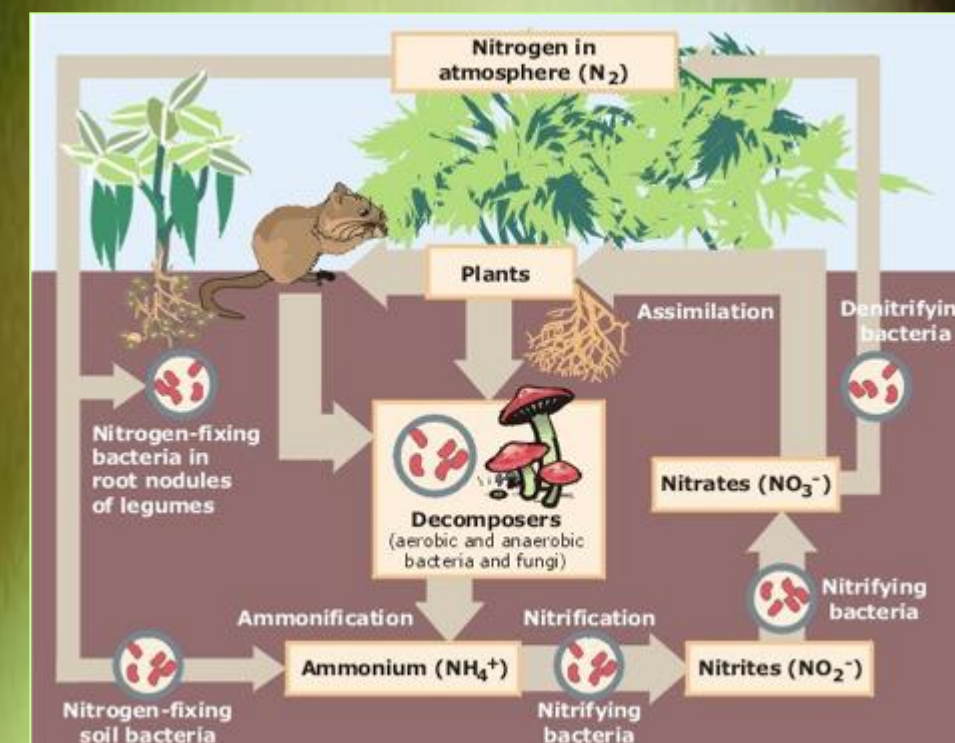


## קיבוע חנקן

קיבוע חנקן הוא תהליך טבעי חיוני, שבו מיקרואורגניזמים הופכים את החנקן הבלתי פעיל שבאוויר, לתרכובות חנקן אי-אורגניות. תרכובות אלו הופכות בבוא הזמן לתרכובות אורגניות של חנקן ומהוות חוליה בשרשרת המזון, בדרך ליצירת חלבונים בצמחים. החנקן הזמין באדמה, במיוחד ניטריטים, בדרך כלל אינו נמצא בכמות מספקת לקבלת יבולים רצויים ולכן יש צורך בתוספים. תהליכים מסחריים רבים פותחו כדי לייצר דשנים מכילי חנקן, כולל השיטה הידועה של האבר-בוש לסילתה של אמוניה. המעקב אחרי כימיית הקרקע נובעת מבוסס על השיטה של קלדאל מ-1956 לאנליזה אוטומטית של כמות החנקן המצויה בתרכובות אורגניות.



מעגל החנקן



פקעיות שרשים

## תהליך האבר-בוש

בסוף המאה ה-19, התעוררו דאגות קשות בקרב מנהיגי העולם מכך שייצור המזון לא יספיק לאוכלוסית העולם המתרחבת. תכולת החנקן באדמות החקלאיות נוצלה במלואה ומספר לא קטן של מדענים ניבאו רעב עולמי. המשימה של ייצור תעשייתי של דשנים חנקניים הפכה להיות בעלת חשיבות קיומית. הפתרון הגיע בשנת 1908 מגרמניה, שם פריץ האבר גילה את עקרונות ההפקה של אמוניה מהחנקן שבאוויר, תוך ניצול המקורות הפיזיקליים והכימיים שהיו קיימים באותה עת. תהליך ההפקה מתבצע על זרז ברזל בטמפרטורה ולחץ גבוהים. קארל בוש, כימאי בחברת BASF, הפך את התהליך למסחרי על ידי הקמת מתקן ייצור תעשייתי, הראשון מסוגו, בשנת 1913. התהליך התעשייתי איפשר את ההתרחבות של הייצור החקלאי וכן את הגידול באוכלוסית העולם במהלך המאה ה-20.



פריץ האבר

## התקדמות בדשנים כימיים

החל מ-1913 החלו הדשנים הסינתטיים להיות מיוצרים באופן מסחרי ושיפרו באופן דרמטי את כמות היבולים החקלאיים. תהליכי הייצור של דשנים כימיים מתחדשים ומתקדמים כל הזמן. בשנת 1930 הוחל בשיווק של דשנים מגורענים ובשנת 1965 הוצג בשוק האמריקאי דשנים המבוססים על שחרור מושהה לאורך זמן. החל משנת 1970 השיפור בתהליך הגירעון הביא לייצור דשנים המתאימים לשימוש ביתי. החידוש האחרון בדשנים מסחריים מכיל קפסולות לשיחרור מושהה, שמונעות דישון יתר, וכך מונעים ביזבוז דשנים ונזק לסביבה.



## המהפכה הירוקה וצמחים מוכלאים

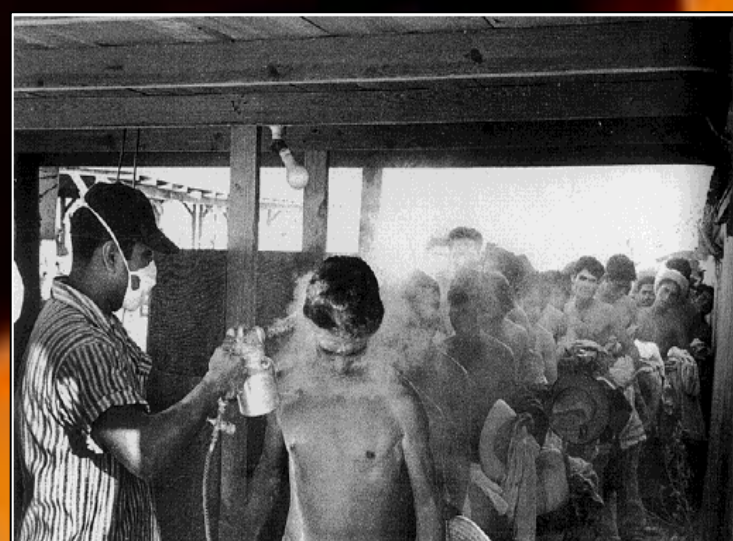
מאז 1870 מפתחים צמחי כלאיים בעלי תכונות רצויות וכדי להגביר את ייצור המזון ואיכותו. הכימיה האורגנית מזהה תכונות רצויות של צמחים, מתרגמת תכונות אלו לזני כלאיים ועוקבת אחר ביצועיהם בשטח, כגון צריכת החנקן מדשנים כימיים. התקדמות זאת הביאה ל"מהפכה הירוקה", שהחלה כאשר מקסיקו הצליחה לספק את כל תצרוכתה בעצמה, בשנת 1943. בשנת 1964 ההזנה של רוב האוכלוסייה באסיה היתה מבוססת על גידול של זני כלאיים חדשים ועל אדמה מועשרת בדשנים כימיים. חקלאים אמריקניים מאמצים סוגים חדשים של צמחים מוכלאים, כגון תפוח-אדמה ותירס אשר פיתחו עמידות למזיקים ולקוטלי עשבים.





## שיטת בורדו וקוטלי פטריות

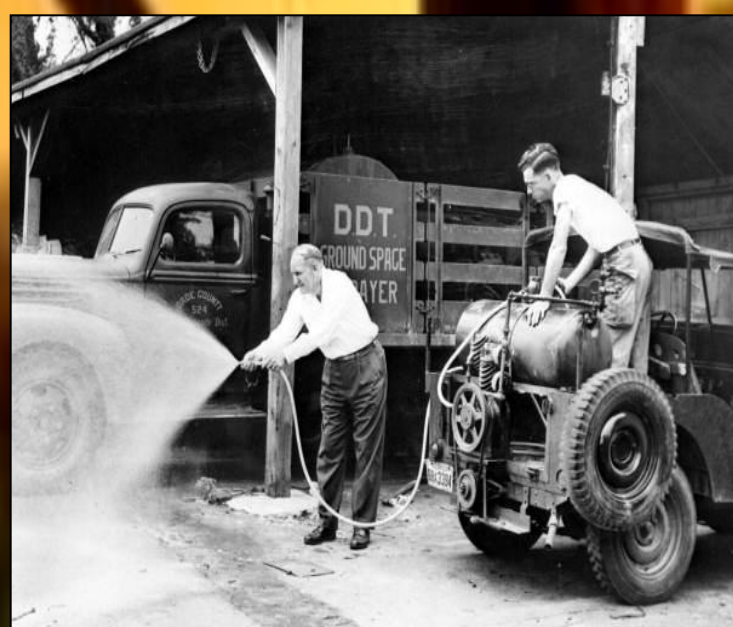
בשנת 1882 בוטנאי צרפתי בשם פייר מילרד השתמש בתמיסה מימית של נחושת גופרתית וסיד מומס במים (תערובת בורדו) כדי להלחם ביעילות בקימחון בכרמים צרפתיים. תערובת בורדו מנטרלת סוגי פטריות שפוגעות ביבולים. היתה זאת נקודת ציון לשימוש רחב טווח בקוטלי פטריות והגנה על היבולים באמצעות טיפול כימי. חידושים כימיים רבים שינו מאז את פני החקלאות. ציוני דרך חשובים בתחום קוטלי הפטריות, היו פיתוח הדיתיוקרבמטים בשנת 1934 וסטרובילורין בשנת 1996.



DDT במלחמה  
נגד מלריה



דד"ט עלול  
לגרום ליצירת  
ביצים בעלות  
קליפה דקה מדי

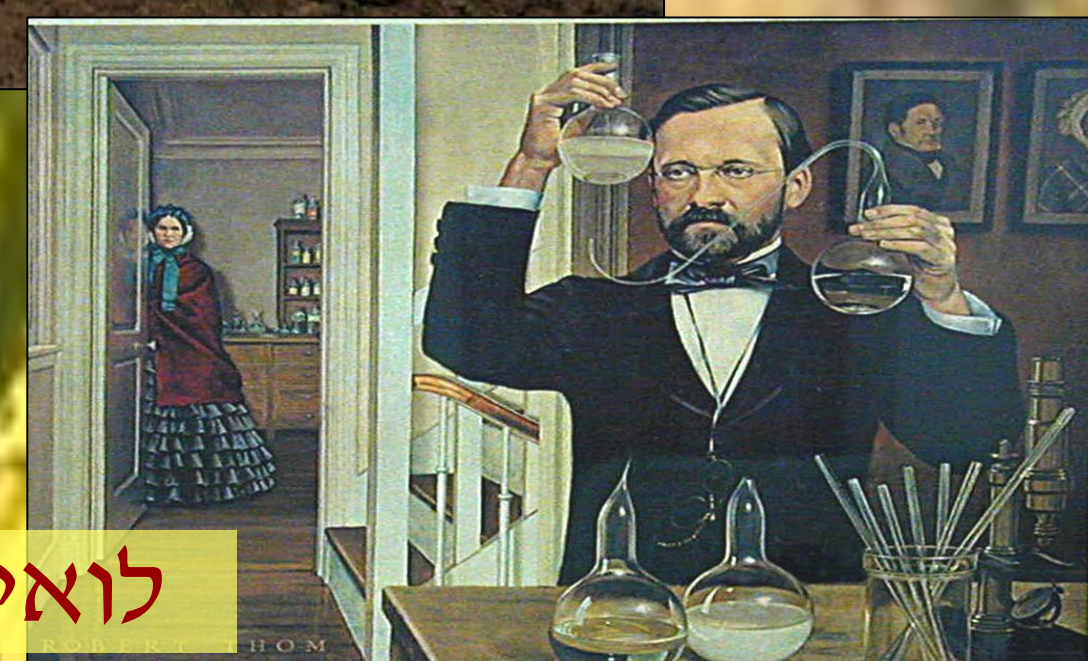


## DDT וקוטלי מזיקים

קוטלי מזיקים מגינים על יבולים חקלאיים מנזק על ידי פטריות, חרקים ותחרות מצמחים אחרים. בשנת 1939 פול מולר פיתח קוטל חרקים לא יקר, בשם DDT, כדי להתגבר על חיפושיות תפוחי האדמה וחרקים נוספים. DDT (dichlorodiphenyltrichlorethane) וקוטלי חרקים דומים, שלטו בתחום המלחמה במזיקים ובמחלות שהם מביאים יותר מ-20 שנים. בשנות ה-60 התעוררה דאגה ציבורית לגבי הנזק לסביבה והצטברות ה-DDT בגוף האדם, בנוסף לפיתוח עמידות במינים של מזיקים. כל אלו הביאו לפיתוח קוטלי מזיקים מסוגים חדשים ולהקטנת השימוש ב-DDT. כיום, החוקים בנושא שימוש בקוטלי מזיקים מאפשרים לחקלאים חיסכון בשימוש בחומרים, הגברת הבטיחות לעובדים וחקלאות ידידותית יותר לסביבה.

## הגנה על חיות הבית

הטיפול במחלות של חיות, על ידי חיסון או תרופות, שיפר את האיכות ואת הכמות של המזון. בשנת 1881, לואי פסטר השלים בהצלחה את טכניקת החיסון של בעלי חיים כדי להשרות עמידות כנגד אורגניזם הגורם לאנתרקס. בשנת 1981, הוצג לראשונה האיברמקטין, תכשיר אנטי פרזיטי למלחמה בטווח רחב של תולעים, קרדיתנים, ופרזיטים פנימיים אחרים, שפוגעים בבריאות בעלי החיים. מחקר עכשווי מנסה למנוע את מחלת "הפרה המשוגעת" bovine spongiform encephalopathy, אשר נגרמת על ידי חלבונים במזון בעלי חיים אשר מארחים את גורם המחלה.



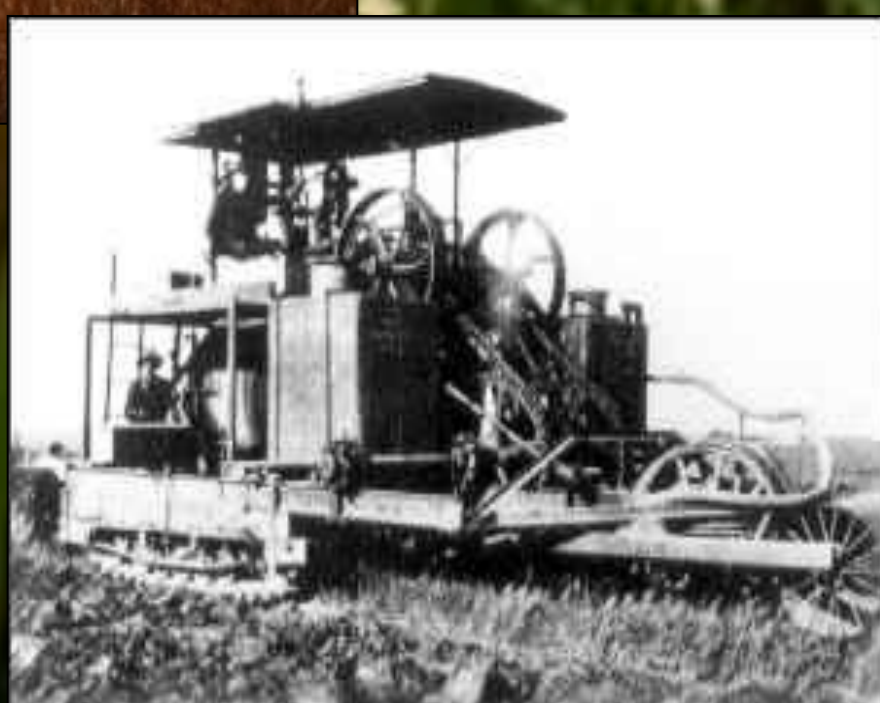
לואי פסטר

## אוטומציה בחוות חקלאיות

הכימיה החקלאית וכן תהליך האוטומציה של חוות חקלאיות התפתחו מאוד במהלך המאה הקודמת, כתוצאה מהצורך בטכנולוגיות יעילות, בכימיקלים חקלאיים, כולל דשנים וקוטלי חרקים, טיפול במים, ועוד. תהליכים אלו הגדילו בצורה דרמטית את היעילות והתפוקה של החוות. הטרקטור המונע על ידי דיזל פותח על ידי הממציא האמריקאי בנג'מין הולט ב-1904. הטרקטורים המודרניים, המעבדים, הקוצרים, הדשים והשוטפים פועלים בטכנולוגיות מבוססות מחשב ותוכנות GPS מורכבות, כולם התאפשרו תודות להמצאות כימיות חשובות, כגון דלקים פטרוכימיים, חומרים מבניים, סגסוגות של מתכות, חומרים פלסטיים מתקדמים, טכנולוגית צמיגים ואלקטרוניקת מחשבים.



קומביין  
מודרני



הטרקטור הזוחל  
שפותח ע"י הולט



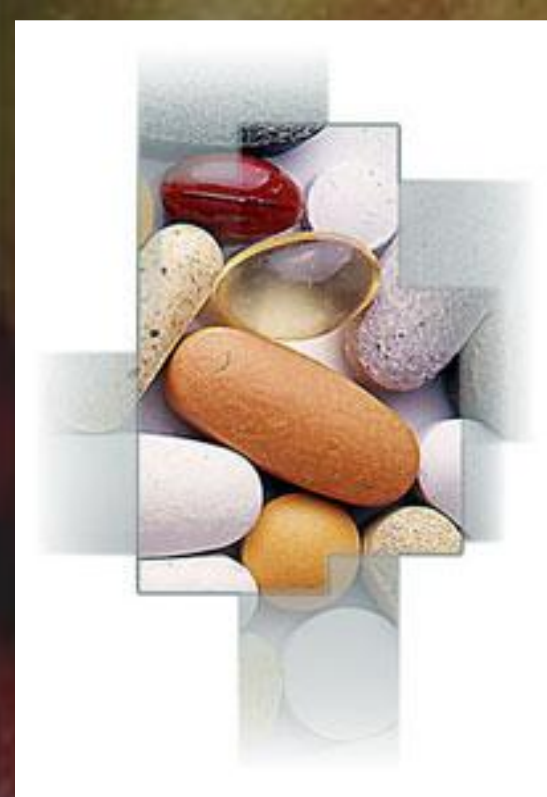
## סכרין וממתקים

ממתקים מלאכותיים, שנוצרים בסיועה של הכימיה, חשובים לחולי סוכרת ולאנשים שזקוקים לדיאטה מיוחדת כדי לשמור על רמת הסוכר בדמם. בשנת 1901, ג'והן פ. קני ייצר את הממתיק המלאכותי סכרין. בשנת 1967, הייצור של סירופ תירס עשיר בפרוקטוז אשר מבוסס על שימוש באנזים להגברת המתיקות של פרוקטוז סירופ התירס עלה מ-14% ל-42%, וגרם למהפיכה בשוק המשקאות הקלים. אספרטם נמכר לראשונה בשנת 1985 בארצות הברית. הממתיק דל הקלוריות הזה, שנמכר בשם NutraSweet, פותח לראשונה בשנת 1955 כתרופה אפשרית נגד אולקוס.



## ויטמינים כתוספי מזון

הבנת התהליכים הביוכימיים של המזון הביאה לתזונה מתקדמת ולטיפולים דיאטטיים למניעת מחסור בויטמינים ובחמרים חיוניים אחרים. מדע הכימיה תרם רבות לתחום הזה, כפי שרואים כשבוחנים את הויטמין הראשון שהתגלה. ויטמין A בודד בשנת 1913 מחמאה ומחלמון ביצה, והוא מרכיב חיוני לראיה ולעור. המבנה הכימי שלו נקבע בשנת 1931, והוא סונתז לראשונה בשנת 1947. הכימאי ההונגרי אלברט שנט-ג'ורוג'י בודד חומצה הקסורונית (חומצה אסקורבית) מבלוטת האדרנל וכיום הוא מוכר בשם ויטמין C. בשנת 2001 נכנס לשימוש חקלאי אורז שהונדס גנטית, כך שהוא מייצר פרו-ויטמין A. זן האורז הזה תורם רבות באסיה במלחמה בעיוורון ובמחלות אחרות, שנגרמות ממחסור בויטמין A.



## התפתחויות בשימור וביצור מזון

כימית המזון החלה במחקריו של הכימאי הגרמני ג'וסטוס ליביג, אשר ביצע מיצוי של בשר באמצע המאה ה-19. ההתקדמות בייצור ובטכניקות השימור מאפשרים לנו לאכול מגוון רחב של מזון מעובד. לאור אפשרויות השימור המוצלחות התפתחה תעשייה ענפה של מזון מעובד. טכנולוגיות חדשות מאריכות את חיי המדף של המוצרים, כמו יבוש בהקפאה (1906) הקפאה עמוקה של מזונות (1920), בישול ואחר כך הקפאה של מזון (1939) והכנת תרכיזים נוזליים (1946).



The one-time placard of Liebig's meat extract



## בטיחות מזון ובדיקות

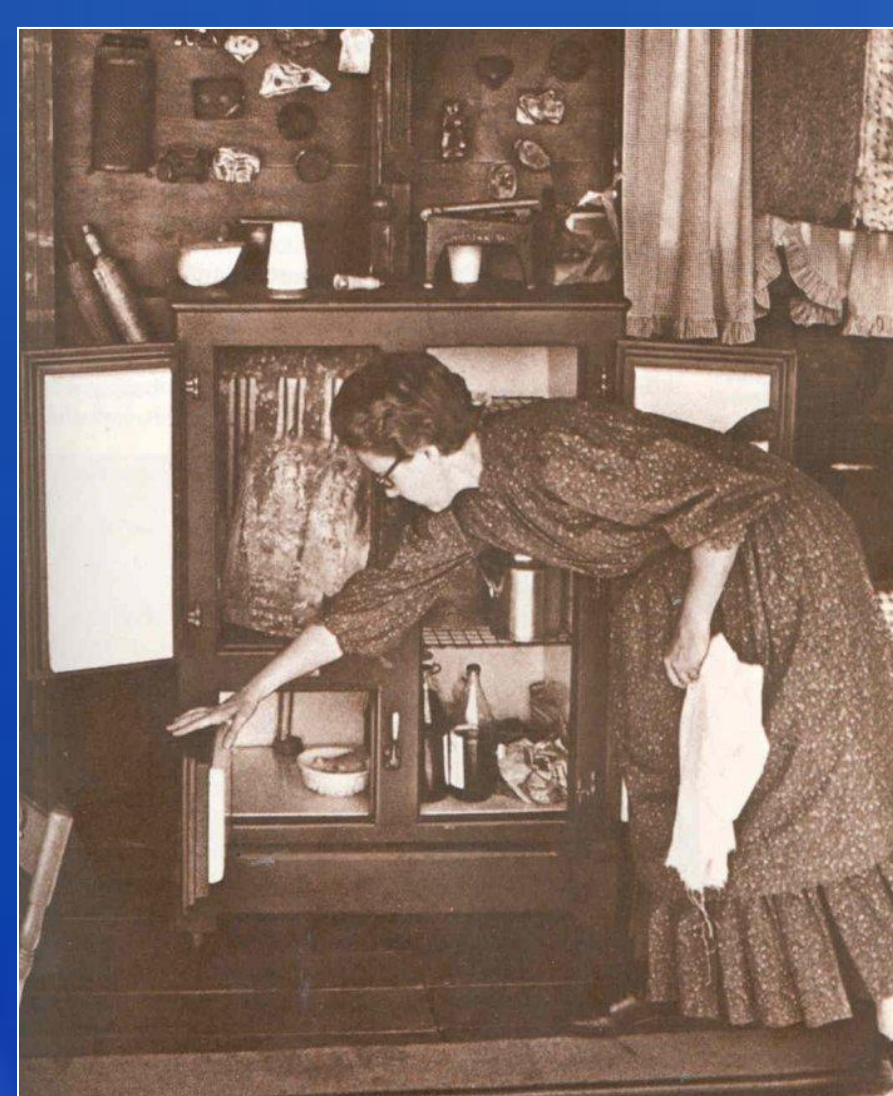
כל תוצר חקלאי גולמי או מעובד יכול להפוך למזוהם ולהשפיע על בריאות האדם. זיהום יכול לקרות בזמן ההכנה, הבישול, ההגשה או האכסון. ההתקדמות הכימית מגבירה את בטיחות המזון וכוללת שיטות בדיקה מהירות שמאפשרות איתור וזיהוי של מזהמים מיקרוביליים ומניעה של מגיפות כתוצאה מהרעלות מזון. לדוגמא, מחלות כאלו, אשר נובעות מפתוגנים הנפוצים במזון, צומצמו ב-20% בארצות הברית בין השנים 1997 ל-1999.





## אריזת מזון

אריזת מזון באמצעות טכנולוגיות פלסטיק, מתכת, זכוכית וקרמיקה מסייעת לשמור על המזון במהלך המכירה, ההעברה וההכנה. רלף ויילי המציא שרף פולימרי מסחרי בשנת 1930, והעטיפה הזאת, Saran wrap, נכנסה לשימוש בשנת 1953 בתור מחסום מצויין לחמצון, לרטיבות, לריחות ולכימיקלים שונים, בתנאי לחות וטמפרטורה קיצוניים. ה"ניילון הנצמד" הוא קופולימר של וינילידין כלוריד עם ויניל כלוריד. המצאות אחרות כוללות פחיות אלומיניום עבור מזון ומשקאות (PET - ו (1960) (polyethylene terephthalate) כחומר הניתן למחזור, אשר מיצרים ממנו מיכלים ואריזות כתחליף למיכלים הישנים מזכוכית או מאלומיניום, שהיו בשימוש בשנות ה-70.



קופסת הקרח (1890) ומקרר מודרני

## מקררים וכלורו-פלואורו-פחמימנים

מאז שהוכנס לשימוש ביתי ב-1918, שינה המקרר את תהליכי שימור המזון, באפשרו לשנע ולאחסן מזון טרי בצורה בטוחה. מוקדם בשנות ה-20, המקררים לא היו מבוקשים, בגלל רעילותה של הגופרית הדו-חמצנית, ששימשה כנוזל הקירור. הפתרון היה הגז פראון 12,  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ , תרכובות של כלורו-פלואורו-פחמן שנוהגים לכנות CFC. תרכובת שהוכנה על ידי תומס מידגלי וצירלס קטרינג בשנת 1931. מקררים הפכו במהירות למכשיר סטנדרטי בבתים, מסעדות וחנויות מכולת. כיום, הפראונים יוצאים משימוש כנוזלי קירור מכיוון שהם מזרזים את פירוק שכבת האוזון באטמוספירה, המגינה על כדור הארץ מקרינת UV.

## תנורי מיקרו-גל

מיכשור ביתי מתקדם הקטין במאה ה-20 את העבודה הביתית להכנת מזון. המצאה אופיינית, אשר מקורה בחידושי הכימיה, היא תנור המיקרו-גל. בשנת 1945 עמד פרסי ל. ספנסר ליד מכשיר להעברת ראדאר ברייטאון, כאשר סוכרייה שהיתה בכיסו, החלה להינתך. מופתע, הוא חזר על הניסוי עם פופקורן, וכך נולד המיקרו-גל. מכשיר המכ"ם הופיע מאוחר יותר באותו עשור במטבחים התעשייתיים. היום, המגנטרונים שהיו הבסיס למכ"מים במלחמת העולם השנייה עדין מהווים את ליבו של המכשיר הפופולארי שכולנו משתמשים בו.



מולקולה של חומצה  
היפורלורית



## מים נקיים

ההתקדמות בכימיה הבטיחה אספקת מים נקיים מחיידקים, מוירוסים וממזהמים מזיקים אחרים. החידושים כוללים שימוש במסנני פחמן להרחקת טעמים וריחות רעים, מרכיבים נוספים לריכוך המים ולסילוק מתכות כבדות, וטכנולוגיה מודרנית לטיפול במים לצורכי אספקה וחלוקה. החיטוי באמצעות כלור במערכות לטיפול במים, הוכנס בשנת 1910, והשימוש הביתי בכלור החל ב-1913. השימוש בחומרי חיטוי על בסיס של כלור, גם הוא מהווה שיטה מצויינת להגנה על מטבחים ועל מתקני בישול, כדי למנוע מחלות והרעלות מזון.