עולה שהמינון המרבי לקטילת כל החרקים מתכנס ל 400 גריי. למטרה זו בשנה האחרונה אני מעורב למחקר למציאת מינון קרינה יעיל נגד עשים.

**היעד (end-point).** חרקים שעברו קרינה פיטוסניטרית לא מתים מיד. לרוב התמותה מתרחשת מאוחר יותר - בשלב הבקיעה (אם הוקרנו ביצים) או במהלך ההתנשלות וההתגלמות (אם הוקרנו זחלים) כשבכל מקרה גם אלו השורדים, יהיו עקרים ולא יוכלו להתרבות ולהוות איום. מבחינת ההסגר - המטרה הושגה. מבחינת הפיקוח, מפקח שיפתח פרי נגוע ברימות אחרי הקרינה, ימצא רימות חיות (לכאורה) ולא יוכל להבחין בין רימות מוקרנות (שנידם נחרץ) לרימות לא מוקרנות. לכן בפיקוח מתמקדים בבדיקת הנגיעות של הפרי לפני ההקרנה ובטיב טיפול ההקרנה שהפרי קיבל (נתוני הדוזימטריה). יש לציין שבועד שבשיטת החרקים המעוקרים, העקרות (בלבד!) היא היעד לקבלת חרקים שמתנהגים רגיל, מחזרים רגיל ומזדווגים רגיל אבל שבפועל לא מסוגלים להפרות נקבות, בטיפול פיטוסניטרי עקרות אינה יעד רצוי. זאת מאחר וחרקים מעוקרים שיגיעו לבגרות ויסתובבו בשטח, עלולים להילכד במערכת הניטור והגילוי. מאחר ולא ניתן לדעת במהירות אם החרקים במלכודות מעוקרים, לכידתם תקפיץ את כל מערכות הזיהוי וההגנה שתגרוונה תגובה יקרה מאוד שלא לצורך. לכן בניסויים לבדיקת טיפולי קרינה, השאיפה היא שהחרקים ימותו לפני הגעתם לבגרות - זה היעד.

**Maximum to minimum dose ratio = DUR** - ביצירת מינון גנרי, השאיפה היא לקבוע את המינון המיטבי שמשמיד את המזיק. מבחינת איכות התוצרת, יש בעיה ליצור מנעד קטן בין קרינת המינימום (שבתביח את השמדת המזיק) לקרינת המקסימום שמקבלת התוצרת בשל חוסר האחידות בשדה הקרינה. כיוון שכל מתקני הקרינה בעולם הם רב-תכליתיים (בנויים גם להקרנת פרי וגם להקרנה תעשייתית במינון גבוה בהרבה) תופעת המנעד (מינימום-מקסימום) חמורה יותר. הבעיה מקבלת משנה חשיבות כאשר הקרינה הפיטוסניטרית המרבית המותרת נקבעה על 1,000 גריי = 1 קילו-גריי.

**למה קילו?** בעוד שחריגה מטה מהמינון המינימלי אסורה מאחר ועלולה להביא לכך שיישרדו מזיקים בפרי, לאיסור החריגה מעל המינון המותר של 1 קילו-גריי (1000 גריי) אין הצדקה מדעית. במיוחד כאשר מזון אחר שאינו פרי, כמו בשר, עופות, מוצרי חלב ואף רגלי צפרדעים, עובר עיקור באמצעות הקרנה במינון פי עשרה

ויותר גבוה מקילו-גריי. מעבר לכך, אם מינון הקרינה גבוה מידי יפגע באיכות ובטעם הפרי, הצרכנים וטעמם יחליטו אם לקנותו או להשאירו על המדף. אותי (ולא רק אותי) זה משכנע, אבל לפי שעה לא נראה שהרגולציה תשנה את הרף הזה בקרוב.

**האם פרי מוקרן מסוכן?** זו שאלה שחוזרת על עצמה בכל פעם ומכל כיוון והתשובות שלי, האנטומולוג, לא מספקות. אז הלכתי לשני פיזיקאים של קרינה: פלורנט קונץ (Florent Kuntz) ממכון אריאל בצרפת, ופיטר רוברטס (Peter Roberts) מניו-זילנד ושאלתי אותם את השאלה הזו באופן שונה: נניח אני רוצה לגרום לפרי להיות רדיואקטיבי (שהרי זה הפחד), האם זה אפשרי ואם כן, מה עלי לעשות?  
**תשובתם:** ראשית הם לא ממליצים לנסות את זה במתקנים של גמא (קובלט 60) כי לקרינה זו אין עוצמה מספיקה כדי לחולל עירור של יסודות כימיים שיהפוך אותם לאיזוטופים רדיואקטיביים. שנית, קרינת רנטגן בעוצמה גבוהה (מעבר לעוצמה המסחרית הרגילה), תוכל לעורר רדיואקטיביות במידה מסוימת. אבל נניח (למען השאלה) שכן מקרינים פרי ברנטגן בעוצמה החריגה הזו, מה אז יקרה?  
**תשובתם:** כל רקמה ביולוגית פולטת קרינה רדיואקטיבית טבעית, מאחר וברקמה יש באופן טבעי איזוטופים רדיואקטיביים של יסודות שונים. למשל, ולא רק, האיזוטופ המוכר של הפחמן, פחמן 14. זהו איזוטופ רדיואקטיבי הנמצא באופן טבעי בכל רקמה ביולוגית. מדידת השאריות שלו במאובנים משמשת לקביעת גילם הגיאולוגי. בפרי שיוקרן בעוצמה גבוהה, אטומים אכל יהפכו לרדיואקטיביים. אבל. ויש כאן אבל חשוב: משך חייהם כרדיואקטיביים של פחמן וזרחן המהווים את הרוב, קצרצר ותוך דקות או שעות הם ייעלמו. מעט האיזוטופים שייוצרו מיסודות כבדים יותר ברקמה ואשר להם חיי רדיואקטיביות ארוכים, יפלטו מעט קרינה שתיבלע על רקע הקרינה הטבעית של הרקמה ולא ניתן יהיה למדוד את משמעותה.

**הפוסטר שלנו.** בכנס הוצגו 50 פוסטרים על נושאים שונים. אחד מהם היה הפוסטר שלנו. רקע על רגל אחת. בשנים האחרונות, בשת"פ עם שור-ואן הקרנות בע"מ ועם חוקרים מהמחלקה לאחסון בוולקני, בדקנו כמה היבטים של השפעת הקרינה הפיטוסינטרית על פירות שונים. מצאנו, למשל, שקרינה לא פוגעת באיכות של הדורים, מנגו ורימון אבל פוגעת באבוקדו (בשל רמות השמן בפרי). מצאנו שאלומת אלקטרונים (קרינת בטא) לא חודרת פרי הדר, ואפילו מנדרינות קטנות יש להקרין משני הצדדים כדי לקבל אחידות. עם נתונים אלה, בשת"פ עם ד"ר רון פורת מהמחלקה לאחסון בוולקני, רצונו לראות מה קורה לאיכות של פרי מוקרן גם לאחר אחסון ממושך.

הפוסטר שלנו (ראה נספח – א) היווה סיכום של עבודה זו: "השפעות המאחרות של טיפולי קרינה על מנדרינה 'אורי'". הראינו בו שבדיקות איכות מקובלות של מנדרינות שנחשפו לשני מינונים של קרינה, הועברו לאחסון בקור (5°C) למשך 4 ו-9 שבועות ולאחר מכן הוצאו לשבוע או שבועיים "חיי מדף" ב-20°C, מראות שאין לקרינה השפעה ניכרת על איכות ה'אורי', ובכך נתנו עקרונית אור ירוק להקרנת אורי.

אנחנו מקווים לפרסם בקרוב את העבודה הזו כמאמר. [אגב, הצרכנים לא אוהבים חיי מדף ארוכים. מאחר שפרי עם חיי מדף ארוכים מקשה עליהם להבחין בין פרי טרי לפרי שאוחסן].

**דוזימטריה.** חשיבות הדוזימטריה (מדידת מינון) קריטית ועוברת כחוט השני לאורך נושא טיפולי הקרינה. מעבר לבדיקות שנערכות על כל מטען שעובר הקרינה, כל מתקן הקרינה נבדק בשגרה גם כדי לוודא שהוא אכן מחולל את קרינה כנדרש (Operational Qualification - OQ) בסדרת בדיקות בהן ממפים את שדה הקרינה שבחלל

ההקרנה (בונקר) ואת תנודתיות הקרינה שבתוך השדה; וכן בבדיקות ספציפיות למוצר המוקרן (PQ - Performance Qualification) בדיקות בתנאים של הפעלה ושל סימולציות של מטען אמיתי, שמוודאות שההקרנה במתקן ניתנת כראוי לכלל נפח המטען. כל הבדיקות הללו מבוססות על דוזימטריה מדוייקת ואמינה. אמינות המדידות מושפעת מההקרנה: דוזימטרים של אלנין, למשל, יש לכייל בקרינה אותה הם אמורים למדוד. כיול דוזימטרים באלומת אלקטרונים ושימוש בהם בקרינת גמא (קובלט 60) עלול להתבטא ב-30% שגיאה בקריאות.

**הסכמי מסחר.** מעבר להסכמים הדו-צדדיים בין מדינות למסחר בתוצרת מוקרנת (אתם מקרינים לנו ואנחנו נקרין לכם), יש לוודא שהצדדים מדברים באותה שפה של קרינה: אם מדובר בגלי X, שני הצדדים מחויבים להשתמש באותה עוצמת הקרנה. כלומר, אם במדינה האחת יש מתקן ההקרנה בעוצמה של 5 מיליון וולט בלבד, המדינה השנייה חייבת להקרין בעוצמה זו, גם אם באפשרותה להקרין בעוצמה של 7.5 מיליון וולט (שמקצר את הטיפול ומשפר את ההספק של המתקן).

**איפה ישראל?** איב הנון (Yves Hénon) מ-iiia בצרפת, שאל אותי איפה ישראל עומדת בנושא הקרינה הפיטוסניטרית, מאחר והוא יודע על יוזמה ישראלית להקמת מפעל הקרנה (גמא) בארץ. הסברתי לו שכל עוד באירופה, המהווה יעד חשוב מאוד ליצוא הישראלי, לא מקבלים יבוא של תוצרת חקלאית מוקרנת אין תמריץ לקידום הנושא. יתרה מכך, הבעתי בפניו חשש ישראלי מהסכמי הסחר הדו צדדיים: יצוא של סחורה מוקרנת, עלול לעודד יבוא לא פרופורציוני של סחורה מוקרנת שעלול להציף את השוק. איב הפנה אותי עם חששותיי לבן (Benjamin Reilly), מסטריטק (Steritech) אוסטרליה, שחקר את הנושא. בן טוען שזה שהשוק הישראלי לא מוצף כבר עתה בייבוא, מראה שהיבוא והיצוא תלויים בעוד גורמים מאזנים ובולמים שידאגו לכך שההקרנה לא תשנה את זה.

**יישומי קרינה נוספים.** הקרנת פלסטיק לשיפור תהליך המחזור שיביא לצמצום פסולת הפלסטיק; שימוש בקרינה לטיהור מים מחיידקים מזהמים ומרעלנים (מחקר בטקסס); טיפול בבוצה ובמי שפכין (נושא דומה למה שהציגו בזמנו פקס-גול משער הגולן); השתקת חיסון (כמו החיסון נגד זיקה) על ידי חשיפתו לקרינה; שימוש באלומת אלקטרונים חלשה להשמדת מיקרואורגניזמים על פני הזרע ולשיפור הנביטתה: מתקן קטן יחסית ונייד יכול לטפל בקצב של טון זרעים לשעה ויש אפשרות לטפל באופן דומה גם במזון לבעלי חיים, מוצרים אבקתיים ותבלינים. בכלל, המעבר מבונקר מאסיבי וקבוע למתקני הקרנה קטנים וניידים עשוי לחולל מהפכה בתחום.

# הכנס הבינלאומי על קרינה פיטוסניטרית - נספח

הכרזה שהצגנו רון פורת ואני במושב הכרות של הכנס

Poster #: 34 - IMPR20 - Phytosanitary irradiation: Efficacy and generic doses

## Effects of phytosanitary irradiations on the quality and postharvest storage performance of 'Orri' mandarins

Yoav Gazit<sup>1</sup> and Ron Porat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The 'Tzoref Cohen' Institute for Biological Control, Plants Production and Marketing Board, Citrus Division, P.O. Box 235, Yehud-Bezalel 5610102, Israel  
<sup>2</sup>Dept. of Postharvest Science of Fresh Produce, ARB, The Volcani Institute, P.O. Box 15159, Raishon LeZion 7528805, Israel.

**Introduction:** The use of irradiation for phytosanitary purposes is a well-established method for the control of pest insects in fresh produce. The use of irradiation for phytosanitary purposes is a well-established method for the control of pest insects in fresh produce. The use of irradiation for phytosanitary purposes is a well-established method for the control of pest insects in fresh produce.

**Objectives:** The objective of this study was to assess the efficacy of PI on the quality and postharvest storage performance of 'Orri' mandarins.

**Materials and methods:** The study was conducted in a controlled environment. The mandarins were irradiated at 0, 88.5, and 202.4 Gy. The quality parameters measured were firmness, weight loss, and decay. The storage performance was evaluated by the number of insects and the percentage of decayed fruit.

**Results:** The results showed that PI treatments of 88.5 and 202.4 Gy did not have any adverse effects on the quality and postharvest storage performance of 'Orri' mandarins. It is concluded that PI may be adopted as a phytosanitary measure without harming the fruit's quality.

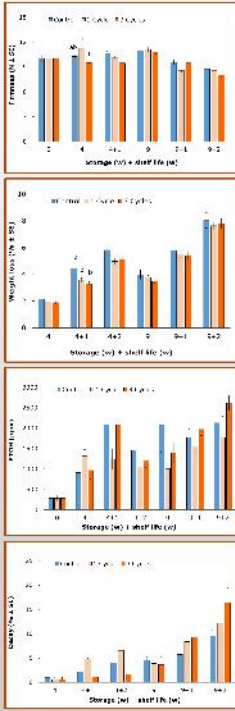
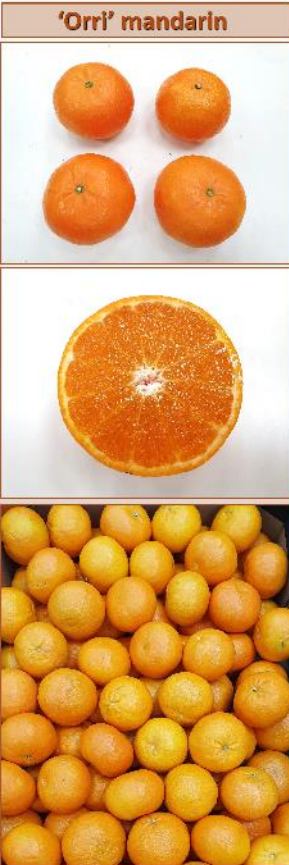


Figure 1: A person operating the irradiation equipment used in the study.

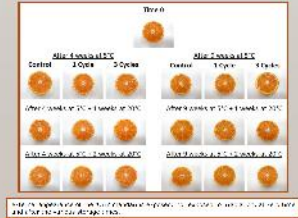


Figure 2: A grid of mandarins used for quality assessment and storage performance evaluation.

**Conclusions:** The tested PI treatments of 88.5 and 202.4 Gy did not have any adverse effects on the quality and postharvest storage performance of 'Orri' mandarins. It is concluded that PI may be adopted as a phytosanitary measure without harming the fruit's quality.

**Correspondence:** Ron Porat, Email: ron.porat@volcani.gov.il

Acknowledgment: We would like to thank the Ministry of Agriculture for supporting this research.

למטה מימין - ג'ון גולדינג (John Golding), מאוסטרליה, עמית של רון פורת בנושא טיפולים אחר קטיף ואיכות פרי הדר, משמאל – עם עמיתים מעולם הקרינה הפיטוסניטרית באמריקה הלטינית

