

אלף גינות

פרויקט מדע אזרחי בגרמניה לאיתור זני סויה מותאמים לסביבה

מעובד על פי המאמר[1]:

Wurschum, T., Leiser, W.L., Felix J., Bachteler, K., Miersch, M., Hahn, V. (2018): The soybean experiment '1000 Gardens': a case study of citizen science for research, education, and beyond. Theoretical and Applied Genetics, 1-10.

מבוא

מדע אזרחי הוא גישת מחקר שבה אזרחים הם שותפים פעילים למחקר ומוערכים ביותר (Silvertown, 2009). רוב המחקרים הנוקטים גישה זו נערכים בתחומים כמו אקולוגיה, מגוון ביולוגי ושמירה על הסביבה, אך יש גם מחקרים העוסקים בנושאים אחרים, כמו אסטרונומיה (Kuchner, 2017). פרויקטים של מדע אזרחי נועדו לרוב לגלות ידע מדעי חדש או להשכיל את הציבור בנושא כמו שמירה על הסביבה. באופן אידיאלי - רצוי שפרויקט מדע אזרחי יתרום בשני ההיבטים.

נושא משמעותי לפרויקט מדע אזרחי יכול ליצור מסרים מעבר למטרות המוצהרות של הפרויקט, כך שהמשתתפים יוכלו לשתף בהתנסויותיהם ולהרגיש חלק מפעילות משותפת שיכולה לצבור תאוצה באמצעות הפצתה על ידי המשתתפים עצמם. אולי אף חשוב מכך, פרויקטים מסוג זה יכולים לעורר רגשות מוסריים, ולפתוח בפני הציבור ויכוחים מדעיים ואת השלכותיהם.

דוגמה לתחום כזה, שבו נדרש שינוי עולמי, הוא ייסודה של חקלאות בת קיימה. בשנת 2016 הכריז האו"ם על שנת הקטניות. בניגוד לדגנים, לקטניות יש יכולת סימביוטית לקבע חנקן אטמוספרי. הרכב החומרים שלהן ייחודי, ולכן הן מעשירות את הרכב האדמה ותורמות למגוון ביולוגי במערכות אקולוגיות חקלאיות ולתזונת בני אדם וחיות משק (Foyer, 2016). צריכת קטניות במקום צריכת בשר יכולה להקטין את השפעתה של אספקת הבשר ההולכת וגוברת על פליטת פחמן דו-חמצני לאטמוספרה.

סויה היא קטנית בעלת חשיבות רבה בעולם. מקורה במזרח אסיה, אך היא נפוצה כגידול חקלאי בברזיל ובארצות הברית. באירופה עיקר שוק הסויה תלוי ביבוא, בין השאר מאחר שהצמח רגיש לשינויים במשטר אור/חושך, וזקוק למעט מים יחסית. לָרוב סויה משמשת מזון לחיות משק, אבל עלייה בכמות הצמחונים והטבעונים בעולם וחיפוש אחר גיוונים בריאים בסל המזון גרמו לעלייה בצריכתה כמזון לבני אדם, ובעיקר כחומר גלם להכנת טופו. בגרמניה לא היה מעולם שוק סויה משמעותי מכיוון שתדמיתה כגידול מתורבת לצורכי מזון היא שלילית: סויה מזוהה כצמח שעבר שינויים גנטיים מכוונים[2], שגדל בשטחי חקלאות נרחבים כמין יחיד (וכך מקטין מגוון ביולוגי), וכגורם לכריתת עצים ביערות הגשם (לצורך הכשרת קרקעות לגידולו).

בשנת 2016 החל בגרמניה פרויקט מדע אזרחי ביוזמת אוניברסיטת הוהנהיים שנקרא "אלף גינות". מארגני הפרויקט גייסו אזרחים שיגדלו זני סויה בגינתם כדי לזהות זנים המותאמים לבתי גידול צפוניים יותר וכדי לשנות את תדמית הסויה בעיני הציבור. למדענים היה חשוב בעיקר להדגיש את הערך התזונתי החשוב של הסויה ואת תרומתה לחקלאות בת-קיימה.

על פי רוב, מדענים עורכים הכלאות של צמחים באזור שבו ממוקם מוסד המחקר שלהם, או באזור מסוים שבו המחקר מתמקד. לעומת זאת, הפנייה לציבור אפשרה למדענים יוזמי המחקר הנוכחי לאסוף נתונים על זני הסויה במספר חסר תקדים של אתרים ברחבי גרמניה כולה. החוקרים מתארים במאמר את תכנון פרויקט אלף הגינות, ביצועו והצעות לשיפור פרויקטים של מדע אזרחי בעתיד, מתוך אמונה שגישת המדע האזרחי עשויה לתרום למחקר ולהשכלת הציבור בתחום מדעי הצמח.



[1] הגרסה המובאת כאן היא סקירה של תוכני המאמר המקורי, ונועדה להנגיש את המידע לציבור המורים לביולוגיה ולמדעי הסביבה. העיבוד כלל הוספת הסברים ואיורים לתכנים מורכבים, סינון מידע שאינו נקשר לרעיון המרכזי של הגרסה המעובדת, הגדרת מונחים מקצועיים, ובמידת האפשר קישור הדברים לתהליכי למידה והוראה. המעוניינים לקרוא את המאמר המקורי מוזמנים לפנות למקור המובא בתחילת הגרסה המעובדת.

[2] מזון מהונדס גנטית: genetically modified organism (GMO)

שיטות

גיוס הציבור

החוקרים יצרו אתר בגרמנית ובו מידע על צמח הסויה, לרבות ההיסטוריה שלו, תרומתו לחקלאות בת-קיימה, נתונים על צריכה עולמית ודיאטה מומלצת הכוללת מוצרי סויה. כמו כן כלל האתר הסבר כיצד לבצע את הניסוי, ובלוג שבו יכלו המשתתפים לשתף בתוצאותיהם ובהתנסותם בפרויקט. הפרויקט החל בפרסום האתר בעלונים העוסקים בגינון, בפנייה לתקשורת ובפרסומות על עטיפות של מוצרי סויה של חברה מסחרית אשר ליוותה את הפרויקט.

צמחי הסויה

במחקר נערכו שני ניסויים ובהם 1710 קווי הכלאות (עד דור F9) של 20 זני סויה הנחשבים למהירי הבשלה. בניסוי הראשון קיבל כל משתתף צירוף שונה של 10 זנים כלשהם מצאצאי ההכלאות של צמחי סויה. בניסוי השני קיבלו כל המשתתפים צירוף זהה של 10 זני צמחים, וביניהם זן סויה אחד המאחר מעט בהבשלה, וזן של סויה שהבשלתו מוקדמת במיוחד בהשוואה ליתר הזנים. בתנאי ההשתתפות בפרויקט נקבע שהזכויות האינטלקטואליות על הזנים שייכות למארגני הפרויקט.

הערכת צמחי הסויה שנבטו

המתנדבים שהשתתפו בניסוי קיבלו הוראות כתובות, שתים-עשרה שקיות ובכל אחת מהן מאה זרעים עבור שתי שורות באורך שני מטרים, ושקית ובה ריזובקטריה[3]. ההוראות למשתתפים היו לזרוע את זרעי הסויה במרחקים של ארבעה סנטימטרים זה מזה, ולשמור על מרחק של כחצי מטר בין השורות. כמו כן היה עליהם להעשיר את הקרקע בריזובקטריה.

עד הקציר התבקשו המתנדבים לעקוב אחר שש-עשרה תכונות מורפולוגיות, פיזיולוגיות, ותכונות הקשורות ליבול, ובהן פריחה, הבשלה, גובה וכמות התרמילים לכל צמח. את הנתונים שהתקבלו מגינתם הזינו המשתתפים למאגר נתונים לשם ניתוח מדעי. כמו כן התבקשו המשתתפים לשלוח דגימות זרעי סויה מהצמחים שגידלו בגינתם, ובמעבדה נבדקו תכולת החלבון ותכולת השמן של הזרעים.



המדידות שביצעו הגננים סייעו לאתר זני סויה שלא זו בלבד שהיו מותאמים היטב לאזורים שונים בגרמניה, אלא אף היו בעלי תכולת חלבון ושמן גבוהה

ניתוח סטטיסטי

בשל מספר המתנדבים הגבוה נערכו שני ניסויים. הניסוי הראשון נערך עם 1710 תוצרי ההכלאות ו-20 זני ההורים (הזנים המקוריים), כלומר 1730 גנוטיפים. המתנדבים חולקו לעשרה אזורים שבכל אחד מהם 173 גננים. מערך הניסוי תוכנן כך שכל אחד מ-1730 הגנוטיפים ניתן באופן אקראי לאחד מ-173 גננים בעשרה אזורים (=עשר חזרות). בדרך זו, כל משתתף בניסוי הראשון ייצג צירוף שונה של 10 גנוטיפים.

עשרת האזורים חולקו לחמישה זוגות על פי קווי הרוחב. המטרה הייתה לאפשר ייצוג שווה של כל זן מצפון לדרום, מכיוון שמשטר אור/חושך ידועים ככאלה המשפיעים על ההתאמה של צמחי סויה ועל הבשלתם (Kurasch, 2017).

762 המתנדבים הנותרים השתתפו בניסוי 2, שבו קיבל כל משתתף צירוף זהה של זנים והכלאות.

תוצאות

השתתפות מדענים אזרחים

בסך הכול התנדבו להשתתף בפרויקט 2492 מדענים אזרחים. באזור אחד היה אחוז המתנדבים גבוה במיוחד, גם ביחס לאוכלוסיה באותו אזור, כנראה משום שממנו הגיעו שניים מהמדענים המנהלים את הפרויקט, ולכן התקשורת המקומית עסקה בפרויקט יותר מאזורים אחרים. מכאן שעבודה נכונה יותר מול התקשורת המקומית יכולה לגייס יותר אזרחים לפרויקט חקר. נוסף על כך, אחוז מתנדבים גבוה היה מהעיר ברלין, כנראה בשל אחוז הצמחונים והטבעונים הגבוה בעיר. אומנם סביר שעניין קודם בנושא יכול להיות גורם מניע להתנדבות, אך תגובותיהם של המשתתפים בפרויקט לא העידו על שייכות לקבוצת עניין כלשהי כמו צמחונות או פעילי סביבה. לָרוב המשתתפים ציינו שהניסוי הלהיב אותם וכי רצו ללמוד משהו ולתרום למדע.

רעיון מעניין לפרויקטים של מדע אזרחי אפוא הוא להעסיק מומחה במדעי החברה או פסיכולוג כדי לחקור יותר לעומק את המוטיבציה של המשתתפים, את הרקע שלהם ואת השלכות ההשתתפות בפרויקט מבחינתם.

הצלחת הפרויקט "אלף גינות" הראתה שאפשר להרחיב את גישת המדע האזרחי לתחום מדעי הצמח

[3] ריזובקטריה (Rhizobacteria): חיידקים מקבעי חנקן החיים בשורשי צמחים ויוצרים יחסי סימביוזה (מסוג הדדיות) עם מינים רבים של צמחים, כולל מיני קטניות.ובא בתחילת הגרסה המעובדת.



איכות הנתונים

מידת התורשתיות של תכונה מסוימת היא המידה שבה השונות הגנוטיפית משפיעה על השונות הפנוטיפית[4] של התכונה. ככל שהתורשתיות גבוהה יותר, כך הפנוטיפ מושפע יותר מגורמים גנטיים ופחות מגורמים סביבתיים או אקראיים. לכן תורשתיות יכולה לשמש מדד מסוים לאיכות הנתונים שנאספו על התכונה. מידת התורשתיות של התכונות השונות הייתה גבוהה לָרוב התכונות בניסוי השני, שבו צירוף הזנים היה זהה בכל גינה. לעומת זאת, בניסוי הראשון, שבו נזרע בכל גינה צירוף שונה של זנים, התקבל מגוון של ערכי תורשתיות, החל מ-0.28 למספר התרמילים לצמח ועד 0.69 לגובה הצמח.

אומנם המשתתפים קיבלו הנחיות כיצד למדוד את התכונות השונות וכן תזכורות בדואר האלקטרוני לקראת מועדי איסוף הנתונים, ואולם ניתוח הנתונים הראה שאפשר לשפר את איכותם. ערכי התורשתיות של תכולת החלבון ושל תכולת השמן היו גבוהים יותר מערכי התורשתיות של התכונות שנבדקו בידי המשתתפים. הבדל זה הצביע על חוסר עקביות בהערכות הגננים הבלתי מיומנים; והטעות במדידה או בהערכה לא נוצרה בהכרח בשל ההבדלים בין אזורי הגידול השונים. דוגמה לכך היא התכונה של צבע הפרחים: אף שתכונה זו בעלת ערכי תורשתיות גבוהים מאוד, המשתתפים זיהו ותיארו אותה בדרכים שונות לגמרי. עלי כותרת סגולים עם נקודה לבנה קטנה הוגדרו לעיתים כצבע פרחים סגול ולעיתים כערבוב של צבעים. מכאן שהמחשת התכונות על ידי הוספת תמונות או סרטונים להוראות באתר או ביישומון יכולה לשפר את הדיוק באיסוף הנתונים בפרויקטים של מדע אזרחי.

עם זאת, תכונות אחרות, כמו זמן הבשלה, המעיד על מנגנון התאמה לסביבה, הראו תורשתיות גדולה יותר (0.60). אלה העידו בכל זאת על ערכה החשוב של גישת המדע האזרחי, במיוחד בסדרי הגודל העצומים של אזורים ונתונים שאי אפשר להגיע אליהם בשיטה המסורתית למחקר במדעי הצמח.

מחויבות המתנדבים לפרויקט

מתוך כלל הגננים שנרשמו לפרויקט וקיבלו משלוח של זרעים (=2492), 30% (=757) מעולם לא הכניסו נתונים למאגר. לשם השוואה, בפרויקט מדע אזרחי אחר (Worthington, 2012) דווח על 62% שלא הכניסו נתונים למאגר. כלומר, נשירה היא חלק בלתי נמנע מגישת מחקר כזאת. בפרויקט גינות הסויה הנשירה גרמה לכך שכמות הנתונים עבור כל גנוטיפ הייתה שונה, וחלק מהנתונים אף היו חסרים בחלק מהאזורים בקווי אורך מסוימים.

אין להתעלם מכך ש-1790 אזרחים ביצעו את הניסוי והכניסו נתונים למאגר. גם מספר זה פחת במהלך הניסוי, לעיתים בשל חלזונות או ברד שהזיקו לצמחים, או כפי שדיווחו אותם אזרחים, גם בשל ירידה במוטיבציה, או היקף עבודה רחב יותר מהמצופה. שש-עשרה התכונות נקבעו לבדיקה כדי לשמור על מוטיבציה לכל אורך הפרויקט, ואכן 57% (=1027) מהמשתתפים המשיכו לאסוף נתונים עד להבשלה, ו-71% (=1273) שלחו דגימות להמשך אנליזה של תכולת שמן וחלבון.

המשתתפים השתמשו בתכיפות בבלוג שיצרו מארגני הפרויקט במיוחד עבורם. בסיום שנת איסוף הנתונים נרשמו 827 כניסות לבלוג שמקורן ב-463 מתנדבים. הם חלקו התנסויות ונתונים, אך גם העלו סיפורים מעבר לפרויקט עצמו. רובם העלו משוב חיובי על הפרויקט וציינו כמה נהנו להיות חלק ממנו ולראות צמחי סויה נובטים בגינתם. כלומר, הבלוג היה כלי טוב ליצירת תחושה של קהילת משתתפים. עם סיום איסוף הנתונים וניתוחם הפיקו מארגני הפרויקט חוברת מיוחדת עבור המשתתפים, ובה חלקו עימם את התוצאות והמסקנות מהנתונים שאספו.

סיקור הפרויקט בתקשורת

מתחילתו ועד סופו משך הפרויקט את תשומת לב התקשורת הכתובה, רשתות חברתיות, רדיו וטלוויזיה. 461 מאמרים נכתבו ב-344 עיתונים וכתבי עת, שהגיעו לכ-19 מיליון קוראים. בנוסף נכתבו 235 מאמרים ברשת, ו-14 דיווחים שודרו ברדיו ובטלוויזיה. הדיווחים בתקשורת ליוו את הפרויקט לכל אורכו. גם אם נתונים אלה הם הערכה בלבד, הם מעידים על התעניינות של ציבור רחב בפרויקט גם מעבר למתנדבים שגידלו את הצמחים בגינתם.



[4] השונות הפנוטיפית היא סכום של השונות הגנטית, השונות בסביבה ושונות אקראית. מידת התורשתיות של תכונה היא החלק היחסי של השונות הגנטית מסך כל השונות הפנוטיפית. ככל שחלקה של השונות הגנטית גדול יותר ביחס לשונות הסביבתית והאקראית - כך התורשתיות גדולה יותר; כלומר, מגוון הפנוטיפים של התכונה נקבע על ידי האללים השונים באוכלוסיה ומושפע פחות מאירועים אקראיים או מהסביבה.



דיון

באופן מסורתי, פרויקטים של מדע אזרחי עוסקים בעיקר בסקרים של תפוצה וגודל אוכלוסיות של אורגניזמים. לאחרונה התרחבו תחומי המחקר שנעזרים בציבור הרחב, כמו בדיקת איכות המים, שינויי אקלים או שאלות באבולוציה (Silvertown, 2009).

במאמר זה מציגים הכותבים פרויקט ראשון במדעי הצמח בגישת מדע אזרחי. מטרת הפרויקט הייתה לשפר את תדמית צמח הסויה בעיני הציבור, אך עם זאת לאסוף נתונים מדעיים הקשורים להתאמה של הצמח לאזורים צפוניים, בסדר גודל של שטחים וכמות נתונים שלא היו אפשריים בשיטות מחקר מסורתיות. בשלב הבא מתכננים החוקרים לשלב את הנתונים שהתקבלו מהאזרחים על הזנים שהבשילו מוקדם עם מחקר מולקולרי, וזאת כדי להבין את המנגנון המולקולרי של התאמתם לאזורי גידול חדשים ולהבין את השפעת הסביבה על איכות התנובה של הצמחים (תכולת חלבון ושמן בזרעים). לפרויקט הייתה גם חשיבות מבחינת שיטות השבחה והכלאות של צמחים, מפני שהזנים שנשלחו לגננים ברחבי גרמניה נוצרו על ידי הכלאות מכוונות שערכו החוקרים בחממות. המדידות שביצעו הגננים סייעו לאתר זני סויה שלא זו בלבד שהיו מותאמים היטב לאזורים שונים בגרמניה, שבהם לא גדלים צמחי סויה, אלא אף היו בעלי תכולת חלבון ושמן גבוהה - תכונה חשובה ביותר לגידולי סויה חקלאיים. זנים אלה יגודלו בהיקף רחב יותר באזורים שבהם הצליחו לגדול בגינות האזרחים, ויש להם פוטנציאל טוב להירשם כגידול סויה רשמי, כמזון לבעלי חיים או לבני אדם. גישה זו יכולה להיות טובה ליצירת זני צמחים מותאמים לאזורי גידול חדשים, אבל ייתכן שלמטרה זו מוטב לגייס חקלאים במקום אזרחים בעלי גינות, שכן אלה יכולים להעריך טוב יותר את תנובת הצמחים ומכירים טוב יותר את דרישות השוק באזור שבו הם נמצאים. שיתוף כזה של חקלאים מקומיים או אזרחים יכול לשמש שיטת הכלאות והשבחה שיתופית, במיוחד במדינות מתפתחות, שבהן אפשר ליצור זנים מותאמים למקום (Atlin, 2001).

הצלחת הפרויקט "אלף גינות" הראתה שאפשר להרחיב את גישת המדע האזרחי לתחום מדעי הצמח. בראש ובראשונה, יש לשכנע מדענים בתחום לקבל את הגישה, ולהיות מוכנים לבדוק את שאלת המחקר שלהם מזוויות חדשות כדי להתאים אותה למדע אזרחי. דוגמה לכך יכולה להיות הערכה פנוטיפית של גנים במגוון תנאי אקלים כדי לאתר גנים מבטיחים להכלאות; או חקר מנגנוני התאמה ואינטראקציות גנום-סביבה בצמחי גידול חקלאיים או בצמחי מודל. גישה כזאת מתאימה במיוחד לגידולי ירקות: גננים אוהבים לגדלם בגינתם הפרטית, ובגישת השבחה והכלאה שיתופית יוכלו להיות שותפים ליצירת תכונות חדשות בירקות או אף בהצגת מינים חדשים לשוק המקומי. גידול צמחי נוי יכול ליהנות אף הוא מגישה של מדע אזרחי, במיוחד לאור היעלמותם של חרקים שונים, כדי לזהות מינים של צמחים או גנוטיפים המושכים באופן מיוחד דבורים, פרפרים וחרקים מאביקים נוספים.

מחקרים בגישת מדע אזרחי צריכים להתאים את מערך המחקר ואת שיטות עיבוד הנתונים הסטטיסטיות לכמות נתונים גדולה במיוחד ולבדיקת איכותם. יש לפתח שיטות סטטיסטיות שיאפשרו לאמוד את איכות הנתונים של כל משתתף ולהשמיט נתונים[5] שאיכותם נמוכה במיוחד כדי לדייק יותר בניתוח הנתונים ובמסקנות.

החוקרים שיזמו את פרויקט "אלף גינות" מעידים שהבקשה למימונו באמצעות מענק מכספי ציבור נדחתה, שכן המדענים שדחו את הבקשה לא הכירו את התפיסה של מדע אזרחי וחשבו ששיטות מסורתיות במדעי הצמח עדיפות על גיוס הציבור. למרות זאת, לטענת החוקרים, תוצאות המחקר מוכיחות שאפילו מנקודת מבט מדעית יכולה גישת מחקר כזאת לספק נתונים ייחודיים ובעלי ערך. הם מציעים לקרנות למימון מחקרים להיפתח לגישת מדע אזרחי מפני שזו מאפשרת לשאול שאלות מחקר חדשות.

למדע אזרחי יכולה להיות תרומה לעיצוב תפיסת המדע בציבור ולעידוד מעורבות הציבור בפתרון בעיות כמו שינויי אקלים. גידול הסויה בגינה קירב בין הגננים לבעיות שמעוררים שינויי האקלים העולמיים והפך את הבעיה המורכבת לפשוטה יותר ואת תרומת האזרחים לפתרונה - לאפשרית עבורם. יתרה מזו, ההשתייכות לקבוצה גדולה של אזרחים התורמים לפתרון מעניקה כוח לאזרח היחיד, בהיותו חלק ממאמץ והישגים משותפים.

פרויקט "אלף גינות" הוא דוגמה לכך שרצוי שמדע אזרחי ימשוך את עניין הציבור, ירתק ויגרום הנאה, כך שהמוטיבציה תישמר. אין צורך להתיימר לפתור בעיה מורכבת או אתגר באמצעות הציבור, אלא רצוי שיעברו לציבור מסרים שהם מעבר לפרויקט עצמו, במיוחד אם הפרויקט מעלה שאלה פתוחה לדיון. זאת ועוד, אפשר שהפרויקט יכלול ילדים ונוער, כמקבלי החלטות בעתיד. פרויקט "אלף גינות" לא יפתור את בעיית שינויי האקלים, אבל לטענת החוקרים מארגני הפרויקט, ייתכן שהתוצאות שיתקבלו ממנו, תחושת הקהילה של המתנדבים והעניין שגילתה בו התקשורת יכולים להשפיע על מקבלי החלטות שונים ולהניע שינוי.

[5] הכוונה כאן היא להשמיט נתונים מוטעים שהם תוצאה של חוסר מיומנות של המשתתף, ולא נתונים יוצאי דופן שאינם מתאימים להשערת החוקרים.

מקורות

Atlin, G.N., Cooper, M., Bjornstad, A. (2001): A comparison of formal and participatory breeding approaches using selection theory. Euphytica, 122: 463–475.

Foyer, C.H., Lam, H-M, Nguyen, H.T., Siddique, K.H.M, Varshney, R.K., Colmer, T.D., Cowling, W., Bramley, H., Mori, T.A., Hodgson, J.M., Cooper, J.W., Miller, A. J., Kunert, K., Vorster, J., Cullis, C.h., Ozga, J.A., Wahlqvist, M.L., Liang, Y., Shou, H., Shi, K., Yu, J., Fodor, N., Kaiser, B.N., Wong, F-L, Valliyodan, B., Considine, M.J. (2016): Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production. Nature Plants 2: 16112.

Kuchner, M.J., Faherty, J.K., Schneider, A.C., Meisner, A.M., Filippazzo, J.C., Gagne J., Trouille, L., Silverberg, S.M., Castro, R., Fletcher, B., Mokaev, K., and Stajic, T. (2017): The first brown dwarf discovered by the Backyard Worlds: planet 9 citizen science project. Astrophysics Journal Letters 841: L19.

Kurasch, A.K., Hahn, V., Leiser, W.L., Vollmann, J., Schori, A., Betrix, C.A., Mayr, B., Winkler, J., Mechtler, K., Aper, J., Sudaric, A., Pejic, I., Sarcevic, H., Patrice, J., Balko, Ch., Marco, S., Miceli, F., Strijk, P., Rietman, H., Muresanu, E., Djordjevic, V., Pospišil, A., Barion, G., Weigold, P., Streng, S., Krön, M., Würschum T. (2017): Identification of mega-environments in Europe and effect of allelic variation at maturity E loci on adaptation of European soybean. Plant Cell Environ, 40:765–778.

Silvertown, J. (2009): A new dawn for citizen science. Trends in Ecology and Evolution, 24: 467–471.

Worthington, J.P., Silvertown, J., Cook, L., Cameron, R., Dodd, M., Greenwood, R.M. et al (2012) Evolution MegaLab: a case study in citizen science methods. Methods in Ecological Evolution, 3: 303–309.

