

# חלבון אלטרנטיבי מהחי שיטות, אתגרים והשפעות סביבתיות

# פרקי העבודה

הקדמה

פרק 1 - סקירה תחליפיים אלטרנטיביים לחלבון ומוצרים מן החי טכנולוגיות וסטטוס

פרק 2 - אתגרי יצור בשר מתורבת

פרק 3 - תפקיד תהליכי הפרמנטציה בגידול בשר מתורבת ואתגרי ייצור בקנה מידה תעשייתי

פרק 4 - מים ושפכים ביצור חלבון אלטרנטיבי מהחי

פרק 5 - ההשפעה הסביבתית שלצריכת אנרגיה ביצור חלבון אלטרנטיבי מהחי

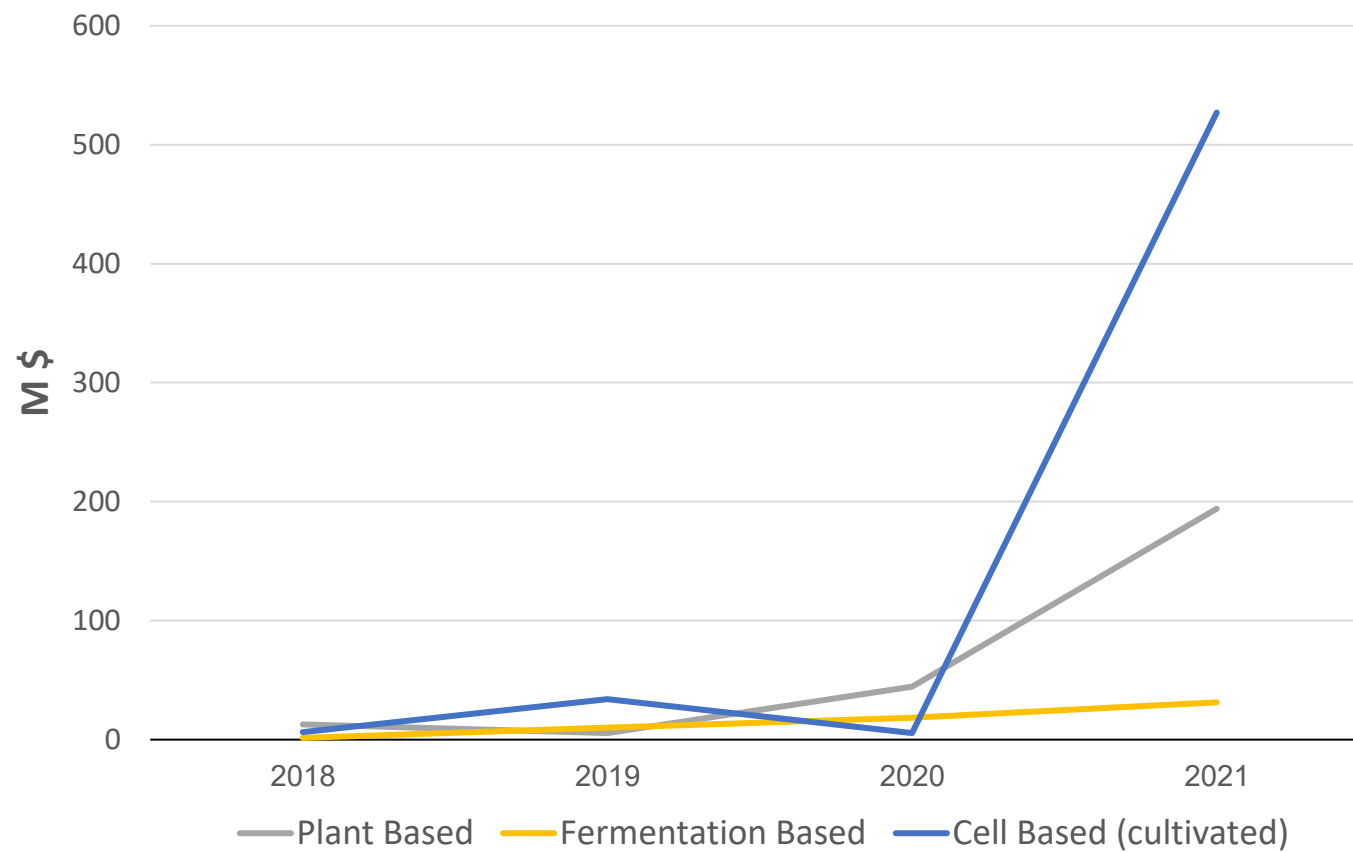
סיכום

עריכה

## העבודה הנוכחית מנסה להעריך:

- 1) את הדרישות התשתיות (מים, אנרגיה, שפכים, ציוד) אשר צפויות להיות לתעשייה עתידית של חלבונים אלטרנטיביים בישראל.
  - 2) את ההשלכות הסביבתיות של היצור ואת מידת "האלטרנטיביות" של אותן חלופות ביחס לחלבון מן החי.
- ✓ ההנחה הינה, כי לתעשייה עתידית של בשר מתורבת יהיה האימפקט המשמעותי ביותר, הן מבחינת היערכות תשתיתית והן מבחינת ההשלכות הסביבתיות **ולכן מרבית המצגות עוסקות בטכנולוגית הבשר המתורבת.**
- ✓ הנחה נוספת הינה כי הפרמטרים התשתיתיים והסביבתיים של ייצור חלבונים אלטרנטיביים באמצעות מיקרואורגניזמים בטכנולוגיית פרמנטציה, דומים ו/או בקנה מידה קרוב לזה של בשר מתורבת ולכן אינם נדונים בנפרד.
- ✓ סיבה נוספת למיקוד זה הינה תשומת הלב העולמית לתחום הבשר המתורבת והובלתו בגובה הגיוסים הכספיים (2021 - 2022) הן באקוסיסטם העולמי והן הישראלי בפודטק ובפער גדול מאוד.

### גיוסים בישראל - חלבונים אלטרנטיביים ע"פ טכנולוגיה (מיליוני \$)



❖ בתחום החלבון האלטרנטיבי בשר מתורבת הינו תת-הקטגוריה מובילה בגיוסים וזו המייצרת הכי הרבה עניין. לישראל 3 מהחברות הוותיקות ומהמובילות בתחום זה בעולם (Aleph Farms, Future Meat, Super Meat) ובסה"כ 9 חברות מתוך כ-50 בעולם. 5 מתוכן מתמקדות בפיתוח בשר "seafood" מתורבת.

❖ באפריל 2022 אושרה תכנית העבודה של מאגד "בשר מתורבת". הכוללת 10 חברות ו 8 קבוצות אקדמיה, בתקציב של כ 28 מיליון ₪ (תקופה א').

❖ סך התמיכה מצד רשות החדשנות לתחום, כולל המאגד, מצטברת לכ 48 מיליון ₪.



FUTURE MEAT



# מגבלות הסקירה

- ❖ עדיין לא קיימת תעשייה של בשר מתורבת, אלא רק ייצור בקנה מידה של פיילוטים בעלי ביוריאקטורים של עד כ 1,000 ליטר, ולכן לא ניתן לקבל נתונים המייצגים ייצור תעשייתי, אלא רק לבצע הערכות ואומדנים.
- ❖ מוצאן של טכנולוגיות בשר מתורבת הינו מתחום הפארמה ולכן חלק גדול מההערכות נסמך על אקסטרפולציה מהטכנולוגיה, אמצעי הייצור ומחירי התשומות הקיימים כיום בתחום הפארמה ואל גימלון לקנה מידה תעשייתי מעולמות המזון. תעשייה עתידית של בשר מתורבת תהיה תלויה בפריצות דרך טכנולוגיות על מנת שתוכל להתקיים וצפויה להן גם השפעה משמעותית על צריכת אנרגיה, ניצול מים וכמות שפכים.
- ❖ קיימים פערים בין הנתונים והטכנולוגיות המופיעים במאמרים ובסקירות ממקורות פתוחים, אשר היוו בסיס למצגות הבאות, לבין ההתקדמות הטכנולוגית אשר כבר מושגת בחברות הבשר המתורבת עצמן וטרם פורסמה.

# מקורות אלטרנטיביים לחלבון מן החי



## הקדמה

תחום החלבון האלטרנטיבי חווה צמיחה משמעותית בשנים האחרונות, והוא צפוי להמשיך להציג שיעור צמיחה גבוה בשנים הבאות. המוטיבציות המרכזיות הדוחפות ומאיצות את הפיתוח של טכנולוגיות ומוצרים בתחום נובעות בעיקר מהחשש לאפקט הסביבתי-אקלימי של הדרישה ההולכת וגוברת למזון מבוסס בע"ח וחקלאות תעשייתית של בע"ח, כחלק מהגידול הצפוי באוכלוסייה ולצידה גם החשש לביטחון אספקת המזון.

בחלק הראשון מוצגות ארבעת הקטגוריות האלטרנטיביות העיקריות לחלבונים, בשר וחלב מן החי וכן את היתרונות והחסרונות של כל אחת מהן להוות חלופה ראוייה בהיבטים הסביבתיים, התקבלותם הצרכנית (אורגנולפטית ופסיכולוגית) וכמובן במחיר שיאפשר את היותן חלופות סבירות.





## חלוקה על פי קטגוריות טכנולוגיות

- ❖ תחליפי בשר וחלב על בסיס חלבון ורכיבים מהצומח (plant based)
- ❖ תחליפי בשר (וחלב) על בסיס תרביות תאים (cultured)
- ❖ חלבונים ורכיבים מן החי המיוצרים ע"י מיקרואורגניזמים (fermentation)
- ❖ חלבון ורכיבים המופקים מחרקים כמקור אלטרנטיבי למזון



## תחליפי בשר וחלב על בסיס חלבון ורכיבים מהצומח (plant based)

הקטגוריה הוותיקה ביותר מבין הארבע. קיימת מעל 100 שנים בארה"ב והמערב ומאות שנים ומעלה במזרח הרחוק. עם זאת, הקטגוריה נותרה קטנה למדי במשך זמן רב במדינות המערביות ([פחות מ 350 מיליון \\$ בארה"ב בשנת 2001](#)) והייתה מיועדת בעיקר כאלטרנטיבה לצמחוניים וטבעוניים. החל מ-2010 חלה עלייה חדה בהיקפי הייצור והמכירות של התחליפים הצמחיים, במקביל לשיפורים טכנולוגיים אשר תרמו לדמיון גבוה יותר למקור מן החי. רבים ממוצרי "הדור החדש" של התחליפים הצמחיים נמצאים כבר בשוק האמריקאי אשר לבדו מוערך כיום בהיקף משמעותי – 1.4 מיליארד \$.

# תחליפי בשר וחלב על בסיס חלבון ורכיבים מהצומח (plant based)

## טכנולוגיות "הדור החדש" של תחליפי בשר על בסיס צמחי

פורמולציות מתקדמות לייצור מוצרים בסגנון "בשר טחון" שילוב של רכיבי מזון מתקדמים כגון רכזי חלבונים ממקורות צמחיים חדשים, שמנים צמחיים בעלי נקודת היתוך גבוהה, רכיבים רקומבינטיים (leghemoglobin), חומרי טעם ריח וצבע מרכזים טבעיים וכולי. מדובר בטכנולוגיה שאינה חדשה כמובן ליצירת עיסה/מסה ולאחר מכן עיצוב, אך ישנה חשיבות גבוהה במוצרים החדשים לסדר הוספת הרכיבים ליצירת המרקם הרצוי והחזקת מים מקסימלית.



# תחליפי בשר וחלב על בסיס חלבון ורכיבים מהצומח (plant based)

## טכנולוגיות "הדור החדש" של תחליפי בשר על בסיס צמחי

### ייצור בטכנולוגיות "הדפסה 3D"

המטרה להגיע למוצרים בעלי מרקם ונראות מורכבים המזכירים את המקור מן החי – בדרך כלל לנתחים שלמים. מתאפשרת יצירת מרקמים הטרוגניים ושילוב של 2-3 זרמי "דיו" (שומן צמחי חצי מוצק, תחליף "שריר", תחליף דם - הנושא עימו את הצבע ומרבית חומרי הטעם והריח). החסרונות – Limited Scalability ולפיכך גם מחיר גבוה יחסית לתחליפים צמחיים אחרים. המוצרים מסוג זה נמצאים באופן חלקי וראשוני בשוק.



# תחליפי בשר וחלב על בסיס חלבון ורכיבים מהצומח (plant based)

## טכנולוגיות "הדור החדש" של תחליפי בשר על בסיס צמחי

### טכנולוגיות ייצור מתווסף (Additive Manufacturing)

חלק מהמאפיינים מזכירים הדפסה ב 3D רק שבמקרה זה מדובר על פשרה המקנה מצד אחד Scalability, אך על חשבון רזולוציה מצד שני. גם במקרה זה מתקבלים "נתחים" ולא רק קציצות או כתיתות. המוצרים מסוג זה עדיין בשלבי פיתוח ואינם בשוק, אך ישנן קצת דוגמאות ראשוניות במיוחד בתחום תחליפי דגים וחזה עוף.



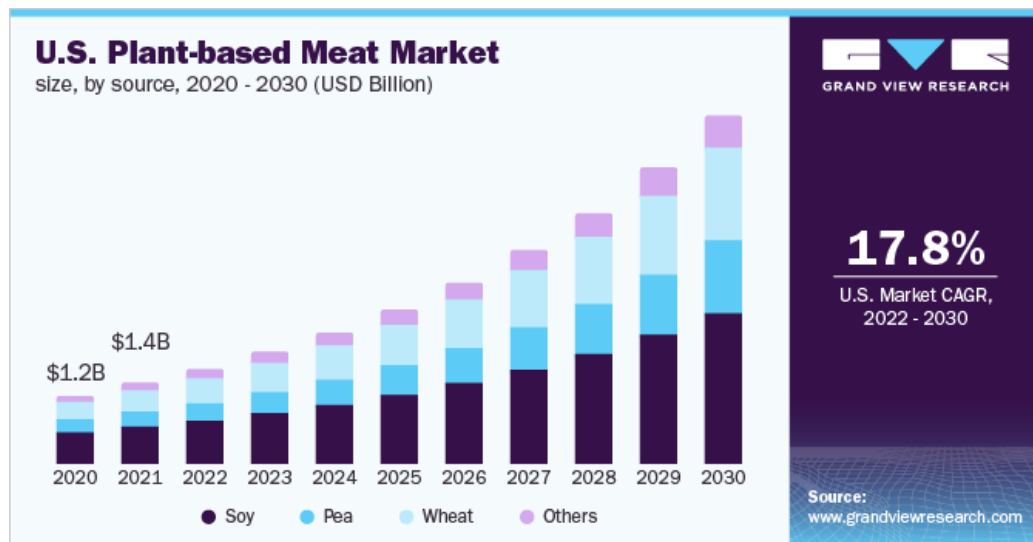
# תחליפי בשר וחלב על בסיס חלבון ורכיבים מהצומח (plant based)

## סטטוס רגולטורי

ברוב המקרים החסמים הרגולטוריים אינם משמעותיים, למעט מקרים בהם משולבים רכיבים רקומביננטיים (כמו ה leghemoglobin של impossible®) או שילוב חלבונים או רכיבים מצמחים אשר אין להם היסטוריה מתועדת של צריכה על ידי בני אדם.

## גודל השוק הנוכחי והחזוי

שוק התחליפים הצמחיים לבשר ובמיוחד תחליפי חלב צמח בקצב גבוה מאוד 8% לשנה משנת 2010.  
השוק הגלובלי לתחליפי חלב צמח בכ- 35% בשנים 2015-2019. גודלו של השוק האמריקאי לבדו בקטגוריית תחליפי הבשר מהצומח עמד על 1.4 ביליון \$ ב 2021.





## חסרונות

- קשה להגיע לתוצאות אורגנולפטיות משכנעות מספיק בדמיון לבשר
- טעמי לוואי וצורך במיסוך או הפגה של ארומה שלילית
- הפורמולציות במוצר הסופי כוללות בד"כ ריבוי תוספי מזון או רכיבים בכלל

## יתרונות

- זמינות חומרי הגלם ומחיר סביר
- חומרי הגלם מוכרים ונתפשים כבטוחים
- חסמים רגולטוריים נמוכים בד"כ
- חומר הגלם הכי "ירוק"; מקבע  $CO_2$  ומייצר חמצן.
- ככל הנראה האלטרנטיבה המשתלמת ביותר לסביבה והאקלים





## תחליפי בשר (וחלב) על בסיס תרביות תאים (cultured)

- הקטגוריה עדיין בהתהוות. מבוססת על ריבוי תאים מבעלי חיים In-Vitro בביוריאקטורים, תוך שימוש במדיום גידול שאינו מכיל רכיבים מן החי. מדובר על טכנולוגיה אשר מושאלת מתחום הפארמה והנדסת רקמות.
- האתגרים הטכנולוגיים והטכנו-כלכליים העומדים בפני תחום זה בהיבטי כמות ומחיר גבוהים מאוד. חלק מחברות הבשר המתורבת הותיקות יותר בונות מתקני פיילוט אשר ייצרו כמויות של עד מאות ק"ג/יום (על פי הדיווחים של אותן חברות), אם כי עדיין מדובר בקנה מידה קטן מאוד ביחס לייצור וצריכה של בשר מן החי ובד"כ מדובר בהכפלות של אמצעי ייצור (ביוריאקטורים) בעלי גודל מוגבל ולא על גמלון של הביוריאקטור עצמו.
- ישנם דיווחים סותרים אשר יוצאים מתוך החברות וארגונים שונים לגבי המחיר הנוכחי/ק"ג בשר מתורבת אליו הגיעו כיום. בהקשר זה ישנה גם תלות ושונות במחיר זה ע"פ הטכנולוגיה והמוצר הסופי המפותח ע"י כל חברה.
- עדיין לא ניתן לטעון שיש שוק והמכירה המאושרת היחידה מתקיימת כיום עבור מוצר בשר מתורבת [ספציפי](#) שקיבל אישור רגולטורי בסינגפור. הרגולציה למזון בקטגוריה זו אף היא עדיין בבחינה במרבית הגופים המרכזיים בעולם.



# תחליפי בשר (וחלב) על בסיס תרביות תאים (cultured)

## מגוון סוגי בשר מתורבת ע"פ טכנולוגיית מוצר סופי

### מוצרי בשר מתורבת המבוססים על מסת תאים ולא על רקמה

מדובר בתהליך הכולל כשלב ראשון, ריבוי של התאים (פרוליפרציה) עד הגעה למסה/צפיפות התאים המקסימלית האפשרית ולאחר מכן שלב של מיון התאים הפלוריופוטנטיים לסוג התא המבוקש (שריר, שומן, רקמת חיבור). בטכנולוגיה זו משתמשים בביוריאקטור עם בוחש והתאים בעצם מורחפים בתוך המיכל, לעיתים כתאים בודדים ולעיתים כצברי קטנים של תאים ע"ג מיקרו-נשאים. ניתן לגדל כך למשל תאי שומן כבש/פרה/עוף ([Future Meat](#)) או תאי שריר ורקמת חיבור ([Supermeat](#)) וכולי.

המוצר הסופי – יהיה בד"כ "היברידי ויכיל תערובת של חלבון צמחי (כמסה עיקרית) מעורבת עם המסה התאית ולבסוף יעוצב בלחץ או בשיחול לצורה של נאגטס, קבב, קציצות וכולי.



מתקן הפיילוט והמסעדה של Supermeat בישראל



מתקן הפיילוט של Future Meat ברחובות



## תחליפי בשר (וחלב) על בסיס תרביות תאים (cultured)

### מגוון סוגי בשר מתורבת ע"פ טכנולוגיית מוצר סופי

מוצרי בשר מתורבת המבוססים על רקמה/נתח שלם השלב הראשון בתהליך זה זהה – כלומר ריבוי מקסימלי של התאים בביוריאקטור עם בוחש. בשלב הבא המסה התאית מועברת לביוריאקטור שונה, ללא בוחש והתאים נזרעים על גבי פיגומים (scaffolds) אכילים הבנויים כמטריצה פרוזיבית (מעין "במבה" מחומרים כמו – סויה, צלולוז וכדומה). בשלב זה מדיום הגידול אינו זהה לשלב הראשון וכולל פקטורים להתמיינות והבשלה של התאים עד אשר נוצר תווך אחיד של רקמה המכסה את הפיגום. גם במקרה זה, הפיגום הצמחי מהווה את המסה העיקרית במוצר הסופי מטעמי עלויות ותמחיר. טכנולוגיה זו מאפשרת "נתח" שלם, אך יקרה ומורכבת יותר בכל ההיבטים.





# תחליפי בשר (וחלב) על בסיס תרביות תאים (cultured)

## חלב מתורבת (cultured)

### חלב המופק בטכנולוגית תרביות תאים

הפקת חלב המופרש מרקמת עטין המגודלת כתרבית In Vitro – למעשה מדובר גם במקרה זה בהגעה לגידול של תרבית בביוריאקטור, אשר אמורה להיות בעלת מסה משמעותית ולהפריש חלב. מדובר בטכנולוגיה ממש בתחילת דרכה וככל הנראה ישנה רק חברה אחת בישראל (ובעולם) המשתמשת בפתרון זה. היתרון הינו קבלת חלב דומה מאוד בהרכבו התזונתי, מולקולרי ובתכונותיו לחלב מן החי. עם זאת, כל אותם החסמים הטכנו-כלכליים הקיימים לבשר מתורבת, מתקיימים גם במקרה זה.



# תחליפי בשר (וחלב) על בסיס תרביות תאים (cultured)

## סטטוס רגולטורי

נכון לתחילת 2022 רק מוצר אחד (חברת Eat Just) אושר לשיווק בסינגפור. ישנה פעילות ערה של הגשות dossier לרשויות שונות בעולם ובראשן ה-FDA, SFA (סינגפור), Health Canada. בישראל - פיילוט משותף למשרד הבריאות בישראל עם רשות החדשנות וחברות בשר מתורבת ישראליות להסדרת "מזון חדש" למוצרי בשר. ההערכה הינה כי מוצרי בשר מתורבת יקבלו אישור רגולטורי לשיווק בהדרגה בשנתיים הקרובות.

## גודל השוק הנוכחי והחזוי

כאמור, כיום אין שוק פעיל בשל החסמים הטכנו כלכליים בשילוב חסמי רגולציה. קיימות הערכות בספקטרום רחב ביותר של תחזיות לגודל השוק העתידי ב-2030 ובכל מקרה אלו ניחושים. ההערכה אשר שימשה את בודקי מאגד בשר מתורבת שאושר לאחרונה, הייתה זו המחמירה ע"פ הדוח של Mckinsey העומדת על כ-25 מיליארד דולר ב-2030 כ-1.0% מגודל שוק הבשר מן החי החזוי לשנה זו.

## יתרונות

היתרון העיקרי והמשמעותי (וכנראה גם היחיד) של טכנולוגיה זו על פני שלוש האלטרנטיבות האחרות הינו הדמיון הגבוה הצפוי בהיבטים האורגנולפטיים לבשר מן החי. לכן הצפייה הינה שמוצרים על בסיס זה יצליחו "לשכנע" יותר צרכנים לעבור לתחליפים ו/או לכל הפחות להפחית בצריכת בשר מן החי בהשוואה לכל אחת מהאלטרנטיבות האחרות.

## חסרונות

### בגדול, אי ודאויות רבות ומשמעותיות

- מגבלות המחיר והיכולת לגמלון מלא (לפחות בטווח הקצר-בינוני)
- Capex גבוה
- Consumer Acceptance?
- בשלב זה, ככל הנראה אלטרנטיבה פחות טובה מהשלוש האחרות בהיבט הסביבתי
- מצריך רגולציה מורכבת והוכחת בטיחות, Novel Food, GRAS וכו'





## חלבונים ורכיבים מן החי המיוצרים ע"י מיקרואורגניזמים (Fermentation)

קטגוריה חדשה לייצור רכיבי מזון, למרות שהטכנולוגיה כשלעצמה מיושמת כבר בפארמה ובביוטק. הרעיון הוא להשתמש בתאים של מיקרואורגניזמים (חיידקים, שמרים, אצות חד-תאיות) כמפעלים לייצור רכיבי מזון ממקור אנימאלי (או צמחי) בשיטות של הנדסה גנטית. האתגר הינו להגיע לביטוי וייצור גבוהים ככל הניתן (g/L) של אותו רכיב רקומביננטי בתהליך של פרמנטציה נוזלית במכלי תסיסה, ולפתח תהליכי down-stream פשוטים וזולים ככל האפשר להפרדה וניקוי התוצרים.



# חלבונים ורכיבים מן החי המיוצרים ע"י מיקרואורגניזמים (Fermentation)

שתי החברות הוותיקות\* בתחום זה, אינן ישראליות ומוצריהן כבר קיבלו אישור רגולטורי לשיווק (חלבונים רקומביננטיים). עם זאת המוצרים נמכרים עדיין בהיקף נמוך וככל הנראה גם מיוצרים בהיקפים מוגבלים בשל מגבלות הגמלון.

בישראל פעילות בתחום זה החברות: [Remilk](#) ו [Imagindairy](#) (חלבוני חלב) וחברת [Eggmented Reality](#) (חלבוני ביצה)

חברת [Perfect Day](#)\* פיתחה ומייצרת חלבוני חלב (חלבוני מי גבינה) רקומביננטיים המיוצרים בשמרים. המוצר הסופי לאחר ניקוי הינו אבקתי ומשמש כחומר גלם לייצור מגוון "מוצרי חלב" ללא רכיבים מן החי, אך עם תכונות וקירבה גבוהה יותר מהתחליפים הצמחיים. מכירות 2021 מוערכות בכ 42 מיליון \$

חברת [The Every Company](#)\* פיתחה ומייצרת חלבון ovalbumin רקומביננטי של תרנגולת בשמרים. המוצר הסופי לאחר ניקוי הינו אבקתי ומשמש כחומר גלם למזון במקום חלבון ביצה. [מכירות מוערכות בכ 6 מיליון \\$.](#)



# חלבונים ורכיבים מן החי המיוצרים ע"י מיקרואורגניזמים (Fermentation)

## סטטוס רגולטורי

הרגולציה של כל רכיב (והתהליך) המיוצר בקטגוריה זו צריך לעבור דרך מסלולי GRAS/Novel Food ולהוכיח כי הוא בטוח לצריכה. עד כה מספר מוצרים רקומבינטיים כבר קיבלו אישור לשיווק כרכיבי מזון בארה"ב ובאירופה. בישראל שתי חברות המייצרות חלבונים בטכנולוגיה זו משתתפות אף הן בפיילוט הרגולטורי המשותף למשרד הבריאות ורשות החדשנות.

## גודל השוק הנוכחי והחזוי

אמנם מספר מצומצם של חברות בתחום החלו בשיווק המוצרים, אך לא ניתן עדיין לטעון שקיים שוק משמעותי ופעיל וכמו במקרה של בשר מתורבת, גם שוק זה הינו בהתהוות. שוק היעד למרבית המוצרים בקטגוריה זו יהיה שוק ה Ingredients לתעשיית המזון וכאמור הם יתמודדו עם תואמיהם הטבעיים מן החי הקיימים בשוק. שוק היעד גדול מאוד, אך בפועל יוכתב על פי מידת התחרותיות של הרכיבים הרקומבינטיים במחיר ובפונקציונליות אל מול הרכיבים מן החי.



## יתרונות

- מתאפשר ייצור של חלבונים ורכיבים אשר מקורם מן החי כחומרי גלם חליפיים לתעשיית המזון (חלבוני חלב, ביצה, המוגלובין וכולי).
- פלטפורמה ורסטילית מאוד
- הרכיבים הינם nature identical או קרוב לכך

## חסרונות

- גם במקרה זה החסמים הינם טכנו-כלכליים ומשמעותיים מאחר והרכיבים אמורים להתחרות עם commodities. עם זאת האתגרים מוערכים כנמוכים יותר ביחס לבשר מתורבת.
- Capex גבוה
- מצריך רגולציה מורכבת והוכחת בטיחות, Novel Food, GRAS וכו'





## חלבון ורכיבים המופקים מחרקים כמקור אלטרנטיבי למזון

חרקים מהווים מקור מזון לבני אדם בחלקים שונים של העולם באופן תדיר ומסורתי משחר ההיסטוריה (כולל אכילת חגבים במזרח התיכון ונחשבים גם לכשרים ע"פ זרמים שונים ביהדות. מהבחינה התזונתית - חרקים אכילים מכילים ריכוז גבוה של חלבונים, חומצות אמינו, חומצות שומן וויטמינים כמו ביוטין וחומצה פולית. עם זאת, במרבית העולם המערבי, ההתקבלות הצרכנית של מוצרים מבוססי חרקים נמוכה וקיים אפקט "גועל" פסיכולוגי. חברות הפודטק הפעילות בתחום זה מנסות בעצם להנגיש את החרקים למדינות המערב, כרכיבים/חומרי גלם אבקתיים עבור תעשיית המזון ולא כחרקים שלמים מיובשים כמו במדינות בהם הם נצרכים באופן מסורתי, כך שהצרכן מקבל מוצר מזון "רגיל" בנראות (והאתגר שיהיה גם "רגיל" בטעם...).

# חלבון ורכיבים המופקים מחרקים כמקור אלטרנטיבי למזון

בעולם עוסקות בתחום זה מספר עשרות חברות אגריפוד, חלקן כבר על בסיס מסחרי. האתגרים הטכנולוגיים מתחלקים לשניים:

Pre-Harvest - פיתוח חוות לגידול אינטנסיבי ורבוטי ככל הניתן של החרקים עצמם  
Post Harvest - פיתוח טכנולוגיות לעיבוד החרקים למוצרים אבקתיים + שמן בדגש על הפגת טעמי לוואי.

משפחות החרקים הדומיננטיות כמקור למזון הינן *Coleoptera* (חיפושיות), *Orthoptera* (חגבים) וגם חרקים מעופפים או רימות שלהם דוגמת זבוב החייל השחור *Hermetia illucens*.





## חלבון ורכיבים המופקים מחרקים כמקור אלטרנטיבי למזון

שתי הנציגות הישראליות הבולטות בתחום זה הינן "[חרגול פודטק](#)" המפתחת מוצרים על בסיס חגבים ו [Flying Spark](#) המפתחת מוצרי על בסיס רימות זבוב החייל השחור.

### FLYING SPARK

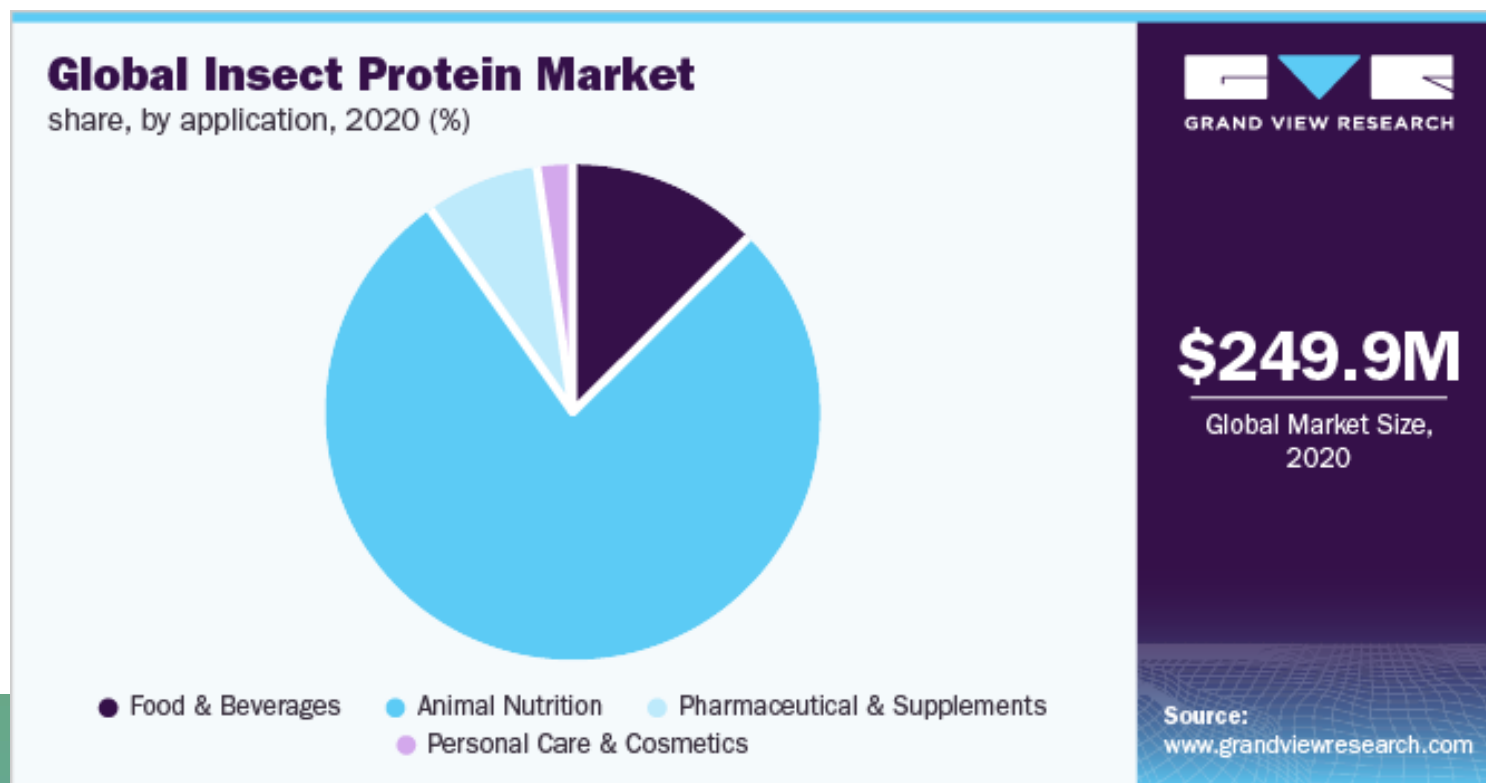




# חלבון ורכיבים המופקים מחרקים כמקור אלטרנטיבי למזון

## גודל השוק הנוכחי והחזוי

השוק הגלובלי לחלבון ומוצרי חרקים עמד על כ 250 מיליון \$ בשנת 2020 . מרביתו משמש להזנת בעלי חיים כאשר צריכה ישירה כמזון לבני אדם נמצאת במקום השני והרבה מאחור....

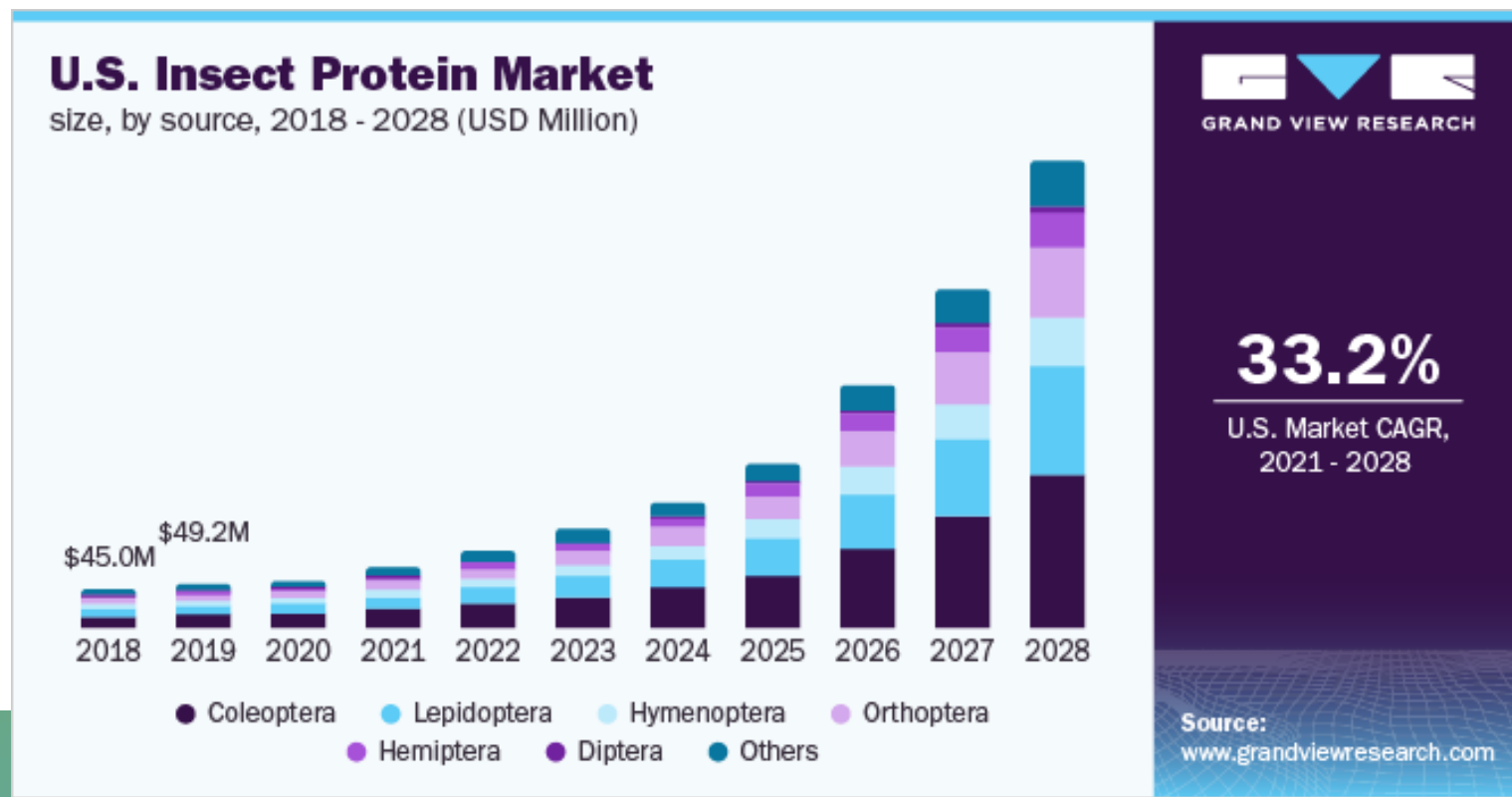




# חלבון ורכיבים המופקים מחרקים כמקור אלטרנטיבי למזון

## גודל השוק הנוכחי והחזוי

ההתקבלות הצרכנית לחרקים כמזון באירופה מעט גבוהה יותר מאשר בארה"ב. עם זאת גם בארה"ב ישנו שוק הולך וגדל לחרקים כמזון והתחזית הינה לצמיחה מהירה בשנים הבאות



## חסרונות

- ההתקבלות הצרכנית בעולם המערבי נמוכה ונדרש חינוך/הסתגלות. אפקט הגועל...
- פוטנציאל אלרגני גבוה
- טעמי / ארומות לוואי "זרות" שקשה למסך
- מדובר במזון מן החי ולכן פלח האוכלוסייה הנמנע מצריכת בע"ח מטעמים מצפוניים צפוי להימנע גם מצריכת חרקים.
- צורך בהסדרה רגולטורית בחלק המקרים כ- Novel Food

## יתרונות

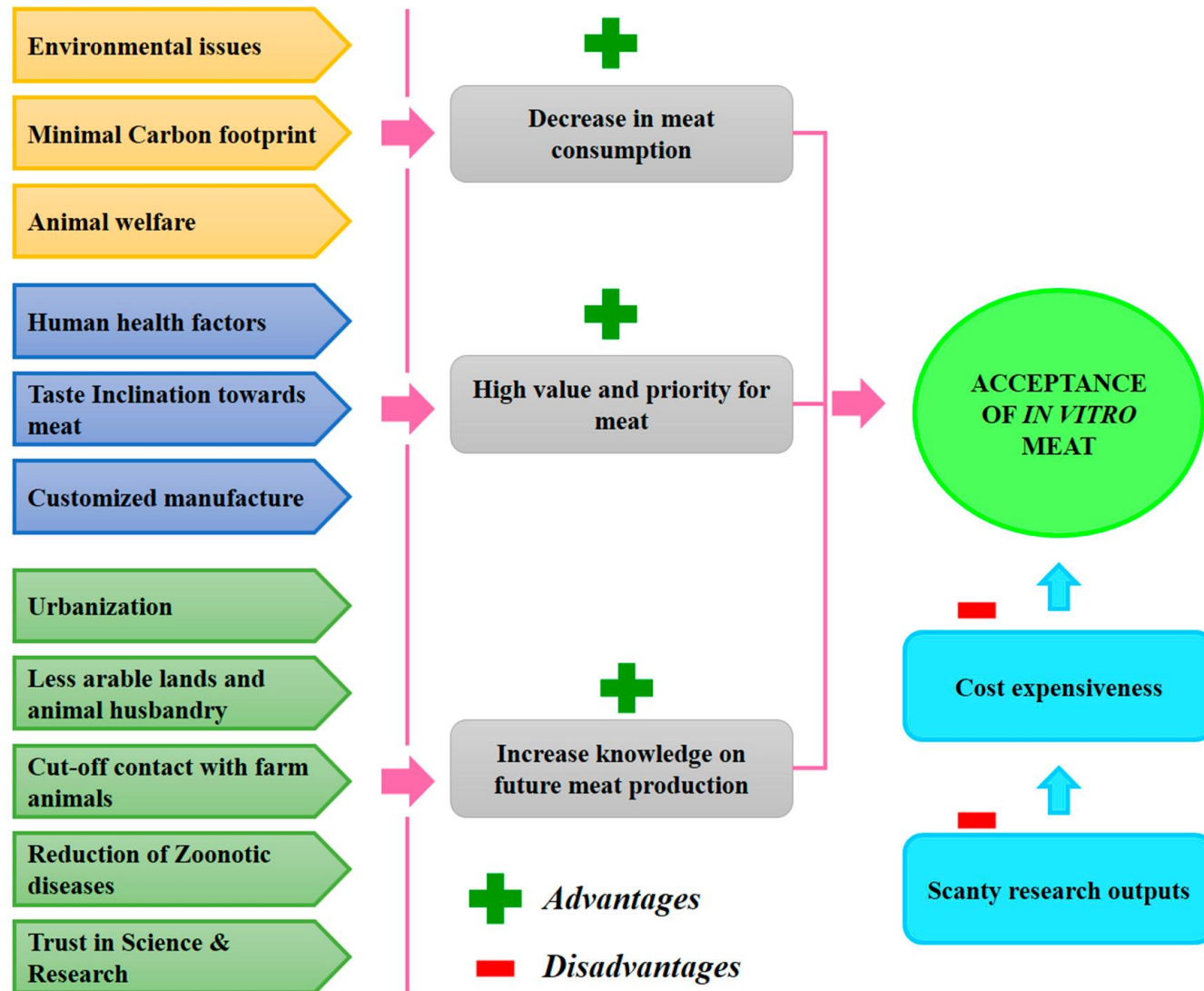
- החסמים הטכנולוגיים והכלכליים אינם גבוהים ביחס למזונות הביוטכנולוגיים
- אלטרנטיבה ירוקה – הנטל הסביבתי של גידול חרקים נמוך.
- ערכים תזונתיים טובים
- חרקים נתפשים כמזון טבעי ובטוח למאכל



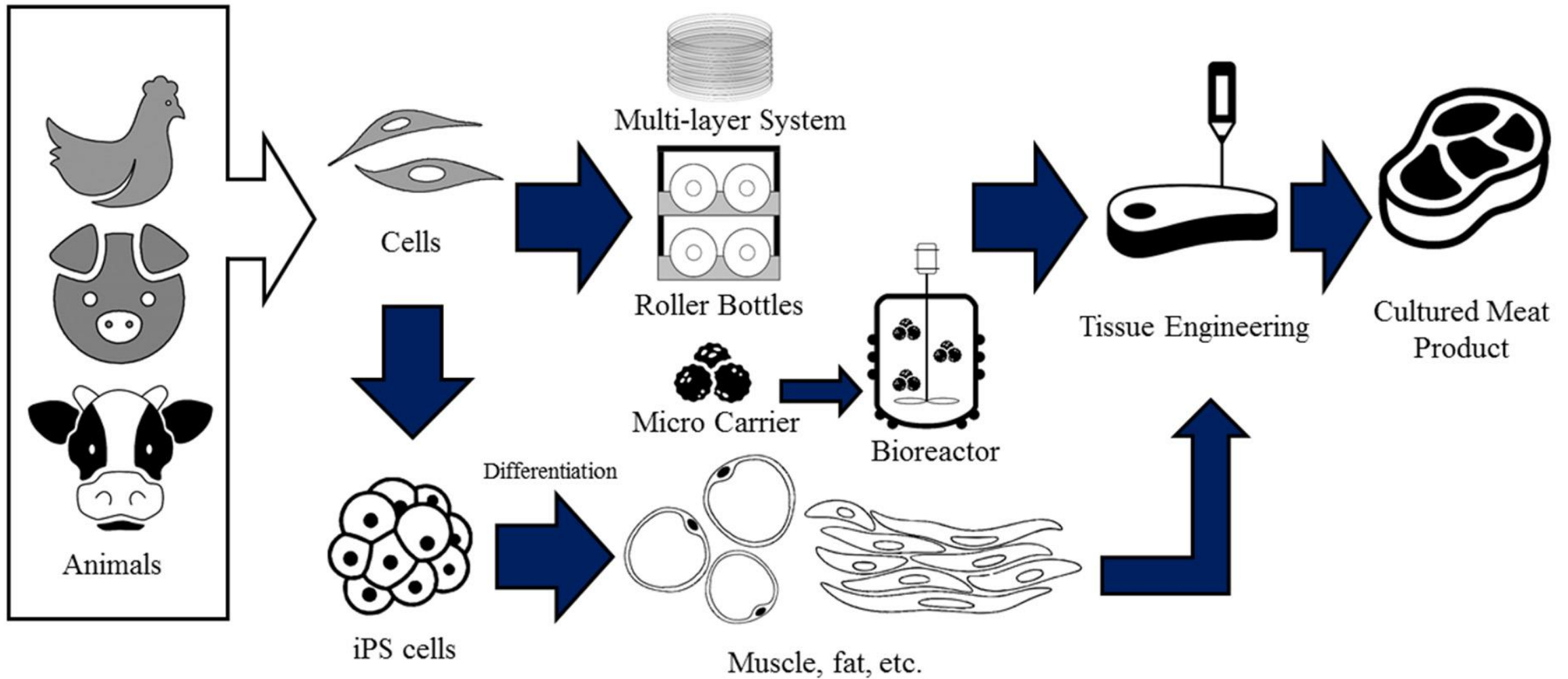
# אתגרי יצור בשר מתורבת



# סדר היום העומד בבסיס קידום קבלת בשר מתורבת



# תיאור סכמתי של עקרונות ייצור בשר מתורבת



## עלויות גבוהות

כדוגמא לבעיית העלות ניקח את אחד מהמחקרים הטכנו-כלכליים הרציניים בתחום הבשר המתורבת (מסה, לא מובנה) בו הציג \* David Humbird (2020) מודלים של עלות הייצור הנמוכה ביותר אליו ניתן להגיע. עלות זו נעה בין 37-50 דולר לק"ג, כאשר בחנויות מחיר זה יגיע לסביבות 90 דולר. כיום מחיר של ק"ג בשר טחון בחנויות בארה"ב נע סביב 5 דולר לק"ג. חברת MOSA MEAT פרסמה שעלות המבורגר שלהם (לא דווח המשקל) ירדה מ 200,000€ בשנת 2013 ל 9€ בשנת 2020.

## הגמלון

בכדי שלבשר המתורבת יהיה אימפקט משמעותי אמיתי, תעשיית זו צריכה לצמוח בצורה אשר לא נראתה קודם בתחומי הביו-פארמה, הפרמנטציה או הביוטכנולוגיה. ע"פ דוח McKinsey (2021), כדי להשיג החלפה של 1% משוק החלבון למאכל ע"י בשר מתורבת, יהיה צורך ב- 220-440 מיליון ליטר של יכולות פרמנטציה. לשם המחשה יכולות הפרמנטציה של כל תעשיית הביו-פארמה כיום עומדות סביב 25 מיליון ליטר. הייצור יחייב גידול בנפח הביוריאקטורים של 10,000-20,000 ליטר כאשר עד כה הניסיון הוא במספר מאות ליטרים של פרמנטציה תאית אנימלית בלבד.

## המגבלות הביולוגיות

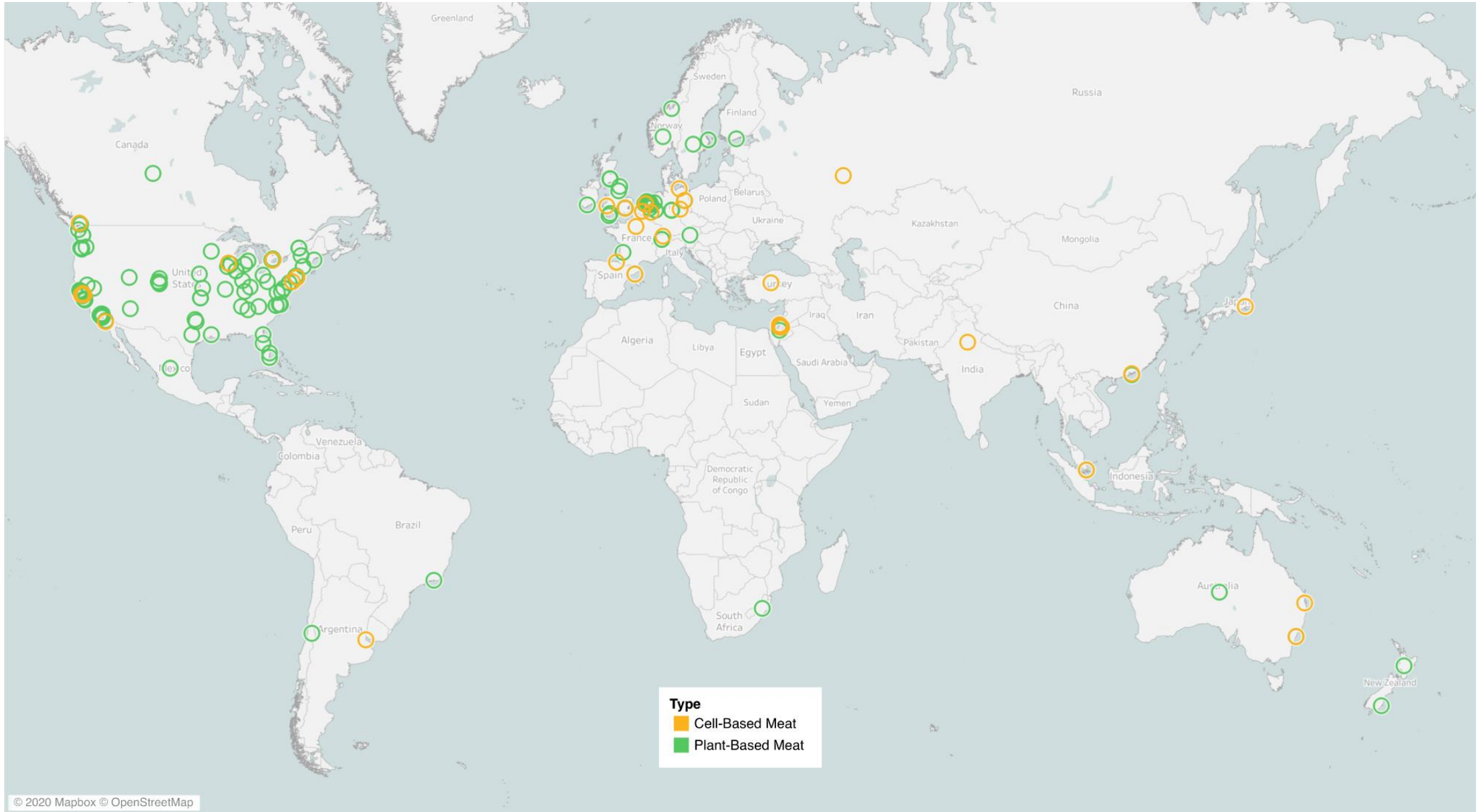
נושא בו קיימים חילוקי דעות גדולים הוא, האם ניתן להביא את החקלאות התאית לכדאיות כלכלית או שהמגבלות הביולוגיות והפיזיקליות בלתי ניתנות למעבר. בהיבט המדעי השאלה הבסיסית היא כמה תאים ניתן לדחוס לפרמנטור מבלי שהתאים ימותו בתהליך הגדילה? והאם הכמות תוכל להצדיק כדאיות כלכלית? כאשר מעבר לריכוז מסוים הצמיגות לא תאפשר בחישה טובה, הגעת חמצן וחומרי מזון כמו גם פינוי חומרי פסולת.

**בנוסף קיימים אתגרים שונים נוספים כמו רגולציה, קבלת acceptance, שינויים גנטיים (GMO) כן/לא, סטריליות ועוד**

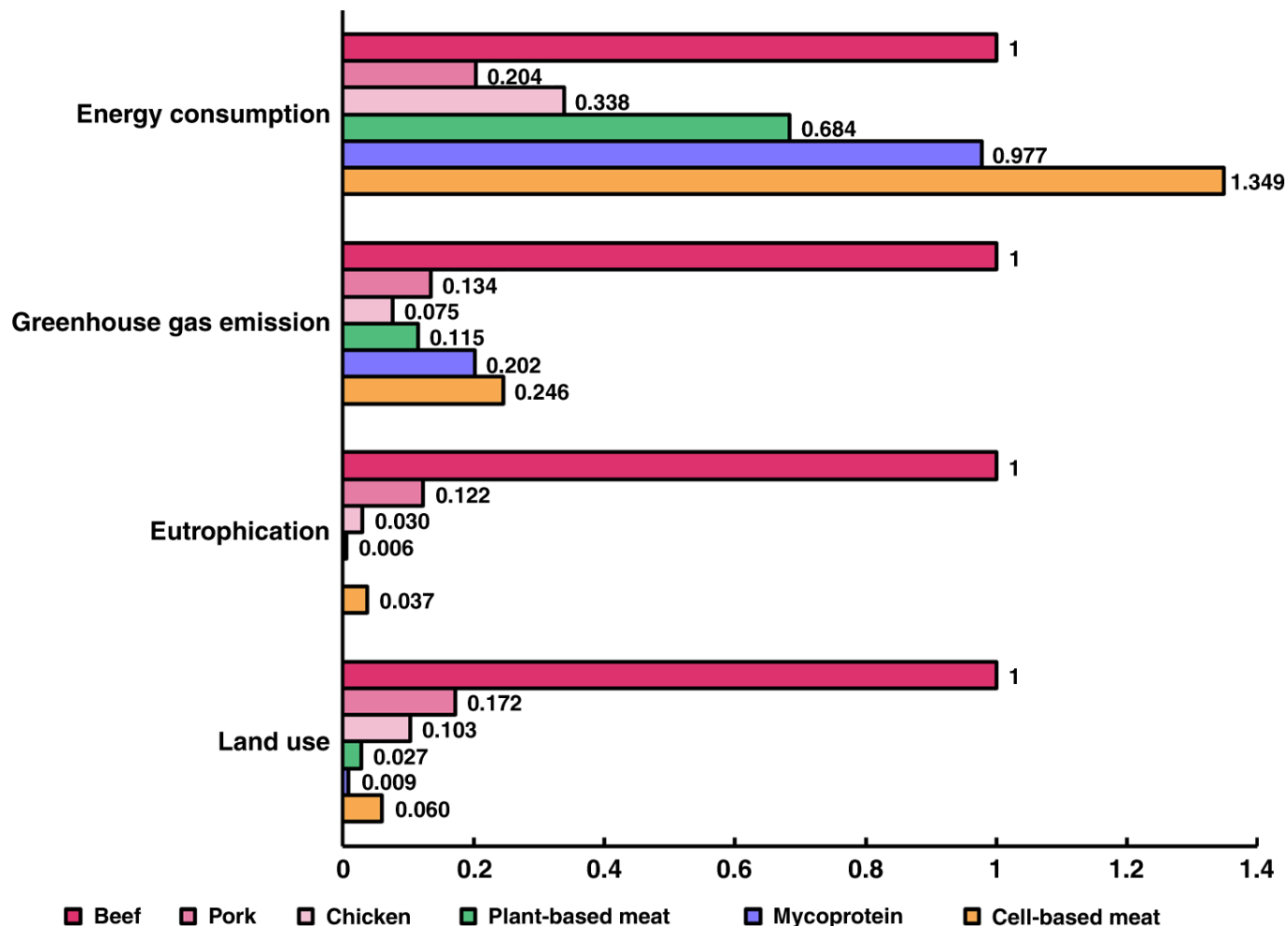


Species	Company	Product	Manufacture year	Country
Chicken meat	JUST	Chicken nugget	2019	USA
	Memphis Meats	Chicken tender	2017	USA
	Peace of Meat	Chicken nugget	2020	Belgium
	Future Meat Technologies	Shawarma	2019	Israel
Duck meat	JUST	Duck pâté & chorizo	2020	USA
	Memphis Meats	Nugget	2019	USA
	Gourmey	Foie gras	2020	France
Beef	Mosa Meat	Burger	2013	Netherlands
	Memphis Meats	Meat ball	2016	USA
Pork	Higher Steaks	Pork belly and bacon	2020	UK
	New Age Meats	Pork sausage	2019	USA





# השפעה הסביבתית של בשר למאכל ומקורות בשר אלטרנטיביים



בהתבסס על התהליכים הקיימים כיום יש צפי להשפעות סביבתיות שליליות גבוהות של הבשר המתורבת בצריכת אנרגיה ופליטת גזי חממה יחסית לתעשיות מקבילות למעט גידול בקר בחלק מהמדדים.

Data are normalized to the impact of beef production. Eutrophication does not include data for mycoprotein. Land, emissions and energy data for mycoprotein were adapted from a 2015 LCA<sup>72</sup>. Data for beef, pork, chicken and CBM were adapted from a 2015 life cycle assessment<sup>75</sup>. Data for PBM were adapted from an Impossible™ Beef LCA (land, eutrophication, emissions) and a Beyond Meat® life cycle assessment (energy use)<sup>70,71</sup>.

Rubio, N.R., Xiang, N. & Kaplan, D.L. Plant-based and cell-based approaches to meat production. *Nat Commun* 11, 6276 (2020).



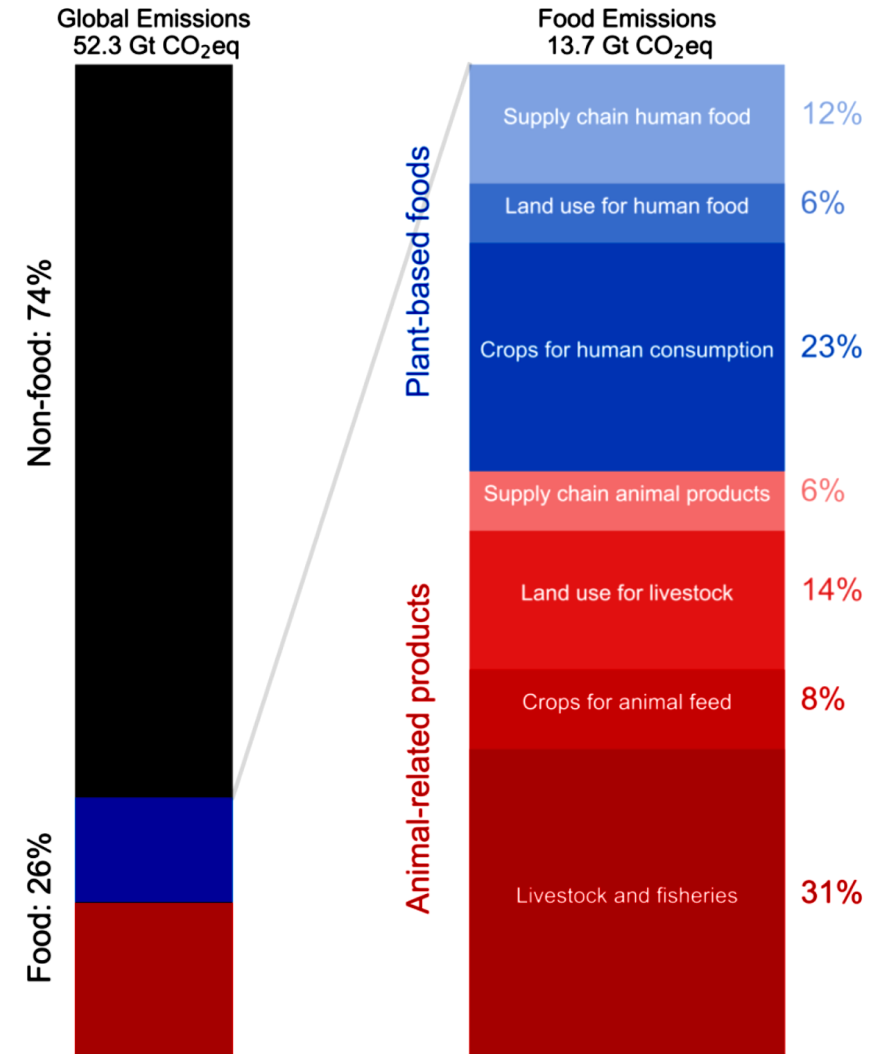


# פליטת גזי חממה בתעשיית המזון

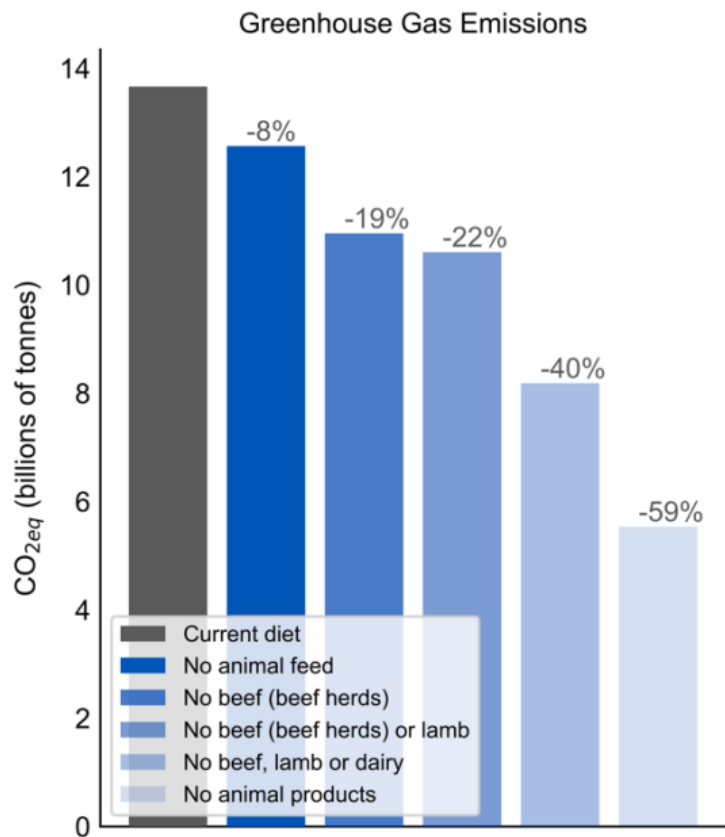
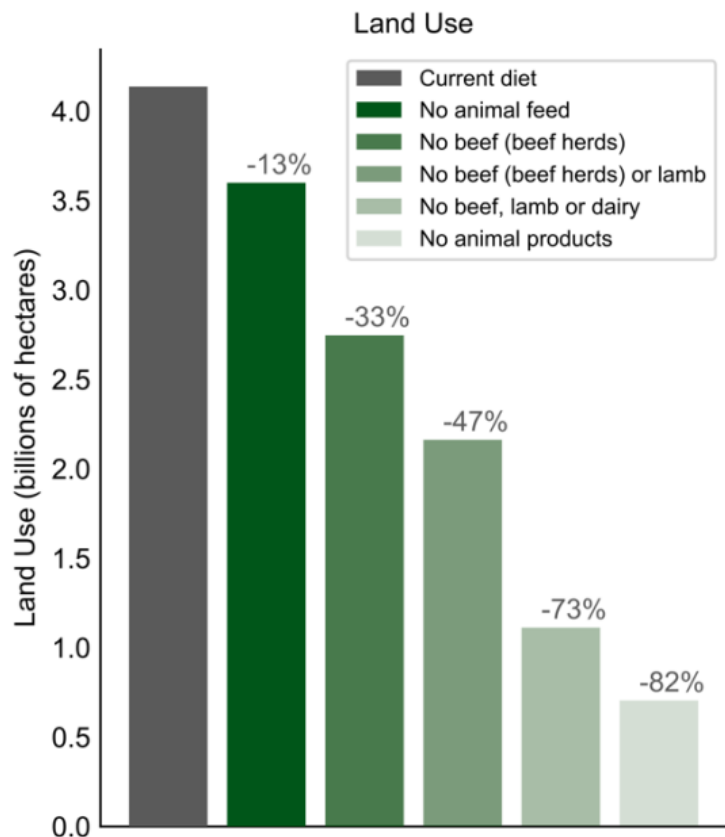


כמעט 16% מכלל פליטות גזי החממה העולמי משויכים למוצרי מזון. כמעט 60% מכלל פליטות גזי חממה המשויכים למוצרי מזון קשורים לבעלי חיים (בשר, דגים, מוצרי חלב, ביצים וכו').

**The climate impact of alternative proteins.** Katherine Collett, Brian O'Callaghan, Mike Mason, Charles Godfray and Cameron Hepburn. Oxford Smith School of Enterprise and the Environment May 2021  
Based on data from: Poore and Nemecek, "Reducing food's environmental impacts through producers and consumers," Science, vol. 360. pp. 987–992, 2018.



# השינוי בניצול קרקע ובפליטת גזי חממה במקרי קיצון בהם לא יאכלו יותר גידולי בשר חקלאיים שונים



דוח זה אינו מתעמק במורכבות של בחינת פרופילים תזונתיים, ויש לציין שמוצרים הקשורים לבעלי חיים מכילים רכיבים תזונתיים מסוימים (ויטמינים, מינרלים וחומצות שומן) אשר יצטרכו להגיע ממקומות אחרים כדי לשמור על תזונה מאוזנת היטב. פרטים על פרופילים תזונתיים של חלבונים אלטרנטיביים ניתן למצוא בפרסום Nature 2018 Sustainability מאת Parodi et al.

Based on data from: Poore and Nemecek, "Reducing food's environmental impacts through producers and consumers," Science, vol. 360. pp. 987–992, 2018.





## כלכלית

התקדמות הטכנולוגית וההתעצמות של חקלאות בעלי החיים הביאו לזמינות ומחירים נמוכים של מוצרי הבשר מן החי. למרות שתשומות הייצור של תחליפי בשר מן הצומח (כלומר, חלבונים צמחיים לא מעובדים) הן בבסיסן פחות יקרות מאשר עבור בשר מן החי, המחירים הקמעונאיים של תחליפים מן הצומח גבוהים באופן עקבי בשל עלויות הקשורות לעיבוד חומרי הגלם, היקף הייצור ושרשרת האספקה. הייצור הנוכחי הצפוי של בשר מתורבת אינו אפשרי מבחינה מסחרית. עליה בהיקף הייצור (סקאלות גבוהות) והפחתות בעלות מצעי הגידול נחוצים לשיפור בכדאיות הכלכלית של התהליך.

## רגולציה

הרגולציה של מזונות חדשים כמו חלק ממוצרי תחליפי בשר מן הצומח וכל מוצרי הבשר המתורבת הוא נושא בעל אינטרס עצום הנמצא כעת על השולחן, למעשה אין תקדים לפיקוח על מזון המכיל תאים מתורבתים. תוספים חדשים עבור תחליפי בשר מן הצומח עשויים להיכנס למסגרות רגולטוריות קיימות למשל, Novel Food Regulation (Europe) ו- "Generally Recognized as Safe" (United States), אך המצב שונה לגבי בשר מתורבת וההגדרות החוקיות של מה ניתן לאפיין כבשר.



## תכונות אורגנולפטיות

המאפיינים התחושתיים העיקריים של בשר הם מראה, ארומה, טעם ומרקם. מוצרי הבשר המתורבת החדשים שבפיתוח, מצליחים יותר ויותר לחקות מוצרי בשר רגילים מעובדים (למשל, המבורגרים, בשר מעדנייה). אסטרטגיות נוכחיות לייצור מוצרי תחליפי בשר מהצומח מבניים (למשל, פילטים, סטייקים וכו') כוללים אקסטרוזיה, טכנולוגיית shear cell, הדפסת תלת ממד וטיפול מיצלים פטריות (תפטיר הינה רשת הקורים המהווים את גוף הפטרייה). נראה כי אבות טיפוס ראשונים של מוצרי בשר מתורבת מתקרבים לחקות מחקים את מוצרי הבשר הרגיל, אך מעטים האנשים שהצליחו לבחון את הדגימות הללו עד כה. המשוב הסנסורי הראשון שפורסם על אב טיפוס של בשר מתורבת (כלומר, תאי פרה על פיגום חלבון סויה בעל מרקם) דיווח על "טעם בשרי נעים" ו"נגיסה ומרקם בשר אופייניים".

## תזונה

בשר מן החי הוא מקור טוב לחומצות אמינו חיוניות, מינרלים וויטמינים. כמה יתרונות תזונתיים של תחליפי בשר מסורתיים כוללים, היעדר כולסטרול תוך מתן מקור לסיבים תזונתיים וחומצות שומן בריאות. שיפורים בתכונות אורגנולפטיות עשויות לבוא במחיר של פגיעה בהיבטים תזונתיים מסוימים. לדוגמה, מוצרי תחליפים צמחיים בולטים מכילים תכולת נתרן גבוהה. אין עדיין מערכי נתונים פתוחים לציבור לגבי הפרופיל התזונתי של בשר מתורבת. תומכי הטכנולוגיה טוענת שניתן לווסת את הערכים תזונתיים אלו על ידי התאמות במצעי הגידול, יישום תרביות תאים משותפות (co-culture), ו/או שינויים גנטיים.



## בריאות ציבור

צריכת יתר של בשר אדום ומעובד נקשרה במשך השנים למספר בעיות בריאותיות. קיימות מספר ראיות שהחלפת מוצרי בשר בתחליפים צמחיים יכולה להפחית את גורמי הסיכון הקשורים למחלות לב וכלי דם. בהשוואה למוצרי בשר רגיל, ייצור תחליפים צמחיים קשור פחות למחלות זיהומיות ולבעיות עמידות לאנטיביוטיקה. ההשפעה של בשר מתורבת בנושאי בריאות הציבור תלויה כיצד יתפתחו תהליכי הייצור בקנה מידה גדול (למשל, תהליכים סטריליים, שימוש באנטיביוטיקה). נשמעו דאגות לגבי הבטיחות העתידית של מוצרי הבשר המתורבת, תוך שהם מציינים את החשש מפני חוסר טבעיות של המוצרים והיעדר תקנות מספקות.

## קיימות וסביבה

מספר Life cycle analyses הגיעו למסקנה כי מוצרי תחליפי הבשר הצמחיים הם בדרך כלל בעלי קיימות סביבתית (environmentally sustainable) יותר מאשר בשר בקר מן החי. מדדים מסוימים (למשל, פליטת גזי חממה, צריכת אנרגיה) עבור חלק ממוצרי תחליפים צמחיים חדשניים הם פחות ברי קיימא בהשוואה לבשר עוף מן החי. צריכה של מים במוצרי תחליפי הבשר הצמחיים משתנות מאוד בהתאם למקור החלבון העיקרי. ההשפעה הסביבתית של בשר מתורבת שנויה במחלוקת רבה, כאשר הערכות ראשוניות מציגות דרגות משמעותיות של אי ודאות; במיוחד עבור ערכי צריכת אנרגיה.



	Fed-batch	Perfusion
Production rate (kTA)	6.8	6.9
Total bioreactor volume (m <sup>3</sup> )	649	197
Total FTE	95	132
<i>Capital costs</i>		
Production bioreactors	\$34M	\$83M
Seed bioreactors	\$23M	\$9M
Perfusion equipment	-	\$89M
Media prep	\$17M	\$41M
Dewatering	\$4M	\$2M
O <sub>2</sub> PSA	\$21M	\$19M
CIP	\$10M	\$9M
Other equip	\$22M	\$43M
Production clean room	\$40M	\$49M
Lab clean room	\$4M	\$3M
Other buildings	\$5M	\$13M
Total direct cost	\$178M	\$360M
Engineering and construction	\$107M	\$216M
Fees and contingencies	\$43M	\$86M
<b>Total capital investment</b>	<b>\$328M</b>	<b>\$663M</b>

הערכת עלות ההשקעה הצפויה בציוד להקמת מפעל יצור בשר מתורבת נעה בין 663-328 מיליוני דולר, כתלות בשיטת הגידול ובהנחה של גידול כ- 7,000 טון בשר מתורבת בשנה

Fed-batch cell culture Process - 24 × 20 m<sup>3</sup> bioreactors  
 Perfusion cell culture Process – 96 x 2 m<sup>3</sup> bioreactors



# תרחישים תאורטיים לעלויות ייצור בשר מתורבת

מודל תאורטי לתרחישים שונים לייצור בשר מתורבת\* בהנחה של החלפת 1% (121,000,000 ק"ג/שנה) מייצור הבשר בארה"ב  
 תרחיש 1 מבוסס על התנאים והעלויות של מדיום הגידול בשנת 2019 – 437,000 דולר/ק"ג עלות בשר מתורבת (נתח)

Scenario	Achievable cell concentration (cells/ml)	FGF-2 conc. (g/L)	FGF-2 cost (USD/g)	Glucose concentration in basal media (mol/L)	Glucose consumption rate per cell (mol/ h cell)	Hours per doubling (h)	Maturation time (h)	Total required bioreactors	Volume of media needed for annual production (L)	Minimum price of ACBM to meet annual capital and operating expenses (USD/kg)
1	$1.00 \times 10^7$	$1.00 \times 10^{-4}$	$2.05 \times 10^6$	$1.78 \times 10^{-2}$	$4.13 \times 10^{-13}$	24.0	240	5205	$1.40 \times 10^{11}$	$4.37 \times 10^5$
2	$9.5 \times 10^7$	$5.00 \times 10^{-5}$	$1.00 \times 10^6$	$2.67 \times 10^{-2}$	$2.07 \times 10^{-13}$	16	156	360	$3.06 \times 10^{10}$	$5.72 \times 10^4$
3	$9.5 \times 10^7$	$5.00 \times 10^{-5}$	0	$2.67 \times 10^{-2}$	$2.07 \times 10^{-13}$	16	156	360	$3.06 \times 10^{10}$	$4.45 \times 10^4$
4	$2.00 \times 10^8$	0	0	$3.56 \times 10^{-2}$	$4.13 \times 10^{-14}$	8	24	50	$8.56 \times 10^8$	1.95

**Scenario 1** represents a baseline scenario which utilizes a 2019 baseline cost estimate of Essential 8 media from a Good Food Institute report.

**Scenario 2** represents a mid-point scenario between Scenarios 1 and 4.

**Scenario 3** is identical to Scenario 2 except FGF-2 growth factor costs are eliminated.

**Scenario 4** is a scenario where nearly all technical challenges are resolved.

Risner, D.; Li, F.; Fell, J.S.; Pace, S.A.; Siegel, J.B.; Tagkopoulos, I.; Spang, E.S. Preliminary Techno-Economic Assessment of Animal Cell-Based Meat. *Foods* 2021, 10, 3.

\*ACBM - animal cell-based meat



Scenario	Total Required Bioreactors	Volume of Media Needed for Annual Production (L)	Minimum Price of ACBM <sup>1</sup> To Meet Annual Capital and Operating Expenses (USD/Kg)
1	5205	$1.40 \times 10^{11}$	$4.37 \times 10^5$
2	360	$3.06 \times 10^{10}$	$5.72 \times 10^4$
3	360	$3.06 \times 10^{10}$	$4.46 \times 10^4$
4	50	$8.56 \times 10^8$	1.95

<sup>1</sup> Animal cell-based meat (ACBM).

המודל להערכת עלות בשר מתורבת מהתבסס על עקרונות ביולוגיה תאית ומוסכמות של הנדסת כימיקלים/תהליכים. בנוי המודל זיהו שישים ושבעה משתני מפתח מתוכם 9 משתנים עיקריים המשפיעים על ההון או/ועלויות התפעול השנתיות.

בתרחיש 1, העלות לק"ג נשאר יקר מאוד בסביבות 400,000 דולר. רק בתרחיש 4 מתקרבת עלות הבשר המתורבת למחירי רמת בשר מהחי סחורות בסביבות 2 דולר לק"ג. תרחיש 4 הוא התרחיש בו הייצור מתקרב לכדאיות כלכלית מכיוון שהתגברו על האתגרים הטכניים המשמעותיים.



# סיכום האתגרים הטכנו-כלכליים העומדים בפני יצור בשר מתורבת

1. ההוצאות ההוניות - עלות הביוריאקטור הייתה המניע העיקרי של עלויות ההון במודל. עלות ההון של ביוריאקטור בודד בסדר גודל של 20 מ"ק בדרגת מזון היא 778,000 דולר ארה"ב. כדי לענות על 1% מביקוש הבשר בארה"ב נדרשים בין 5205 ביוריאקטורים בעלות של 4 ביליון דולר ל 50 ביוריאקטורים בעלות של 37 מיליון דולר. חשוב להדגיש כי עלויות אלו מבוססות על הערכות עבור ביוריאקטורים סטנדרטיים (20 מ"ק) בדרגת מזון וכי ביו-ריאקטורים מתוחכמים יותר (כלומר, מערכות חד פעמיות או מערכות זילוף חדשות) עשויים להגדיל משמעותית את עלויות ההון.

2. הוצאות התפעול - על פי רוב חילוף חומרים תאי וצריכת מדיה מהווים מכשול משמעותי עבור ייצור בקנה מידה גדול של ACBM. השגת התוצאות המוצגות בתרחיש 4 דורשת התקדמות טכנולוגית משמעותית במספר חזיתות כגון הפחתת עלויות המדיה, צריכת גלוקוז/מדיה מצומצמת בסדר גודל, וזמני הגדילה וההתבגרות של התאים יורדים מאוד (מ-24 שעות ל-8 שעות ו-240 שעות ל-24 שעות, בהתאמה).

מסקנות המודל מדגישות מספר מהאתגרים הכלכליים המשמעותיים שמעכבים את הכדאיות הטכנו-כלכלית של יצור בשר מתורבת. מודל זה המבוסס על יצור בשר מתורבת בארה"ב מושפע מעלויות האנרגיה והעבודה אבל יש להן תרומה קטנה להוצאות התפעול. סביר להניח שעלויות אלו יגדלו במערכת בקנה מידה מלא. החוקרים פיתחו גרסה מבוססת אינטרנט בקוד פתוח וניתן להשתמש במודל שנמצא בכתובת <https://acbmcostcalculator.ucdavis.edu>.

# תפקיד תהליכי פרמנטציה ביצור בשר מתורבת ואתגרי ייצור בקנה מידה תעשייתי



- ✓ פרמנטציה\* (התססה) היא טכנולוגיה המאפשרת ריבוי וגידול תאים בכמויות גדולות המתאימות לשימושים מסחרים רבים.
- ✓ משתמשים כיום בפרמנטציה תעשייתית להפקת: ביו-דלקים, חומצות אמינו, ייצור נוגדנים מונוקלונליים (חד שבטיים), ותאי גזע בחיידקים, שמרים ופטריות, תאי יונקים.
- ✓ התאים גדלים בפרמנטורים (תאי התססה), בסוספנסיה (בתרחיף) או לחילופין על גבי נשא\*\* מתאים (adherent) אליו נקשרים התאים, בהתאם לסוג ומקור התאים בתרבית.

\*תהליך כימי המשמש להפקת אנרגיה בחלק מהיצורים החיים. תהליך התסיסה מוכר לאדם מזה אלפי שנים, זאת הודות לתוצרים הסופיים של מספר תהליכי תסיסה במיקרואורגניזמים, תוצרים המשמשים את האדם רבות בתעשיית המזון.

\*\* קולואיד הוא תערובת כמעט הומוגנית בין שני חומרים. קולואיד מורכב מחלקיקים זעירים של חומר אחד המפוזרים באופן אחיד בחומר אחר שחלקיקיו מקיפים את חלקיקי החומר הראשון. גודל החלקיקים המפוזרים במערכת קולואידית: בין ננומטר למיקרון.



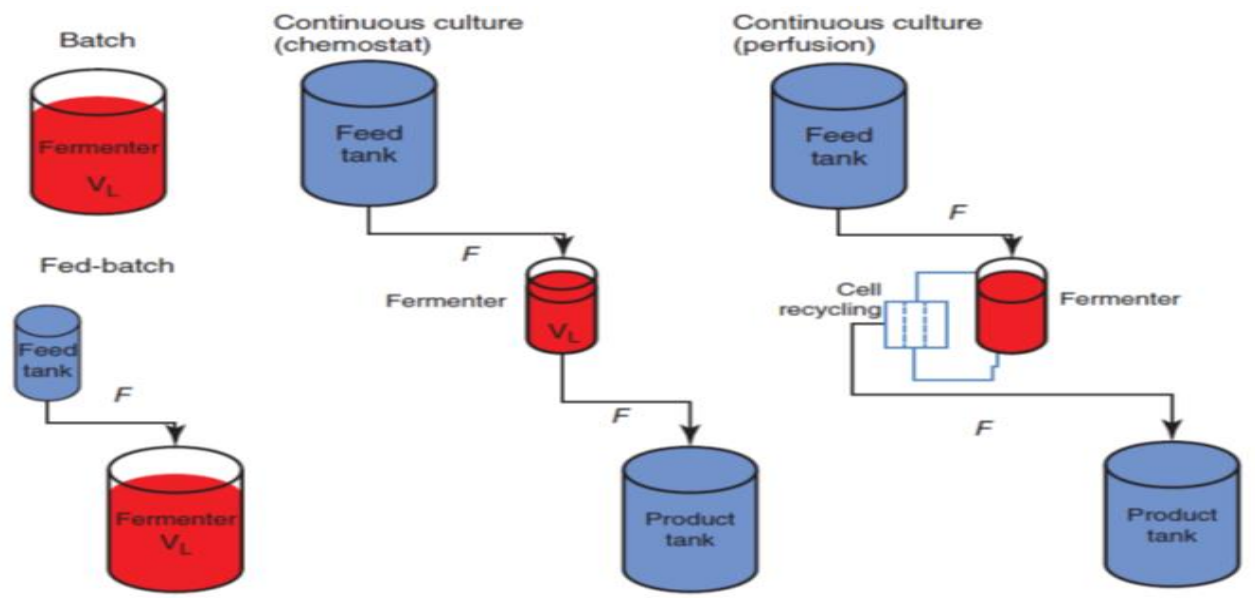
עלויות	תשתיות	גודל הפרמנטור	שלב בתהליך
מיליוני שקלים	שימוש אפשרי בתשתיות משותפות ציוד מדידה, טיפול מקומי במים שפכים ופליטות גז.	2-3 ליטר (תרבית)	מעבדה - תהליכי חיפוש
		20 ליטר	מעבדה - הוכחת היתכנות
עשרות מיליוני שקלים	נדרשת תשתיות ברמת המפעל מעבדת איכות, טיפול מקומי במים, שפכים ופליטות גז.	500-1000 ליטר	פיילוט סמי תעשייתי - ייצור ראשוני בנפחים הנדרשים לצורך היתרים רגולטורים
		עד 5000 ליטר	פיילוט תעשייתי - ייצור ראשוני, העברה מפיתוח ליצור
מאות מיליוני שקלים		40,000-200,000 ליטר	ייצור תעשייתי



# שיטות אופציונליות בסיסיות להפעלת תהליך פרמנטציה

- Fed Batch Culture עם בקרה מינימלית
- Chemostat – Continuous Culture מאופיינת בהספקה לינארית או לא לינארית של מקור פחמן ונוטריינטים
- Perfusion – Continuous Culture מתאפיינת בשימוש חוזר של התאים.

## השיטה המתוחכמת והפרודוקטיבית ביותר לגידול תאים



- הספקת חמצן
- בקרת טמפרטורה (מעברי חום)
- ערבול תוך תשומת לב להשפעת shear forces על תאי התרבית
- עמידה בתקינת cGMP (good manufacturing practice)
- עמידה בדרישות ותנאי biosafety (containment levels are normally BLS1 and BLS2)

# סוגי פרמנטורים בהתאמה לשיטת גידול התאים

State of biomass	Liquid motion	Operation options
Cells in suspension	CSTR and mechanical stirring with turbines mounted on a stirring shaft CSTR and mechanical stirring as above but equipped with a cell recycling system, typically filtration	Batch, fed-batch, continuous Perfusion
Cells in suspension	Pneumatic stirring, such as used in airlift systems	Batch, fed-batch, continuous
Cells in suspension	Plug flow reactor with hydrodynamic stirring with or without static mixing elements in tube or flat-bed bioreactor	Continuous
Adherent, immobilized cells, cross-linked, or aggregated cells	Cells growing on fluidized microcarriers or encapsulated in suspension culture in a continuously stirred bioreactor CSTR	Batch, fed-batch, perfusion
Cells growing as biofilm	Cells multiply on fixed surfaces in bioreactors with fluids typically moved hydrodynamically or pneumatically	Batch operation

CSTR (continuously stirred tank reactor)

# פרמנטציה של תאים על גבי נשא (Adhered Cells)

✓ השימוש ב- stirred bioreactors לשימוש חד פעמי נמצא בעליה. ראקטורים אלו מוזנים בד"כ ב- microcarriers.

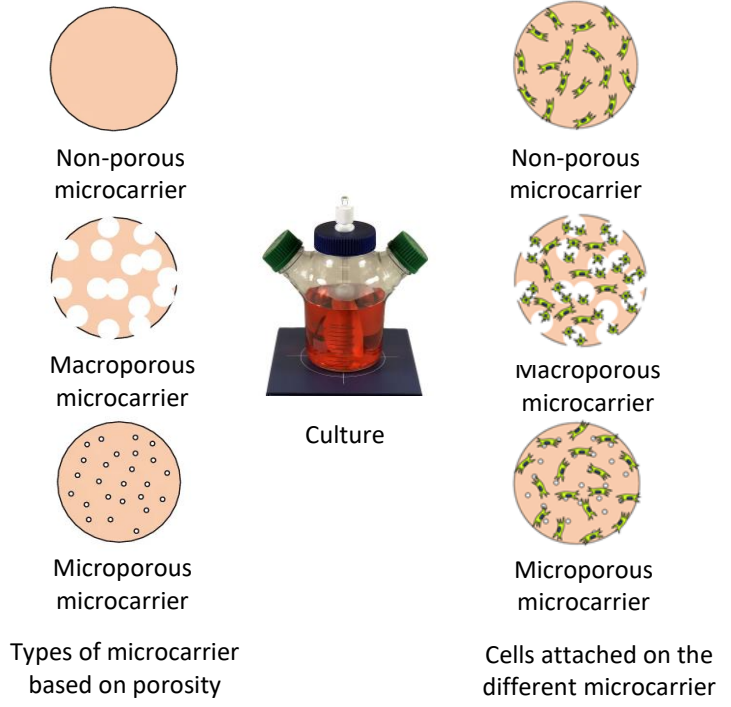
✓ הריאקטור תוצרת - Sartorius Stedim Biotech, לשימוש חד פעמי, זמין בשוק לנפחי עבודה של מספר מאות ליטרים.

✓ הודגמה יעילות גידול של Mesenchymal Stem Cells (MSCs) במערכות 3D scaffold, כבסיס לטכנולוגיית ייצור בשר מתורבת. עדיין המחקר בראשית דרכו ויש לפתור בעיות רבות כגון מידת התאמת ה- scaffold לאכילה וכד'.

✓ ממצאים אלו פותחים את הצוהר לפרמנטציה של נשאים בקונפיגורציה scaffold להפקת בשר מתורבת (כדי לייצר דמיון לנתחי בשר).

✓ מצע נוסף הם Microcarriers בגודל 100–300 מיקרון, שיכולים להגיע בקונפיגורציות שונות: ללא פורות בכלל, או עם מיקרו או מאקרו פורות, שמכתיבות את צורת גידול התאים הנאחזים עליהם / בתוכם.

✓ שימוש במיקרו-נשאים בתחום הבשר המתורבת: כבר כיום מיושמים מיקרו-נשאים אכילים (צלולוז, חלבון סויה ועוד) המשמשים כנקודת עגינה לתאים בגידול 3D בסוספנסיה לשלב הריבוי של התאים



## חברת ביודליה

מציעה שירותי תסיסה בנפחים קטנים (150-25 ליטר), בינוניים ברמת פיילוט (500 ליטר) וגדולים (25,000 ליטר) וכן מערך של Down stream processing. התמחות בעיקר בפרמנטציית חיידקים. החברה נותנת שירותי קב"מ בהיקף נרחב.

## **Sigma Aldrich (Israel) in Jerusalem**

ברבעון הראשון של 2021 השלימה חברת **Modcon** את בניית יחידת הפרמנטציה לייצור API (Active Pharmaceutical Ingredient) בחיידקים עבור החברה. יחידת הפרמנטציה מורכבת מארבעה פרמנטורים (תוצרת Bioengineering) לפרמנטציית חיידקים בנפחי עבודה: 19, 100, 1000, 4000 ליטר. החברה נותנת שירותי קב"מ בהיקף מוגבל.

## חברת מגט תעשיות

החברה פיתחה ובנתה את מערך הביוריאקטורים של חברת Future Meat.

## חברת אגמו

החברה פתחה מחלקה לייצור Single Use Bioreactor (SUB)

## **מאגד בשר מתורבת**

במסגרת המאגד מפתחים גם ביוראקטורים הן ע"י חברת מגט והן ע"י חברת אגמו תעשיות ופיתוח



- ✓ ייצור של חלבונים תרפויטיים מבוצע כיום בסקלה תעשייתית **בנפח של עד 20 מ"ק** ב-Stirred Tank Bioreactors מערכות אלו משמשות בסיס אמפירי וניסיון טכנולוגי בתחום הפרמנטציה לייצור בשר מתורבת.
- ✓ אם מתייחסים לייצור בפרמנטציה של נוגדנים מונוקלונלים (חד שיבטיים), שורות התאים המאושרות הן CHO, NSO, Sp2/0 שמגדלים אותם בתרחיף ללא צורך בשימוש ב-scaffold או Microcarriers.
- ✓ העובדה שהפרקורסרים (חומרי המוצא) לתאים שיכולים לשמש לייצור בשר מתורבת הם כולם anchorage-dependent גורמים למגבלות אשר מצריכות פתרון יצירתי כגון יצירת אגרגטים עצמיים של תאים (ללא שימוש ב-scaffold או Microcarriers) או יצירת ספרואידים. בכל מקרה יהיה צורך במערכות אלו למנוע יצירת מרכזים נרקוטיים. לא מדוייק. כדי להתגבר על המגבלות הללו משתמשים כבר היום במיקרו-נשאים אכילים על בסיס צלולוז או חלבון צמחי. נושא זה מכוסה בהרחבה במאגד בשר מתורבת





- ✓ כדי לבצע הערכה על הקשיים העומדים בפני יצור בטכנולוגית פרמנטציה לא ניתן לבצע הכללה. יש לדון ב- Cell line ספציפי להכנת בשר מתורבת, כדי להציג את המגבלות והדרישות של מדיית הגידול, פקטורי גידול ושורה ארוכה של חומרים הדרושים להתחלקות התרבית ושמירה על החיונית שלה (תורה בפני עצמה ומהוות חלק אינטגרלי של פרוטוקול הפרמנטציה).
- ✓ בפועל כל חברת בשר מתורבת מפתחת לעצמה מדיום שמתאים לקוי התאים שלה. בנוסף, במסגרת מאגד בשר מתורבת מפותח מדיום גידול בסיס גנרי (תעשיות ביולוגיות בית העמק).



✓ לשורות התאים שזוהו עד כה כמתאימים לייצור בשר מתורבת מגבלות אינהרנטיות הנובעות מעצם מקורם ותכונות תאי האם המקוריים.

- מגבלות אלו מתבטאות בדרישות ייחודיות ממצע הגידול, תלות במעודדי צמיחה, הורמונים, ומטבוליטיים ייחודיים, זמני חלוקה ארוכים, מספר דורות תאים מוגבל, צפיפות תרבית מירבית מוגבלת, ולעיתים תלות התאים במצע מתאים (adherent) עליו נצמדים וגדלים, המונע גידולם בסוספנסיה.
- מגבלות אלו מכתובות את דרישות המכשור (מתקני הפרמנטציה ושיטת הפעלתו) והתאמת מכלול המערכות ההיקפיות הנדרשות, ובמיוחד דרישות ממצע גידול שיהיה אופטימלי וכלכלי.

❖ היות וכיום השימוש בתאים שעברו הנדסה גנטית להכנת בשר מתורבת, אינה אופציה ברת קיימא עקב הרגולציה הקיימת, יש לפנות לפיתוח טכנולוגיות חדשות. אחת האופציות היא שימוש בטכנולוגיות בתחום הביולוגיה הסינטטית.

✓ למרות שתחום הביולוגיה הסינטטית נמצא בראשית דרכו, כבר כיום קיימים אלמנטים ראשוניים, שבעזרתם ניתן יהיה בעזרת מחקר מקיף וממוקד להתגבר על מגבלות שורות התאים הקיימים כיום, וליצור שורות תאים חדשות שטרם קיימים או נמצאים בשימוש, ותכונותיהם הותאמו והונדסו מראש להכנת בשר מתורבת.

✓ תאים אלו יהיו בעלי תכונות חדשות כגון: דרישות מינימליות ממצע הגידול, ללא תלות או תלות נמוכה במעודדי צמיחה, הורמונים, ומטבוליטיים ייחודיים, זמני חלוקה קצרים מאד, גידול בסוספנסיה או יצירת אגרגטים עצמאיים כתחליף לדרישת תאחיזה על מצע (adherent), ללא הגבלה במספר דורות תאים שניב צפיפות תרבית מירבית.



## סיכום

✓ נעשים מאמצי פיתוח של פרמנטורים ייעודים בסקלות תעשייתיות בנפח של מעל 20 מ"ק לייצור בשר מתורבת

✓ טרם נבחרו סופית מערכות המשנה : סוג התאים, הרכב המדיה (serum free) כולל פקטורי גדילה וכל המרכיבים החיוניים הנדרשים לתרבית בסדר גודל כזה.

✓ שורות התאים שנבחרו כיום להכנת בשר מתורבת עוברות ותעבורנה אופטימיזציה

✓ בפני התעשייה עומדים אתגרים כלכליים של עלות הציוד והיצור כדי להגיע למחיר תחרותי

✓ צפויה תרומה בפיתוח ושימוש בתשתיות משותפות לחברות המפתחות בשר מתורבת בשלבי הפיתוח ועד העברה לייצור



# מים ושפכים בייצור חלבון אלטרנטיבי מהחי

פרמטר	יחידות	מקרה 1	מקרה 2	מקרה 3
הערכת צריכת בשר מתורבת בישראל	% מסה"כ צריכת בשר	1%	10%	100%
צריכה שנתית של בשר מתורבת	טון בשר לשנה	8,655	86,553	8,655,300
צריכת המים בסיס - 28 - 56 מ"ק מים לטון בשר	מ"ק מים בשנה	250,00-500,000	2,500,000-5,000,000	250,000,000-500,000,000
% צריכת המים מסה"כ צריכה בארץ בסיס - 1,576,800,000 מ"ק מים בשנה	% מסה"כ צריכת המים	0.02% - 0.03%	0.2% - 0.3%	2% - 3%
% עליה בצריכת המים התעשייתית בסיס - 124,000,000 מ"ק מים בשנה	% עליה בצריכת המים התעשייתית	0.4% - 0.2%	2% - 4%	20% - 40%

צריכת המים הנדרשת לייצור בשר מתורבת בשתי דוגמאות הצריכה היא נמוכה מאוד בהשוואה לסך צריכת המים בישראל



צריכת המים לייצור בשר מתורבת היא נמוכה יותר מצריכת מים לגידול בע"ח, וזאת בחישוב צריכת מי רשת ללא הכללת מי גשם (לגידול המספוא / מרעה), הן לפי דוח ה LCA של CE Delft, והן בהשוואה לנתונים של האום\* המראים צריכת מי שתיה גבוה יותר אפילו מדוח ה LCA של CE Delft.

צריכה לבשר מתורבת תהייה בין 28 ל- 56 קוב מים לטון בשר, לעומת צריכת מי שתיה של 250 – 550 קוב לטון לבשר בקר, או 46 – 313 לבשר עוף.

צריכת המים לייצור בשר מתורבת היא נמוכה יותר מצריכת מים לגידול בקר, וזאת בחישוב צריכת מי רשת (Blue Water) ללא הכללת מי גשם. תוספת מי הגשם לתחשיב השימוש תקטין את הצריכה היחסית של בשר מתורבת ביחס לגידול בעלי חיים. לשם השוואה, יצור קציצת סויה צורך הרבה פחות מים. חלבון אלטרנטיבי ממקורות אחרים חסכוני יותר במים\*\*\*.

כחלק מהתייעלות התהליך יידרש מחזור מים פנימי בתהליכי הייצור דבר שיכול לחסוך כ 50% ועד 85% מכלל צריכת מי השתייה של מפעל ייצור בשר מתורבת.

איכות המים הנדרשת היא עלפי הניסיון בתרביות רקמה כיום לשימוש רפואי. עם התפתחות הטכנולוגיה סביר שדרישות האיכות יתגמשו ויאפשרו השקעה פחותה בטיפול במים ובכך הוזלת תשומת המים והאנרגיה. למשל שימוש במים באיכות UPS (United States Pharmacopoeia) במקום במים באיכות WFI (Water for injection).

[\\*Report-48-WaterFootprint-AnimalProducts-Vol1.doc](#)

[\\*\\*The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products](#)

[\\*\\*\\*The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products](#)



- נכון להיום איכות המים הנדרשת לתעשיית החלבון האלטרנטיבי מוגדרת כ- **Water for Injection** (איכות המים ברמה גבוהה ביותר הניתנת להזרקה למטופלים יחד עם תרופות).
- עם התפתחות תעשיית הבשר המתורבת ניתן יהיה להסתפק בדרישה לאיכות מים המוגדרת כ- **Purified Water** (הבדל העיקרי בין שני הסטנדרטים לאיכות המים הינו ספירת חיידקים כללית).
- לקבלת איכות מים Purified Water נדרש לבצע טיפול בשילוב טכנולוגיות הבאות:
  - Distillation - טכנולוגיה יקרה יותר.
  - או
  - Reverse Osmosis (RO) ואחריו Continuous Electro-Deionization (CEDI) - שיטת טיפול סטנדרטית לתעשיות רבות בארץ.
- בנוסף יש צורך לבנות את מערכת אספקת מים בצורה מעגלית בשילוב עם טכנולוגיה UV ועם אפשרות לחיטוי בחום.



## מערכת Reverse Osmosis



## מערכת CEDI



- דוגמה למערכת טיפול במים אופיינית הכוללת Reverse Osmosis ו CEDI:
- המערכת מותאמת למפעל שמייצר 8,655 טון בשר ביום משמע כמות מים נצרכת בין 250,000 ל 500,000 מ"ק לשנה.
  - ספיקת מים שעתית לתכנון – 60 מ"ק לשעה (1,440 מ"ק ליום).
  - המערכת כוללת 3 יחידות של 30 מ"ק לשעה כל אחת בקונפיגורציה של 2 מערכות בעבודה ומערכת 1 בהמתנה.
  - עלות כוללת של מערכות Reverse Osmosis – 2,250,000 ₪
  - עלות כוללת של מערכות CEDI – 2,240,000 ₪
  - עלות כוללת של מערכת טיפול במים – 4,490,000 ₪.





## מערכת אזורית או מקומית לטיפול במים ?

- במטרה לעודד הקמת מפעלי בשר מתורבת נשאלה השאלה האם תמיכה ממשלתית במערכת מים אזורית שתספק מים באיכות הנדרשת למפעל בשר מתורבת הינה שיטת תמיכה נכונה בתשתיות הדרושות למפעלים כאלה.

המצב בישראל:

- המים המובלים מהתשתיות האזוריות או העירוניות מנוטרים ומטופלים ברמה המותאמת לאיכות מי שתייה.
- מקובל להקים מערכת מקומית לטיפול במים המגיעים למפעל כדי להתאים את איכות המים לצרכי השימוש בקווי יצור מסוימים.
- במפעל יכולים להיות מספר תהליכים ובכל תהליך נדרשת איכות מים שונה. מערכת ייעודית חוסכת כסף מכיוון שרק מים שמיועדים לתהליכים מסוימים עוברים טיפול לרמת ניקיון גבוהה ובשאר המקומות במפעל ניתן להסתפק באיכות מים המגיעה.



## תשתית אזורית

### יתרונות

- חסכון של עד פי 2 בעלות ההקמה של התשתית כתלות בגודל המתקן.
- חסכון בתפעול בעיקר בעלות כוח אדם.
- האחריות על ייצור המים באיכות הנדרשת עוברת לחברה המתמחה בכך והחברות משלמות לחברה לכל מ"ק מים מיוצרים.

### חסרונות

- תידרש מערכת הובלה כפולה של מים לכל מפעל, מערכת הובלה של מים באיכות מי שתייה ומערכת הובלה של מים באיכות ניקיון גבוהה במיוחד ליצור.
- מים באיכות ניקיון גבוהה דורשים הזרמה תמידית וניקוי (נעשה במערכת בלופ) בניית מערכת אזורית תהיה מורכבת מאוד. העדר חיטוי של מים מטופלים עלול לייצר זיהומים מקומיים בתשתית צנרת ארוכה ומורכבת.
- במידה והמערכת האזורית נפגעת כל המפעלים שמשתמשים במים אלה יפגעו.
- כל מפעל יצטרך כ"א מיומן וציוד לניטור איכות המים בכניסה לקו היצור.

## מערכת מקומית

### יתרונות

- בשל רגישות לאיכות המים הנדרשת לתהליך עדיף שכל מפעל יהיה אחראי על מערכת שלו.
- אנשי אחזקה של הייצור יוכלו לטפל במערכת טיפול במים שכן מדובר במערכת אוטומטית המופעלת באמצעות מערכת בקרה שאינה דורשת נוכחות של מפעיל באופן קבוע.
- יש יתרון לקווי מים קצרים ולא מסועפים. העדר חיטוי של מים מטופלים עלול לייצר זיהומים מקומיים בתשתית צנרת ארוכה ומורכבת.
- המפעל יכול להעביר אחריות לייצור המים לחברה המתמחה בכך ולשלם לחברה לכל מ"ק מים מיוצרים.
- ממדי המערכת והשטח הנדרש להתקנתה הינם קטנים יחסית בהשוואה לשטח המפעל – 100 – 200 מטר מרובע.

### חסרונות

- עלות הקמה ותחזוקה של מערכת / מתקן טיפול במים.
- ניטור ואחריות על איכות המים.

אין הצדקה לבניית מערכת אזורית - מומלץ להקים מערכות מקומיות בכל מפעל



- **כמות השפכים המיוצרת בתהליכי ייצור של בשר המתורבת הינה כ 90% מצריכת המים.**
  - למתקן שמייצר 8,655 טון בשר בשנה, נדרש לספק מים בכמות של בין 250,000 ל 500,000 מ"ק מים בשנה, ומתקן ייצר שפכים בכמות של בין 225,000 ל 450,000 מ"ק בשנה (בין 700 ל 1,500 מ"ק ליום).
- **כמות זאת של שפכים תעשייתיים של מפעל אחד הינה תואמת למפעל מזון בינוני עד גדול.**
  - לדוגמה מפעל תנובה אלון תבור מייצר כ 4,000 מ"ק שפכים ביום.



- אין בנמצא מידע פומבי אודות איכות השפכים מתעשיית הבשר המתורבת.
- הערכת המזהמים שנמצאים בשפכי תעשייה זו נעשתה על בסיס חומרי הגלם שמוזנים לתהליך **לרבות תמיסה פיזיולוגית** ושיטת הייצור של בשר המתורבת:
  - חומרי גלם עיקריים לייצור הבשר המתורבת: חומצות אמיניות (מהידרוליזה של חלבון), וויטמינים, **פקטורי גדילה (הורמונים)**, סוכר, **אנטיביוטיקה**, מלחים אי-אורגניים **שמקורם בתמיסה הפיזיולוגית**.
  - חלק ניכר מהשפכים נוצרים בתהליך הקצירה של תרבית התאים באמצעות תהליכי הפרדה (כדוגמת צנטריפוגה), וחלקם מתהליכי השטיפה של הייצור (Cleaning in place – CIP)
  - המזהמים שמרכיבים את השפכים הינם: חומרים אורגניים (מתבטא כ COD ,BOD ,TOC), אמוניה וזרחן בריכוזים גבוהים, **נתרן**, **כלורידים**, **אשלגן** ו**ביוקרבוונאט** (**שמקורם בתמיסה פיזיולוגית ובתהליכי CIP**), תרכובות קורט של אנטיביוטיקה והורמונים (מיקרו-מזהמים).



- השילוב של תרכובות אורגניות עם ריכוזים גבוהים של מלחים מייצר תמהיל שפכים מאתגר במיוחד שעלול להיות מאוד מסובך ויקר לטיפול.
- המפעלים ידרשו לקיים טיפול מקדים טרם הזרמת השפכים לביוב העירוני על מנת לעמוד בדרישות הרגולציה ובכדי לא להעמיס על מפעלי טיהור בשפכים האזוריים.
- הרכב השפכים הכולל מצד אחד חומרים אורגניים, תרכובות זרחן וחנקן ומצד שני מלחים אי-אורגניים שמעכבים תהליכים ביולוגיים, הינו קשה לטיפול וידרוש שילוב של מספר טכנולוגיות:
  - טיפול ביולוגי שידרוש מיהול בשילוב טיפול ממברנלי (אולטרה-פילטרציה ואוסמוזה הפוכה) או אידוי ופינוי תמלחת לאתר מורשה.
  - טיפולים כימיים, אלקטרו-כימיים בשילוב טיפול ממברנלי או אידוי ופינוי תמלחת לאתר מורשה.



- מפעלי שפכי תעשייה בישראל נדרשים לעמוד בכללי תאגידי מים וביוב (שפכי מפעלים המוזרמים למערכת הביוב), תשע"ד - 2014. בכללים אלה קיימת רשימה מפורטת של פרמטרים עם אמות מידה אליהם נדרש המפעל לעמוד.
- כיום אין דרישה על פי כללים אלה לעמידה בתרכובות של מיקרו-מזהמים כדוגמת אנטיביוטיקה והורמונים. עם זאת, משרד להגנת הסביבה או משרד הבריאות רשאים להוסיף דרישה לסילוק תרכובות אלה מכוח חוק רישוי עסקים (תנאים נוספים ברישיון העסק).
- חלק ממזהמים מוגדרים על פי כללי התאגידיים כמזהמים "אסורים" (כלורידים, נתרן, pH, מתכות כבדות), שהקנסות על הימצאותם בשפכים גם בריכוזים נמוכים יחסית הינם גבוהים מאוד. בנוסף, המזרימים מזהמים אסורים לביוב עלולים להיות חשופים לתביעות פליליות.



- מפעלי מזון כמו גם מפעלים אחרים נדרשים על פי חוק לטפל במזהמים המיוצרים במפעל עד רמה מסוימת במקור באמצעות מתקני קדם מקומיים. דרישה דומה לטיפול בשפכים במקור קיימת גם במדינות מפותחות בחו"ל.
- **הרציונל לטיפול קדם בשפכי תעשייה טרם הזרמתם למכונני טיהור שפכים** – במדינת ישראל למעלה מ 90% מהשפכים המיוצרים מושבים לחקלאות כקולחים מטוהרים ברמה גבוהה. בכדי לאפשר ניצול חוזר של מי הקולחים כמקור מים, להגן על הסביבה ולמנוע פגיעה בקרקע ו/או בגידולים חקלאיים תוקנו תקנות בריאות העם (תקני איכות מי קולחין וכללים לטיהור שפכים) – 2010. בתקנות אלו נקבעו ערכים לפרמטרים שונים, אורגניים ואי-אורגניים, שאליהם נדרש מכון הטיהור שפכים לעמוד טרם הזרמת הקולחים לנחל או להשקיה. מלחים אי-אורגניים ומתכות הם המזהמים המשמעותיים ביותר שעלולים לפגוע בקרקע ובגידולים, וכן נוטריינטים (תרכובות זרחן וחנקן) בריכוזים גבוהים.



- מתקני טיהור בשפכים אזוריים (מט"שים) מתוכננים כיום להתמודד עם עומסים וסוגי מזהמים ספציפיים שאופייניים לשפכים עירוניים. לא כל המזהמים ולא כל טווח ריכוזים של המזהמים ניתנים לטיפול במתקני טיהור בשפכים אזוריים. מתקני הטיהור בשפכים האזוריים מבוססים על טיפול ביולוגי במזהמים אורגניים, תרכובות חנקן וזרחן ולא במזהמים אי-אורגניים כדוגמת מלחים ומתכות כבדות.
- הסיבה לדרישה לטיפול בשפכים במקור נובעת מהסיבה שטיפול במקור הינו יעיל וכלכלי יותר בהשוואה לטיפול בתערובת של השפכים כאשר מדובר על סוגים רבים של מזהמים. טיפול ביולוגי במזהמים אורגנים הוכח כטיפול יעיל ביותר מבחינה טכנו-כלכלית ולכן מיושם כמעט באופן בלעדי בכל מכוני טיהור השפכים העירוניים. טיפול נוסף לסילוק מלחים ומתכות כבדות כחלק מהטיפול הכולל של מכוני הטיהור בהכרח אינם כלכליים ומאוד מוגבלים ביכולת הטכנית שלהם. בנוסף, תערובת של השפכים עלולה ליצור מזהמים חדשים שקשה יותר לטפל בהם. בנוסף, מזהמים מסוימים בתערובת עלולים להקשות על טיפול במזהמים אחרים באותה תערובת.





- בעבר היה ניסיון להקים מכון אזורי לטיפול בשפכים תעשייתיים (רמת חובב). הפרויקט נחל כישלון בשל הקושי לטפל בתמהיל שפכים וכן העברת אחריות בין המפעלים שהשתתפו במיזם. כחלק מהפקת הלקחים של המיזם נקבע שכל מפעל יטפל באופן מקומי בשפכים שהוא מייצר ובנוסף יופעל בכל מפעל עקרון "הפרדת הזרמים". במקרה של הקמת מכון טיהור אזורי, המכון יידרש לעמוד בתקנות בריאות העם (תקני איכות מי קולחים וכללים לטיהור שפכים) – 2010. הדרישות לאיכות קולחים על-פי תקנות אלה הינן מחמירות בהרבה ביחס לכללי התאגידים לשפכי תעשייה שכן במקרה זה הקולחים יוזרמו ישירות לחקלאות ולא יועברו למכון עירוני לטיהור שפכים.
- מחלבת תנובה אלון תבור מייצרת שפכים תעשייתיים המטופלים במתקן ביולוגי מקומי גדול המטהר את השפכים לרמת קולחים כמתבקש בתקנות בריאות העם. טרם הזרמת השפכים מהמחלבה מתבצע תהליך של הפרדת זרמים במקור, לזרמים בעלי מוליכות גבוהה ולזרמים בעלי מוליכות נמוכה. שפכים בעלי מוליכות נמוכה מוזרמים עם יתר השפכים התעשייתיים למכון הטיהור המקומי של תנובה ואילו השפכים המלוחים מפונים לאתר מורשה.



## תשתית אזורית

### יתרונות

- חסכון לחברה בעלות התשתית, השטח והתפעול.
- חסכון בתפעול בעיקר בעלות כוח אדם.
- האחריות על הטיפול בשפכים עוברת לחברה המתמחה בכך והחברות משלמות לחברה לכל מ"ק מים מיוצרים.

### חסרונות

- תידרש מערכת הובלה כפולה של מים לכל מפעל, מערכת הובלה של מים באיכות מי שתייה ומערכת הובלה של מים באיכות ניקיון גבוהה במיוחד ליצור.
- מים באיכות ניקיון גבוהה דורשים הזרמה תמידית וניקוי (נעשה במערכת בלופ) בניית מערכת אזורית תהיה מורכבת מאוד. העדר חיטוי של מים מטופלים עלול לייצר זיהומים מקומיים בתשתית צנרת ארוכה ומורכבת.
- במידה והמערכת האזורית נפגעת כל המפעלים שמשתמשים במים אלה יפגעו.
- כל מפעל יצטרך כ"א מיומן וציוד לניטור איכות המים בכניסה לקו היצור.

## מערכת מקומית

### יתרונות

- מערכת מותאמת לשפכי המפעל
- טיפול יעיל כי ריכוזי השפכים והרכבם ידועים ואינם מהולים בבשל רגישות לאיכות המים הנדרשת לתהליך עדיף שכל מפעל יהיה אחראי על מערכת שלו.
- אנשי אחזקה של הייצור יוכלו לטפל במערכת טיפול במים שכן מדובר במערכת אוטומטית המופעלת באמצעות מערכת בקרה שאינה דורשת נוכחות של מפעיל באופן קבוע.
- יש יתרון לקווי מים קצרים ולא מסועפים. העדר חיטוי של מים מטופלים עלול לייצר זיהומים מקומיים בתשתית צנרת ארוכה ומורכבת.
- המפעל יכול להעביר אחריות לייצור המים לחברה המתמחה בכך ולשלם לחברה לכל מ"ק מים מיוצרים.
- ממדי המערכת והשטח הנדרש להתקנתה הינם קטנים יחסית בהשוואה לשטח המפעל – 100 – 200 מטר מרובע.

### חסרונות

- עלות הקמה ותחזוקה של מערכת / מתקן טיפול במים.
- ניטור ואחריות על איכות המים.

אין הצדקה לבניית מערכת אזורית - מומלץ להקים מערכות מקומיות בכל מפעל



# סיכום - איכות המים והטיפול בשפכים ביצור חלבון אלטרנטיבי מהחי

- תעשיית הבשר המתורבת הינה תעשיית מזון בדומה לתעשיות מזון אחרות שמשמשות במים מהתשתיות האזוריות או העירוניות מנוטרים ומטופלים ברמה המותאמת לאיכות מי שתייה.
- השיטה היעילה ביותר וגם בעלת סיכון נמוך היא טיפול במים ברמת המפעל בהתאם לצרכי האיכות הדרושים לקווי היצור.
- תעשיית הבשר המתורבת הינה תעשיית מזון, שמשמשת בתמיסה פיסיוולוגית וכתוצאה מכך עלולה לייצר שפכים מורכבים מאוד לטיפול.
- כדי שהטיפול בשפכים יהיה יעיל וכלכלי ההמלצה היא הקמת מתקן טיפול קדם בשפכים במפעל טרם הזרמת השפכים לביוב העירוני / אזורי.
- במידה ורוצים להקים מפעלי יצור חלבון אלטרנטיבי מהחי (רלוונטי ליצור מזון בכלל וגם מהצומח) באזור תעשייה חדש או לקדם הקמה באזור תעשייה קיים יש לבצע כחלק מעבודת התסקיר (הכוללת אנרגיה, מים, כבישים, זיהום אוויר ועוד) הערכה של צריכת המים הרכב וכמות השפכים הצפויים. במידה ויש מט"ש אזורי כחלק מהתכנון יש להעריך האם היכולת שלו מתאימה או שנדרש להגדילו. במידה ואין מט"ש אזורי מתאים יש לשקול את זמן התכנון וההקמה הנדרשים.

# ההשפעה הסביבתית של צריכת אנרגיה ביצור חלבון אלטרנטיבי מהחי

פיתוח בשר מתורבת עומד בפני אתגרים משמעותיים בתחום תרבויות הרקמה. בתחום הסביבתי ותשומות הייצור לבשר מתורבת יש משמעויות גבוהות, יחד עם זאת העלות הכלכלית הגבוהה שמוערכת כיום לא תוכל להחזיק מוצר מסחרי לכן תהליך הפיתוח והמעבר ליצור יהיה חייב להגיע ליעילות כלכלית.

עלפי תחזית של גמלון התהליך הקיים כיום יגיעו צריכת המים והאנרגיה לממדים גדולים בסדר גודל דומה לתעשיות אחרות.

יש לשער שבהגעה ליעילות כלכלית עלות ההקמה והייצור יפחתו משמעותית ויחד איתם גם תשומות המים והאנרגיה וכתוצאה מכך גם ההשפעה הסביבתית.

השפעה סביבתית נמדדת במתודולוגיה של LCA (life cycle assessment) - הכולל שקלול של כל ההיבטים של תשומות ישירות ועקיפות במחזור החיים של מוצר.

לפיתוח בשר מתורבת קיימים מספר דוחות LCA והאחרון שבהם נכתב ע"י CE Delft\* במקביל למסמך של ניתוח טכנו כלכלי שבוצעה עבור *Australian Sustainable Animal Protein Production*. שני הניתוחים מבוססים על הנחות של התייעלות בעשור הקרוב והם מציגים עמדה אופטימית שגוררת ביקורת שהנחות לא ראליות וחסרים נתונים.



מדדי השפעה סביבתית מתוך ה LCA – Delft:

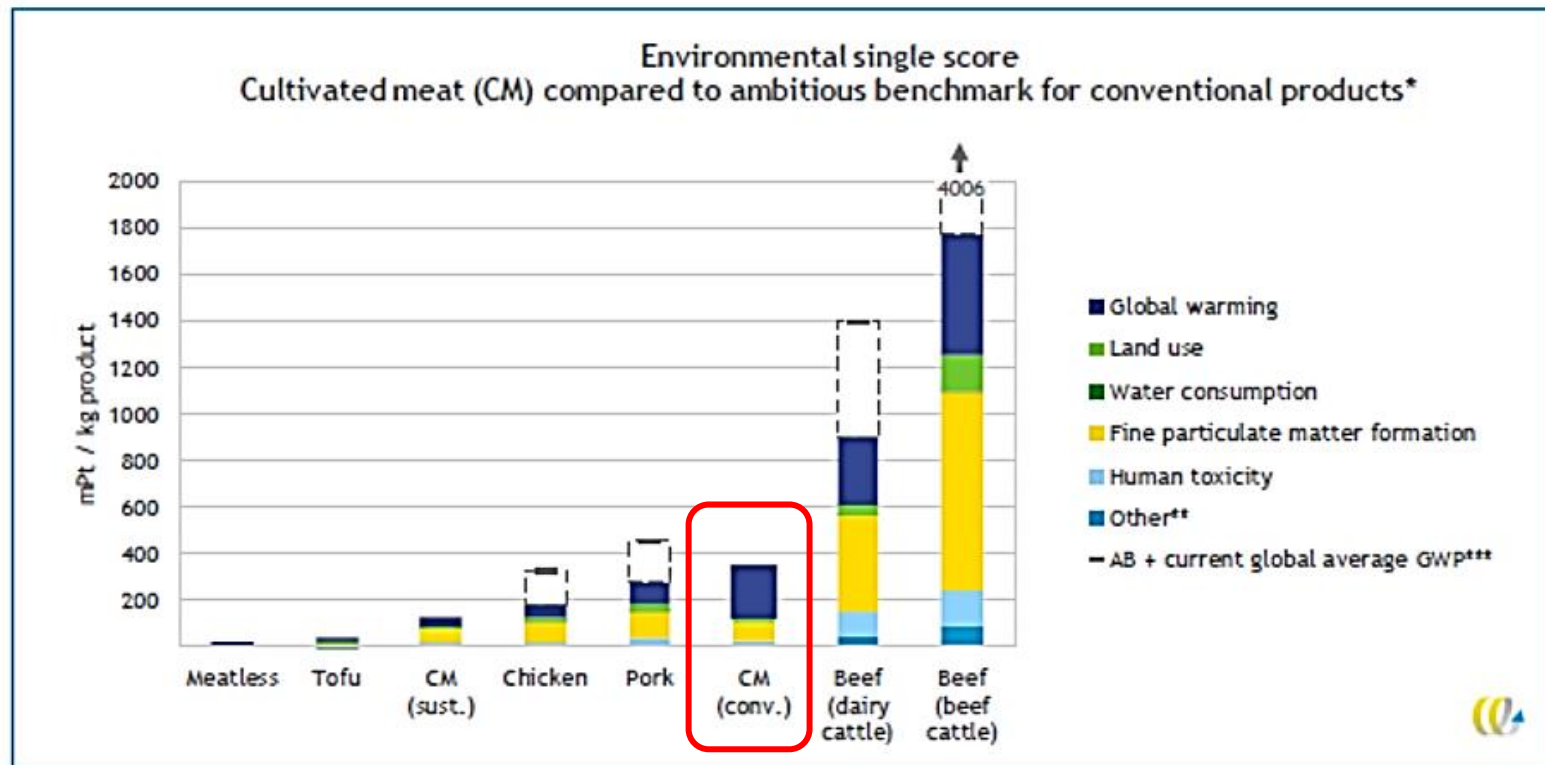
- ציון יחיד משוקלל של **ReCiPe** (environmental single score) (ציון יחיד סביבתי) - מייצג את ההשפעה הסביבתית הכוללת
- טביעת רגל פחמנית (CFP-carbon footprint) מיוצגת ע"י **GHGe** (greenhouse gas equivalents), ניתן להשתמש במחשבון כדי לחשב את שווה הערך של הפליטות.

בהשוואה לניתוחי LCA קודמים דוח CE Delft כלל הרבה יותר נתוני ייצור ולכן צריכת האנרגיה בו גבוהה ביחס לקודמיו. בשני מדדי הבחינה של ה LCA בשר מתורבת יהיה בעל השפעה סביבתית נמוכה יותר מבשר בקר, בסדר גודל של בשר חזיר. ניתן לראות כי תביעת הרגל הסביבתית משתנה בהתאם למקור החלבון האלטרנטיבי. חלבון על בסיס בקר וחלבון מבוסס פטריות הם בעלי האימפקט הסביבתי הגבוה יותר, ואילו חלבון אלטרנטיבי ממקור צמחי הוא בעל ההשפעה הנמוכה ביותר.

יש לשים לב ליחידות בטבלאות ההשוואה. חלק מהמאמרים משווים לפי ק"ג מוצר ואחרים ליחידה פונקציונלית FU, שהיא לעיתים תכולת אנרגיה ולעיתים ק"ג חלבון. הנתונים מוצגים בטבלה עם סרגל צבעים בהתאם לסוג היחידות



Figure 1 - Environmental impact (ReCiPe single score) of CM and conventional protein products (ambitious benchmark and ambitious benchmark adjusted for global average score on global warming)



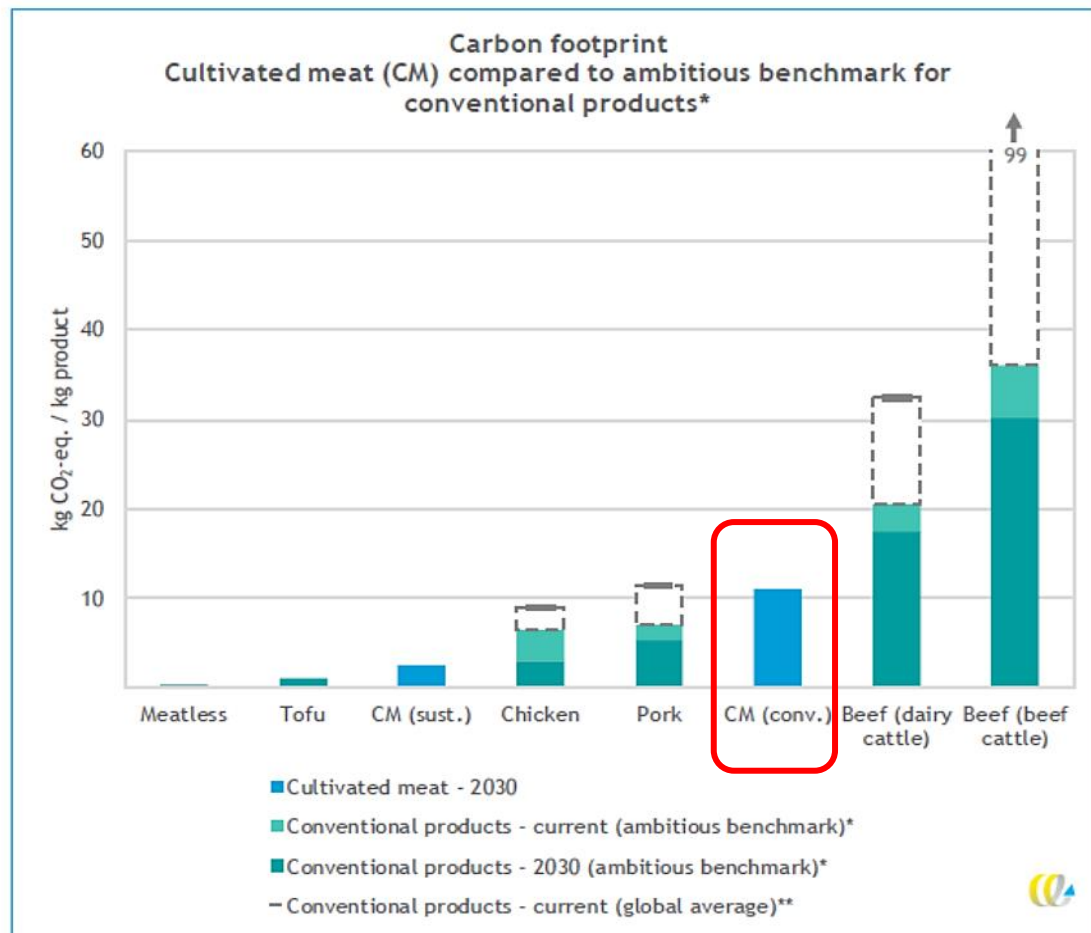
\* Intensive, West-European, circular agriculture with LUC-free soy.

\*\* 'Other' includes 14 impact categories, among which other toxicity categories, acidification and resource depletion. A complete list can be found in Annex A.

\*\*\* Current global average carbon footprint taken from Poore and Nemecek (2018).



Figure 3 - Carbon footprint of CM and conventional protein products (ambitious benchmark + global average based on Poore and Nemecek 2018)



\* Intensive, West-European, circular agriculture with LUC-free soy. The 'current' bar represents additional impacts of current production compared to the 2030 benchmark.

\*\* Taken from Poore and Nemecek (2018).





ניתוח ה LCA של CE Delft \* מציין צריכת אנרגיה של 147MJ/kg – 264 (שהם 40-70 kWh/kg), עבור יצור בשר מתורבת על בסיס בקר. הערכה זו גבוהה ביחס לדוחות אחרים שמציגים ערכים סביב 25-100MJ/kg.

צריכת האנרגיה בגידול בעלי חיים נמוכה יותר והיא בסדר גודל של 3 MJ/kg כאשר בשר בקר\*\* צורך פחות אנרגיה לעיבודו ביחס לחזיר ועוף. תעשיית המזון צורכת כ- 1-5 MJ/kg לייצורם של מוצרי בשר, גבינה, משקאות וכדומה.

חלבון אלטרנטיבי ממקורות כגון חרקים או חלבון ממקור צמחי דורשים כמות אנרגיה נמוכה משמעותית מהנדרש לייצור בשר מתורבת.

מפעל שייצר חלבון אלטרנטיבי בסדר גודל של כ- 7000 טון לשנה, שווה ערך לכ- 1% מצריכת הבשר בארץ, ידרוש הספק של כ- 45 MW. לשם השוואה מתקן התפלה חופי צורך הספק דומה, ודאטה סנטר צורך הספק\*\* של עשרות MW.

הדוח מתבסס על תרחיש שימוש באנרגיה מתחדשת. תרחיש כזה לא ראלי בטכנולוגיה הקיימת כיום מכיוון שדורשים שטחים גדולים לקבלת הספק כזה ושיטות האגירה הקיימות מאוד מוגבלות\*\*. עד אשר יהיה חשמל זמין מאנרגיה מתחדשת חברות יכולות ליעל את צריכת האנרגיה, לשפר את כלכליות היצור ולהפחית את הלחץ מהתשתיות הלאומיות ע"י ניצול החום השיורי של תהליך היצור\*\*\*.

\* [CE Delft 190107. LCA of cultivated meat. – February 2021](#)

\* [Mapping energy consumption in food manufacturing. 2019](#)

\*\* <https://energyinnovation.org/2020/03/17/how-much-energy-do-data-centers-really-use/>

\*\*\* גרוסמן גרשון, עברון יגאל. פורום אנרגיה 34: יצור משולב של חום וחשמל חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2015



# השוואת חלבון אלטרנטיבי מהחי והצומח למקורות מהחי

environmental single score (ReCiPe)		carbon footprint (CFP)						LCA מדד
mPt / kg FU	mPt / kg	kg CO <sub>2</sub> -eq. / kg FU	kg CO <sub>2</sub> -eq. / kg FU	kg CO <sub>2</sub> -eq. / kg				יחידת המדידה
FU = 3.75 MJ energy		FU = 1 kg protein	FU = 3.75 MJ energy					יחידת מוצר (ק"ג, או יחידה פונקציונאלית - FU)
	1750				30		36	חלבון בקר
850	354		24		15		13.6	חלבון חלב בתהליך פרמנטציה
		10.5		2.15		9-16		חלבון ביצה בתהליך פרמנטציה
	270				4		8	חלבון חזיר
190	190		5.6		2.5		7	חלבון עוף
								בשר מתורבת - dairy based
180			4.7					חלבון חרקים
300			2.9					תחליף בשר על בסיס חלבון חיטה - Gluten based
180		6.3	3.8	0.75				תחליף בשר על בסיס חלבון סויה - Soymeal based
290			2.7					תחליף בשר על בסיס חלבון פטריה Myco-protein based
570		6.5	5.8	0.9				חלבון מהצומח
	25	4.88		1.3			1	מקור נתונים
6	2	5	6	5	4	3	2	שנה
		2022	2015	2022	2015	2021	2021	

2. CE Delft 190107. LCA of cultivated meat. – February 2021

3. Ovalbumin production using Trichoderma reesei culture and low-carbon energy could mitigate the environmental impacts of chicken-egg-derived ovalbumin | Nature Food

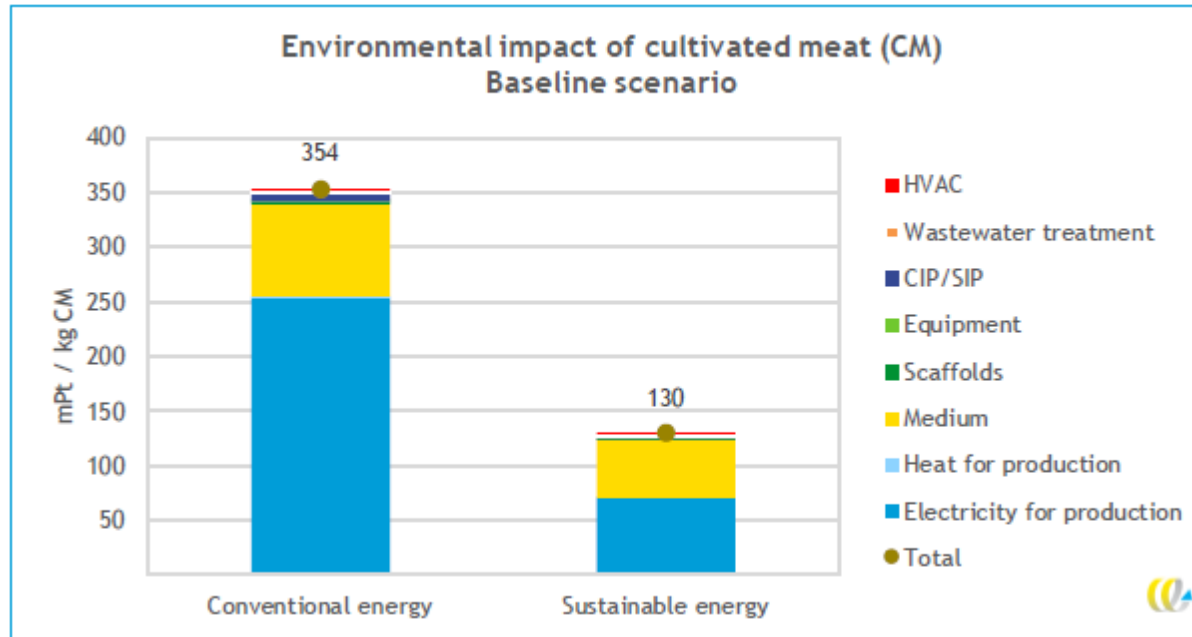
4. Anticipatory Life Cycle Analysis of In Vitro Biomass Cultivation for Cultured Meat Production in the United States. 2015

5. Maurizio Cellura, Maria Anna Cusenza, Sonia Longo, Le Quyen Luu and Thomas Skurk. Life Cycle Environmental Impacts and Health Effects of Protein-Rich Food as Meat Alternatives: A Review. Sustainability 2022, 14, 979

6. Int J Life Cycle Assess (2015) 20: 1254 Smetana, S., Mathys, A., Knoch, A. et al. Meat Alternatives: Life Cycle Assessment of Most Known Meat Substitutes



Figure 2 - Environmental impact (ReCiPe single score) per kg CM, contribution analysis



[CE Delft 190107. LCA of cultivated meat.](#) – גרפים מתוך –  
[February 2021](#)

בשר מתורבת בגרפים מצויין כ- CM – cultivated meat





Energy consumption					
Non-renewable Energy Use	Electricity	Energy	Energy	Energy	
MJ/kg FU	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	
			21	2.9	חלבון בקר
332	103.5	26.6	100	206	חלבון מתורבת
			17.7	3.9	חלבון חזיר
58	49.8		17.0	5.6	חלבון עוף
			11.5		חלבון מהצומח
54	12.3				בשר מתורבת - dairy based
36	10.8				חלבון חרקים
44	8.9				בשר מתורבת - Gluten based
32	10.0		14.5		בשר מתורבת - Soymeal based
68	21.3				בשר מתורבת - Myco-protein based
6	6	14	5	2	מקור הנתונים
2015	2015	2010	2022	2021	שנה

- צריכת אנרגיה ליצור בשר מתורבת היא כ- MJ/kg 264 – 147 . צריכת האנרגיה בגידול בע"ח ועיבודו נמוכה יותר והיא בסדר גודל של ~ 3 MJ/kg
- למפעל יצור יידרש חיבור חשמלי המוערך בהספק של כ- 10-45MW . בישראל קיימים מפעלים (גדולים) הצורכים אנרגיה בסדר גודל זה.
- כדי שיצור בשר מתורבת יהיה כלכלי נדרשת התייעלות אנרגטית. מומלצת יצירתיות באספקת האנרגיה למשל ניצול החום השיורי למטרות התהליך דבר שיכול להגדיל משמעותית את הנצילות האנרגטית.
- חלבון אלטרנטיבי ממקורות נוספים (חרקים, פרמנטציה, חלבון ממקור צמחי ועוד) דורש כמות אנרגיה נמוכה משמעותית מהנדרש לייצור בשר מתורבת.

2. CE Delft\_190107. LCA of cultivated meat. – February 2021 4. Anticipatory Life Cycle Analysis of In Vitro Biomass Cultivation for Cultured Meat Production in the United States. 2015

5. Maurizio Cellura, Maria Anna Cusenza, Sonia Longo , Le Quyen Luu and Thomas Skurk . Life Cycle Environmental Impacts and Health Effects of Protein-Rich Food as Meat Alternatives: A Review. Sustainability 2022, 14, 979

6. Int J Life Cycle Assess (2015) 20: 1254Smetana, S., Mathys, A., Knoch, A. et al .Meat Alternatives: Life Cycle Assessment of Most Known Meat Substitutes

14.Tuomisto et al. Life cycle assessment of cultured meat production. 7th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector, September 2010

# סיכום ההשפעות הסביבתיות של צריכת האנרגיה

- ניתוחים טכנו כלכליים מצאו שבכדי שהמוצרים יהיו מסחריים וכלכליים, מחויבת התייעלות משמעותית וחדשנות שיפחיתו עלויות הקמה ותשומות. כדי לשמור על רמת פליטות פד"ח נמוכות יש לפתח תהליכי יצור ולבנות מפעלים יעילים כדי להקטין את ההשפעה הסביבתית.
- תשומות האנרגיה (והמים) שיידרשו גבוהות, אך הן בסדר גודל של מפעלי מזון קיימים.
- צריכת אנרגיה עבור יצור בשר בקר מתורבת גבוהה בהשוואה הרבה מגידול בקר ועיבודו. שימוש באנרגיה מתחדשת והקמת מערכות לניצול החום השיורי של תהליך היצור יתרמו להפחתת פליטות הפד"ח ולהגדלת הנצילות האנרגטית והכלכליות.
- בשר מתורבת הוא בעל השפעה סביבתית נמוכה בהשוואה לבשר בקר, אך גדולה מחלבון חזיר, צאן ועוף.
- ההשפעה הסביבתית של חלבון בשר מתורבת נמוכה במעט בהשוואה להשפעה הסביבתית של חלבון עוף.
- חלבון אלטרנטיבי (שאינו תרבית רקמה) דורש כמות תשומות נמוכות באופן משמעותי.

סיכום

# המסקנות המרכזיות העולות מהעבודה והמלצות

# האתגרים הטכנו-כלכליים

- ✓ תחום הבשר המתורבת עומד בפני שורה של אתגרים טכנו-כלכליים משמעותיים מאוד המפרידים נכון לעתה בינו לבין הפיכתו לתעשייה יצרנית תחרותית.
- ✓ ההוצאות ההוניות העיקריות אשר מוערכות להקמת מפעל בשר מתורבת נובעות מעלות הביוריאקטורים אשר גרסאות תעשייתיות שלהם עבור בשר מתורבת נמצאות בשלבי פיתוח ראשוניים. כל תחום פיתוח הביוריאקטורים לקנה מידה תעשייתי (20 קו"ב ומעלה) עדיין בתחילת דרכו והיכולת כיום לייצר בכמויות שמתקרבות לצריכת בשר מן החי אינה קרובה.
- ✓ ההוצאות התהליכיות העיקריות נובעות מעלות מדיום הגידול ומשך זמן הריבוי והתבגרות התאים – את הפרמטרים הנ"ל יש להפחית באופן משמעותי מאוד על מנת להתקרב לעלויות ייצור סבירות.
- ✓ כיום (וככל הנראה בשנים הקרובות), הפתרון של חברות הבשר המתורבת הינו ייצור מוצרים "היברידיים" המכילים לפחות 70% חלבון צמחי ורק היתר מסה תאית. כלומר, מיהול של המסה התאית על מנת להפחית עלויות.
- ✓ האתגרים ביצור מסת בשר (דמוי טחון) מתורבת לגוש בשר (דמוי נתח) מתורבת הם שונים ובאים לידי ביטוי בעלויות.

# האתגרים הטכנו-כלכליים

- ✓ לפי פרסומים בשנת 2013 עלות בורגר (לא לקילו..) של חברת MOSA MEAT הייתה €200,000. השנה החברה פרסמה שהמחיר לבורגר ירד ל €9. לשם השוואה כיום בארה"ב מחיר ממוצע של ק"ג בשר בקר טחון הוא \$5.
- ✓ בפרק אתגרי היצור של בשר מתורבת אפשר לראות את תרחישי העלות שנבנו באמצעות מודלים כלכליים. ניתן לראות מה ההתייעלות הנדרשת (לפי התרחיש) כדי להגיע להוזלה והגעה למחיר יעד של 1.95 דולר/ק"ג.
- ✓ **החברות הקיימות כולל אלה שהגישו לרשות לא מציגות את מחיר העלות כיום ומהו מחיר היעד. ברור שככל שהמחקר מתקדם והתהליכים עוברים/יעברו גימלון המחירים ירדו.**
- ✓ במסמך ההצדקה של מאגד בשר מתורבת המאגד רשום (על בסיס ניתוח של GFI) שעלות ייצור בשר מתורבת עומדת כיום על כ 2,170 דולר/ק"ג של בשר מתורבת, אולם הערכה זו מבוססת על עבודה בבירויאקטור בנפח 20,000 ליטר. ביוראקטור בנפח כזה עדיין לא קיים בשימוש בחברות הבשר המתורבת ולכן לא ברור עד כמה זה מתוקף.
- ✓ שתי חברות ישראליות, סופרמיט ופיוצ'ר מיט, מפרסמות מחירים למוצרים הסופיים שלהם (מוצרים היברידיים הכוללים בשר מתורבת וחלבו מהצומח) בסדר גודל של פחות מ 10 דולר ליחידה/בורגר.



# האתגרים הטכנו-כלכליים

הירידה בעלויות מוצרי הבשר המתורבת אינה מוסברת רק ב"מיהול" המסה התאית בחלבון צמחי (מוצר היברידי), אלא גם או בעיקר בהתקדמות טכנולוגית הקשורה ל:

✓ קצב חלוקת תאים גבוה יותר

✓ פיתוח וטיפול קווי תאים אימורטליים (כלומר שיכולים להתחלק לנצח ואינם מפסיקים להתחלק לאחר מספר נמוך של מחזורי הכפלה)

✓ הפחתת עלויות מדיום הגידול על ידי פיתוח תנאי גידול או קווי תאים שזקוקים רק לחלק קטן מפקטורי הגדילה. בעקבות הביקוש הגובר לפקטורי גדילה מתחילה היענות לייצור בכמויות הולכות וגדלות ובמחיר יורד. לבסוף גורם מאוד מאוד משמעותי - באמצעות רגנרציה של מדיום הגידול הצורך בתיסוף חומרי מדיה ופקטורי גדילה יקרים יורד משמעותית. החברות המתקדמות יותר אינן משתמשות בסרום מן החי (מאוד יקר) ופיתחו מדיום ללא רכיבים מן החי .

# האתגרים הטכנו-כלכליים

## מיחזור מדיום הגידול

- ✓ כדי להוזיל את תהליך גידול התאים יש צורך במיחזור מדיום הגידול המהווה חלק גבוה בעלות היצור. מדובר בציווד מפיתוח עצמי של חלק מחברות הבשר המתורבת. בסה"כ מדובר בטכנולוגיות מוכרות כמו מיקרו, אולטרה ונאנו פילטרציה עם התאמות ספציפיות, מערכות ייעודיות כאלו עדיין אינן מוצר מדף. כחלק ממאגד בשר מתורבת תנובה מנסה לפתח מערכת גנרית כזו על בסיס הידע והניסיון של מפעל "בעמק טכנולוגיות מתקדמות" המפריד חלבון ולקטוז ממי גבינה.
- ✓ לחלק מחברות הבשר המתורבת (למשל ב Future Meat) כבר יש מערכות לרגנרציה של מדיום הגידול וחברות נוספות נמצאות אחרות במהלך פיתוח טכנולוגיה זו. בתהליך זה מורחקים ממדיום הגידול חומרי הפסולת המטבולית של התאים (בעיקר אמוניה ולקטט - LACTATE) והמדיום העשיר עדיין בחומרים יקרי ערך, מוחזר לאחר ריענון לתהליך גידול התאים.
- ✓ המוטיבציה העיקרית ליישום תהליך כזה הינה כלכלית ומוזילה מאוד את עלות המדיום.
- ✓ כתוצר לוואי בעצם נחסכים מירב השפכים של תהליך הייצור של בשר מתורבת.
- ✓ תהליך רגנרציית המדיום מדגיש את הנכונות של טיפול באיכות המים וטיפול בשפכים ברמת המפעל.

## האם יש צורך בהקמת תשתיות משותפות לשרות מספר מפעלים ביחד?

### מחזור מדיום

אם מדובר על רגנרציה של מדיום גידול החוזר לביוריאקטורים, אזי התשובה היא לא! מאחר ולכל חברה יש את המדיום עם התוספות הייחודיות שלה ובמינונים שלה הרי שגם תהליך הסינון/מחזור צריך להיות מותאם או מכוון ספציפית לצרכיה. בנוסף, אף חברת בשר מתורבת לא תסכים לחלוק/לחשוף באופן עקיף את הרכב המדיום שלה. כמו כן הסכנה בזיהומים צולבים על אותה תשתית מפחיתה את המוטיבציה למתקן שיתופי.

נימוק נוסף, התשתית לרגנרציה אמורה להיות ממש בסמיכות למתקן ייצור הבשר המתורבת ובהזרמה רציפה לכן שינוע אצוות של מדיום ממתקן כלשהו למפעל הבשר המתורבת וחזרה נראה לא מתאים. אפשר לחשוב על הציוד ותהליך הרגנרציה כתחליף לכליות של בעלי החיים (למעשה מדובר בדיוק באותו תפקיד) ואין הגיון שלא יהיה חלק מקו הייצור במפעל.

## האם יש צורך בהקמת תשתיות משותפות לשרות מספר מפעלים ביחד?

### תשתיות מים

בהנחה שרמת המים המגיעה למפעל הינה באיכות מי שתייה הטיפול באיכות המים בהתאמה לתהליכי היצור צריכה להיעשות ברמת המפעל. אין יתרון כלכלי בהקמת תשתית משותפת, התלות של המפעלים בתשתית הריכוזית תהיה גבוהה. נדרשת הזרמה רציפה של המים וניטור וככל שיש מעבר ביותר צינורות ובמפעלים אחרים עליהם אין לחברה שליטה גדלה הסכנה לזיהומים וכמובן טפול במים ברמת המפעל מאפשרת שמירה על ה knowhow של תהליכי היצור.

### תשתיות ביוב

נדרש מט"ש באזור התעשייה שמסוגל לטפל בכמויות השפכים של המפעלים השונים. בהתאם לתקנים וגם כדאיות הטיפול במט"ש נדרש טיפול מקדים ברמת המפעל. טיפול מקדים מאפשר מחזור, עבודה יעילה בהתאם ליצור ורמת השפכים הנפלטת (סגירת מעגל בקרה) ושמירה על knowhow של תהליכי היצור.

# אתגרי התשתיות

- ✓ ייצור בשר מתורבת בהיקף של כ 1%\* ביחס לצריכה הנוכחית של בשר מן החי בישראל, אינו צפוי לייצר נטל משמעותי על המשק בצריכת החשמל, צריכת מים והיקף הטיפול בשפכים. מדובר בהיקפים הקיימים כבר כיום בתעשיית המזון ובתעשייה בכלל. ייצור בהיקפים של 10% ידרוש בחינה מחודשת.
- ✓ ייצור במדינת ישראל וייצוא יהיה תלוי בטביעת הרגל הפחמנית שתיווצר (יבוא חומרי המוצא, עלויות הייצור בישראל, שינוע בקירור למדינות היעד) בכל שרשרת הערך.
- ✓ עם זאת, מומלץ לפני החלטה להקים מפעל/ים בסדר גודל זה לבצע עבודת סקר. האם באזור התעשייה הקיים או המתוכנן לקום קיימות התשתיות שתתנה מענה לצרכים.
- ✓ מערכות רגנרציה למדיום תקלנה על נטל צריכת המים והשפכים הצפוי והוא יהיה נמוך משמעותית מהמתואר בפרק "צריכת מים ויצירת שפכים".

\* הבחירה ב 1% נובעת מההערכות השמרניות, כי עד 2030, הבשר המתורבת יתפוס לכל היותר 1% מהיקף הצריכה של בשר מן החי.

# אתגרי התשתיות

- ✓ נדרש להקים ברמת המפעל מתקן טיפול קדם בשפכים כמו כן לוודא שמכון השפכים הקיים או המתכונן לקום יוכל לטפל בכמות השפכים שתוזרם ע"י המפעלים.
- ✓ איכות המים שמגיע לאזור התעשייה צריכה להיות מנוטרת וברמת איכות של מי שתייה. כל מפעל יידרש להקים מערכת לייצור Purified Water בספיקות הנדרשות לתהליך הייצור. צריכת המים עבור ייצור בשר מתורבת נמוכה יותר מצריכת מים לגידול בע"ח, וזאת בחישוב צריכת מי רשת (blue water) ללא הכללת מי גשם
- ✓ חשמל/אנרגיה: עד אשר תהיה אפשרות להשתמש באנרגיה חלופית / ירוקה יש לשקול יצור מקומי על בסיס גז וניצול החום השיורי למטרות התהליך כדי להגדיל משמעותית את הנצילות האנרגטית והכלכליות, וכן להפחית את הלחץ מתשתיות לאומיות.

# ההשפעות הסביבתיות המוערכות לייצור בשר מתורבת ביחס ליתר החלופות

Carbon Footprint (CFP)	מדד LCA
kg CO <sub>2</sub> -eq. / kg	יחידת המדידה
	יחידת מוצר = ק"ג
30 - 36	חלבון בקר (מן החי)
13.6	חלבון מתורבת (בשר מתורבת)
9 - 16	חלבון ביצה טרנסגני (פרמנטציה)
2.7	חלבון חלב טרנסגני (פרמנטציה)
4 - 8	חלבון חזיר (מן החי)
2.5 - 7	חלבון עוף (מן החי)
2.4 - 6.4	חלבון סלמון (מן החי, גידול חקלאי)
0.9 - 6.5	חלבון ממקור פטריות
2.9 - 3.2	חלבון חרקים
2.4	חלבון על בסיס צמחי (סויה)
0.75	חלבון על בסיס צמחי (גלוטן חיטה)

1. ע"פ הנתונים הקיימים (נכון למועד כתיבת מסמך זה), ייצור בשר מתורבת יהווה חלופה עדיפה לסביבה רק ביחס לבשר בקר.

2. בשר חזיר ועוף מהווים חלופה "ירוקה" יותר מבשר (חזיר ועוף) מתורבת ע"פ הניתוחים וההערכות הקיימים.

3. חלבון צמחי וחלבון מחרקים מהווים את החלופה ה"ירוקה" ביותר – עם זאת המגבלות האורגנולפטיות והפסיכולוגיות שלהם מונעות כיום אימוץ נרחב יותר והפחתה של צריכת בשר מן החי.

4. ככל שתהיינה פריצות דרך טכנולוגיות ותהליכי הייצור יתייעלו, כך צפוי שההשפעה הסביבתית של ייצור בשר מתורבת תקטן.

# ההשפעות הסביבתיות המוערכות לייצור בשר מתורבת ביחס ליתר החלופות

✓ מתוך כל מיני החיות שמנסים לייצר מהן בשר מתורבת (בקר, עוף, חזיר, סלמון, שרימפס וכו'), נכון כרגע החישובים של ה LCA מצביעים על כך שייצור בשר בקר מתורבת ידידותי יותר לסביבה בהשוואה לגידול בקר ובשלב זה עדיף לגדל חזירים ועופות מבחינה סביבתית.

✓ הכי ידידותיים לסביבה הם תחליפי בשר וחלב על בסיס חלבון מהצומח ואחריהם ככל הנראה חלבון מפרמנטציה של מיקרואורגניזמים ורק בסוף בשר מתורבת. עם זאת כמו שאנחנו רואים כעת את ההתרסקות של מניית beyond meat (תחליף צמחי לבורגר ובשר טחון) התורפה של תחליפים צמחיים היא שהם לא מספיק דומים או טעימים ביחס למקור מן החי (אולי בעתיד חברות אחרות כן יצליחו...) ולכן לבשר המתורבת יש סיכוי טוב יותר לגרום לאנשים להפחית צריכה של בשר ומוצרי חלב אמיתיים (או כך לפחות מקווים).

✓ חלבון מפרמנטציה של מיקרואורגניזמים הוא בסופו של דבר אבקות חלבון אשר תשמשנה כחומרי גלם להכנת מוצרי מזון כתחליפי בשר או חלב, אך אין להם כלל מרקם ובד"כ גם לא טעם כך שהם אינם עומדים בפני עצמם כתחליף סטייק, המבורגר או חלב אלא רק מהווים רכיב/חומר גלם עיקרי.



# ההשפעות הסביבתיות המוערכות לייצור בשר מתורבת ביחס ליתר החלופות

- ✓ השפעת ייצור חלבונים מן החי בפרמנטציה ע"י מיקרואורגניזמים: הנתונים מעטים ועם סטיות גבוהות, אך מאחר ומדובר בתהליכים ביוטכנולוגיים בעלי מאפיינים דומים לאלו של בשר מתורבת, ההנחה הינה כי השפעתם על הסביבה תהיה בסדר גודל דומה לזה של בשר מתורבת.
- ✓ יש לציין כי חברת Perfect Day המייצרת חלבוני חלב באמצעות שמרים [פרסמה LCA](#) על התהליך שלה וממנו עולה כי טביעת האצבע הפחמנית נמוכה – 2.7 kg CO<sub>2</sub>-eq. /kg ועומדת על רמה דומה לחלבון צמחי. (לחברה יש מכירות של \$M 41 ב 2021 של החלבון הרקומביננטי).

## עידוד פיתוח ויצור בשר מתורבת וחלבון אלטרנטיבי בישראל

- ✓ יש לשקול האם כדאי לתעדף תמיכה בחברות המפתחות תחליפים לבשר בקר על פני אלו המפתחות תחליפים למינים אחרים מכיוון שההשפעה הסביבתית (לפי הערכות) של בשר בקר מתורבת הינה נמוכה בהשוואה לגידול בשר בקר והתרומה שלו גבוהה ביחס לבשר חזיר ועוף (לבשר מתורבת שלהם השפעה סביבתית גבוהה מהגידול עצמו).
- ✓ יש לנקוט זהירות ולקחת בחשבון כי התחשיבים לגבי ההשפעה הסביבתית של בשר מתורבת מבוססים על הנחות ולא על נתוני ייצור בפועל ולכן עשויים להשתנות. בהתייחס למידע הקיים נדרשת התייעלות משמעותית כדי לא להכביד על התשתיות בישראל (אנרגיה, מים, שפכים).
- ✓ במאזן ההשפעה הסביבתית ישראל אינה מגדל בקר משמעותי ובמאזן גידול בקר בישראל מול ייצור וייצוא מישראל לא יהיה "רווח" סביבתי גדול. יש לקחת בחשבון את ההשפעה הסביבתית של יבוא חומרי הגלם לישראל וייצוא מוצרי המזון. כמו כן ייצוא מזון הינו נגד התנועה לצרוך מזון מקומי גם אם מיוצר במפעל.
- ✓ הסבירות שנעבור ל 100% צריכה מקומית של בשר מתורבת וחלבון אלטרנטיבי בעתיד הקרוב והבינוני (20 שנים) לא גבוהה. ככל הנראה ההצדקה הסביבתית הגבוהה ביותר היא לעבור לבשר בקר מתורבת. יש הגיון כלכלי לייצוא למדינות השכנות / קרובות בהנחה שהוצאות השינוע אינן משפיעות לרעה על המאזן הסביבתי.
- ✓ ייצור חלבון אלטרנטיבי בשיטות ביוטכנולוגיות (בשר מתורבת ופרמנטציה של מיקרואורגניזמים) יקטין את התלות של מדינת ישראל ביבוא בשר ויחזק את בטחון המזון והחוסן הלאומי של ישראל.