

הצעה להוראת הנושא

"נייר ושימושיו" בשילוב עם הנושא "מערכת ההובלה בצמחים"

בתוכנית הלימודים לחטיבה העליונה

יעקב גרוס

תוכנית הלימודים לחטיבה העליונה כוללת את הנושא "מערכת ההובלה בצמחים". התהליכים המפורטים בתוכנית הם (להלן ציטוט): "מערכת ההובלה בצמחים - הובלת המים ללא משאבה. קליטת מים ומלחים מן הקרקע והובלת מוטמעים. העקרונות של הובלת המים בעצה ושיפה".

מטרת מאמר זה להראות כי התכונות של האלמנטים הטרכאריים, המאפשרות להם להוביל את המים בצמח ביעילות, הן גם אלה המקנות לנייר את תכונותיו העיקריות - מארג נימי חזק, גמיש ובעל יכולת גבוהה לקלוט מים ולהובילם. תוכנית הלימודים מדגישה את חשיבותם של יישומים טכנולוגיים של התהליכים הביולוגיים. לכן מומלץ בזה לעסוק בנייר ושימושיו, בהמשך לתהליכי הובלת המים בצמח. להלן קווי המבנה והפעולה העיקריים של מערכת הובלת המים. בהמשך יתואר הקשר בין קווים אלה לתכונות הנייר ולשימושיו.

הובלת המים בצמח

המים מגיעים לכל תא בצמח בזכות שלוש מערכות:

1. הרצף הציטופלסמטי המורכב מכל הפרוטופלסטים והגשרים הפלסטיים שביניהם (סימפלסט).
2. רצף הדפנות של כל התאים (אפופלסט).
3. תאים מאורכים וחלולים חסרי-פרוטופלסט, היוצרים מעין צנרת (אלמנטים טרכאריים).

במערכת השלישית קיימת זרימת מסה, המעבירה במהירות כמויות מים גדולות מן השורש אל כל חלקי הצמח. מתאים חלולים אלה עוברים המים אל התאים הסמוכים ומהם לתאים אחרים, דרך שתי המערכות הראשונות, באטיות אך בדייקנות, לפי התנאים הסביבתיים וצרכיו של כל תא ותא.

הנייר מורכב מחומר דופן-תאית, או מתאים מאורכים שלמים (אלמנטים טרכאריים וסיבים). לכן יפורטו להלן המבנה והתכונות של שתי מערכות ההובלה האחרונות.

דופן התא: התאית תופסת 30%-90% מדופן התא (שיעורה נמוך בדופן הראשוני וגבוה בדופן המשני). היא בנויה מולקולות ארוכות מאוד, המתאגדות לאלומות כחוטים מיקרוסקופיים (איור 1). האלומות מאורגנות כרשת תלת-ממדית, ובחורים שביניהן חומרים שונים כגון ליגנין, סוברין המיצלולוז ותרבות פקטיות. התאית ושני המרכיבים האחרונים הידרופיליים מאוד, כך שהדופן סופח מים בקלות. גמישות הדופן המוקנית לו בעיקר על-ידי התאית, מאפשרת התארות של תאים צעירים והתכופות של איברים ברוח, או לכיוון האור. החללים שבין "חוט" התאית מובילים את המים בכוחות נימיים דרך האפופלסט (רצף הדפנות של כל תאי הצמח). הליגנין המצטבר בין אלומות התאית, בעיקר עם התבגרות הרקמה, שומר עליהן מפני התקפלות ומקנה לתאים ולחלקי הצמח הבוגרים את יציבותם וקשיחותם. האלמנטים הטרכאריים והסיבים הם תאים מאורכים, בעלי דופן עבה ועשיר בליגנין (פאהן, 1987).

האלמנטים הטרקאריים: בשם זה מכנים תאים מאורכים חלולים וחסרי פרוטופלסט, בעלי דופן עבה. (איור 1). הדופן שלהם מכיל כמות גדולה של תאית וליגנין. בהגיעם לבגרות מתים התאים. הפרוטופלסט שלהם נעלם ואילו הדופן שומר על צורתו המקורית. כך הם הופכים ל"צינורות נימיים" שהמים זורמים בהם במסה. האלמנטים הטרקאריים נמנים על שני סוגים: טרכאידים וחוליות טרכאה. להתעבות המשנית באלמנטים הטרקאריים מספר צורות אופייניות, והיא מאפשרת להם לעמוד בלחץ מים גבוה, ובעיקר בתת-לחץ בתנאים של התאדות מוגברת במצב של יובש יחסי.

חוליות הטרקאה מסודרות בטור שאין בו מחיצות רוחב, וכך הן הופכות ל"צינור" רב-תאי ארוך - טרכאה, המאפשר זרימת מסה מהירה. האלמנטים הטרקאריים הם המרכיב העיקרי של העצה - רקמת ההובלה בצמח (פאהן, 1971).

בחשופי זרע (אורן ואחרים), שהם העצים העיקריים בתעשיית הנייר, אין טרכאות, כך שהטרקאידים ממלאים את עיקר התפקיד של הובלת המים. העצה תופסת את מרבית הנפח של גזע העץ (איור 2), ומקנה לו את כושרו להוביל כמויות מים גדולות מן השורשים אל העלים מחד גיסא, ולשאת את משקל חלקי העץ מאידך גיסא.

סיבים: בעצה פזורים תאי תמיכה (סקלרנכימה) שהם מאורכים, בעלי דופן משני עבה, ולעתים קרובות חסרי פרוטופלסט עם התבגרותם (איור 1).

הנייר ושימושו

בתעשיית הנייר, מולקולות התאית החוטיות וכן האלמנטים הטרקאריים והסיבים, מכונים כולם "סיבים" או "תאית". הדרישות העיקריות מנייר הן: דקות, חוזק, גמישות וספיגת מים. שכבה דקה של "סיבים" (בשפת תעשיית הנייר) מספקת תכונות אלה.

נייר פשוט זול יחסית מיוצר בתהליך הבא: העצה מופרדת מן הסות (הקליפה עם השיפה) ומרוסקת לשבבים. העצה נטחנת ומבושלת במים, ואז כובשים אותה לשכבה ומייבשים אותה. חומר-הגלם בתהליך זה מכונה "תאית מכנית". הוא מורכב מן האלמנטים הטרקאריים והסיבים ומשאר תאי העצה. מסיבה זו הוא אינו אחיד. נייר מ"תאית מכנית" מצהיב עם הזמן בגלל התחמצנות הליגנין. נייר המכיל ליגנין מכונה נייר עצי. כושר הספיגה שלו גבוה מאוד, אולם כנייר לכתיבה או הדפסה איכותו נמוכה בגלל תופעת "הזחילה" של הדיו. בבדיקה מיקרוסקופית ניתן לראות את אותיות הדפוס המחולקות לכתמים קטנים בגלל חספוס הנייר. העיתון היומי ומוצרי היגינה פשוטים כמו נייר טואלט, מיוצרים מ"תאית מכנית". מוצרי קרטון עשויים ממספר שכבות נייר עצי, שלפעמים משאירים אוויר ביניהן (מפעלי נייר, 1992).

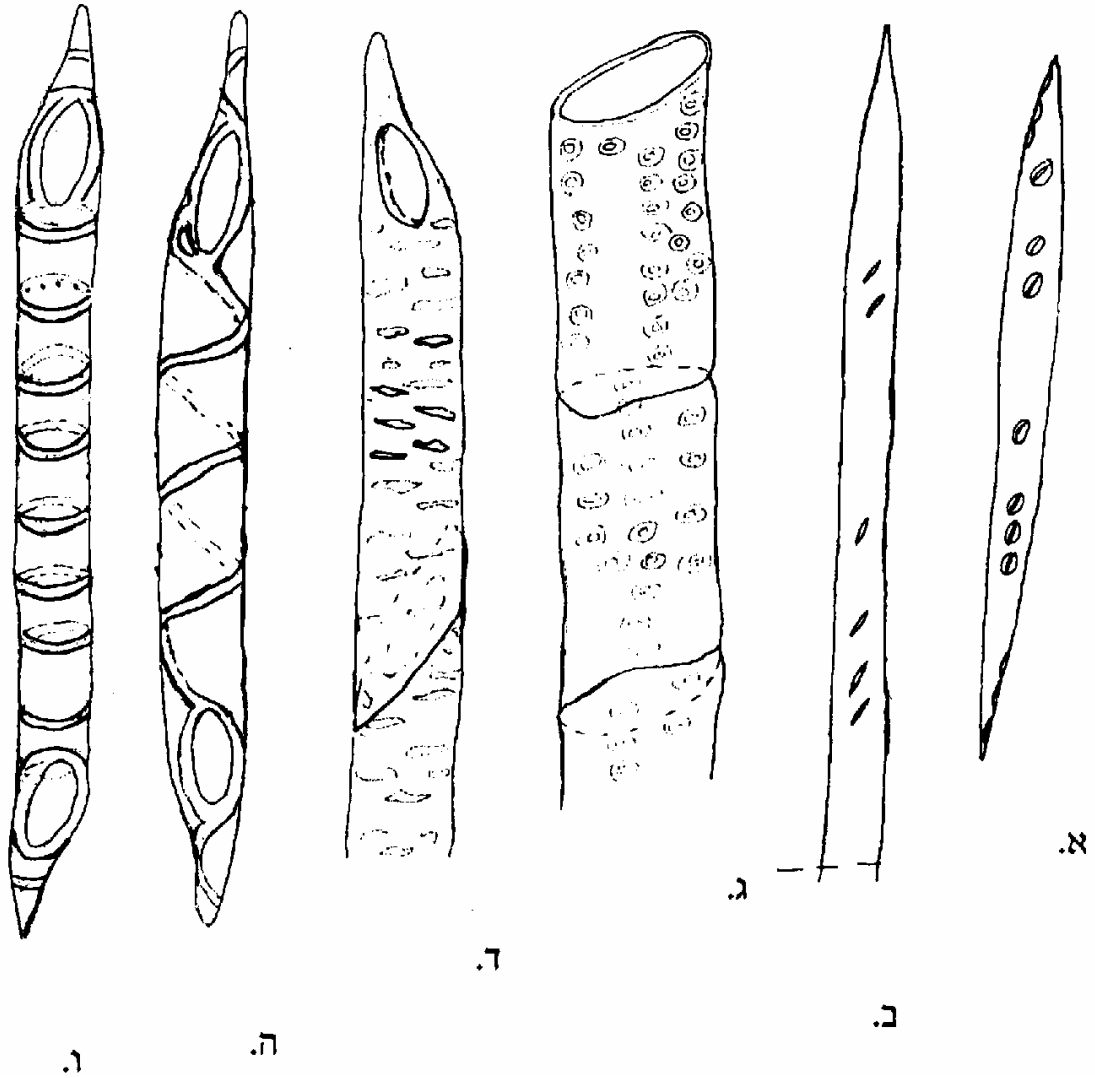
נייר משובח מייצרים מתאית נקייה (תאית כימית, בשפת התעשייה). מייצרים אותו על-ידי ריסוק העצה לשבבים, והפרדת התאית מן הליגנין על-ידי בישול במים עם בסיס. את שכבת התאית הנכבשת ומיובשת מצפים באבקות גיר וקאולין לחיזוק והחלקה. הרכב זה מאפשר הדפסה באיכות גבוהה. אפשר לצפות את הנייר בשרפים, לקבלת ברק ועמידות לאורך זמן. נייר משובח משמש לספרים יקרים, שטרי כסף, בולים ומסמכים חשובים.

לייצור אריזות מזון לח וכוסות משקה מצפים את הנייר בשעווה או בפוליאיתילן, המונעים מעבר מים והתייבשות המוצר (מפעלי נייר, 1992). ניצול התכונות הייחודיות של מינים שונים של צמחי בר ותרבות מאפשר הפקת ניירות מיוחדים לאמנות. (Tole, 1983)

הכרת מבנה העצה, והנייר על סוגיו, מתאפשרת בבדיקה מיקרוסקופית פשוטה. הגדלה פי 40 מגלה את המבנה הסיבי של נסורת עץ ושל נייר על כל סוגיו. המבנה של נייר עדשות מדהים את התלמידים שבעבר השתמשו בו רק לניקוי עדשות המיקרוסקופ או המצלמה. הגדלה פי 100 עד 400 מגלה את המבנה הצינורי של האלמנטים הטרכאריים והסיביים. גם מיקרוסקופ סטראוסקופי מספיק לבדיקה זו.

לסיבי הכותנה מבנה דומה לזה של סיבי הסקלרנכימה. אין פלא שבטבע הם מספקים לזרע סביבה לחה החשובה להצלחת הנביטה (בנוסף להפצה ברוח). סיבים אלה בנויים תאית כמעט טהורה. לפני מאות שנים שימשו מפרשי אוניות ישנים וסמרטוטי כותנה לייצור נייר משובח.

להלן פירוט פעילויות המעבדה המוצעות ללימוד נושא הנייר. המעבר לנושא הבד והבגד יהיה טבעי ומעניין גם הוא.



איור 1: אלמנטים טרכאריים וסיבים.

א - טרכאיד. ב - סיב (סקלרנכימה). ג - חוליות טרכיאה (ג - מגומצת, ד - מרושתת ה - סלילנית. ו - טבעתית)

פעילות מעבדה - הכרת סיבים בעץ ובנייר

מהלך העבודה

- אסוף נסורת עדינה בנגרייה.
- שים פיסות נסורת זעירות בטיפת מים שעל גבי זכוכית נושאת ובדוק אותן במיקרוסקופ.
- הבחן באלמנטים טרכאריים וסיביים, וצייר אותם.
- שים פיסות נייר מסוגים שונים (עיתון, מחשב, עדשות) בטיפות מים שעל גבי זכוכית נושאת, ובדוק אותן במיקרוסקופ.
- הבחן במרכיבים שונים הדומים לתאים בצמחים, אפיין אותם וצייר.

שאלות:

1. מה הדמיון בין מבנה הנייר והנסורת?
2. מאיזה חלק של הצמח נוצרה הנסורת?
3. האם יש דמיון בין תכונות העץ והנייר?
4. מה הדמיון במבנה של סוגי הנייר השונים, ומה ההבדלים ביניהם?
5. תאר את ההתאמה בין מבנה הנייר ושימושיו השונים.

ביבליוגרפיה

הנייר, מפעלי נייר אמריקאיים-ישראליים בע"מ, 1992.

א' פאהן, **אנטומיה של הצמח**, תל-אביב 1987, הקיבוץ המאוחד.

תוכנית הלימודים בביולוגיה לכתות ז' - י"ב, משרד החינוך והתרבות, 1990.

B. Tole, **The Art of Paper Making**, Davis Pub., 1983.