

301-0265-98

קוד מחקר:

נושא: התנהגות הקרקע והשפעה של קומפוסט כימי של בוצה על תכונות כימיות ופיסיקליות של הקרקע

מוסד: מינהל המחקר החקלאי

ד"ר פנחס פיין

חוקר ראשי:

1

חוקרים שותפים:

1997-1998

תקופת מחקר:

מאמרים:

תקציר

המחקר בודק ישימות קומפוסט בוצה אורגנו-כימי (NVS) לשימוש חקלאי בקרקעות הארץ. המטרות הספציפיות הן להעריך את ההשפעה של העמסת קרקע ב-NVS לאורך זמן על: (1) pH ו-EC של תמיסת הקרקע; (2) קצבי המינרליזציה (המיידית וארוך-הטווח) של פחמן וחנקן אורגניים והמסיסות והזמינות של זרחן ושל אשלגן; (3) זמינות לצמח של מתכות כבדות נבחרות. בשנה החולפת בוצע: (1) ניסוי הדגרה עם 2 קומפוסטים מארה"ב בתרחיף ובתערובות עם 2 קרקעות; (2) ניסוי גידול חיטה במכלים; (3) ניסוי בעמודות קרקע; (4) התחלנו ניסוי שדה ו(5) ניסוי ליזימטרים בזיבול תפוחי אדמה אביביים (זריעת ינואר 1999).

זמינות החנקן הייתה תלויה בסוג ה-NVS, לפי חומרי המוצא והליך ההבשלה (כפי שהתבטא ב-pH). ל-Knox-NVS (חומר מנוקסוויל, טנסי) זמינות חנקן התחלתית גבוהה וכ-800 מ"ג נ"ק"ג נוספו במינרליזציה. ל-And-NVS (חומר מאנדרסון, אינדיאנה) תכולת חנקן מינרלי התחלתית נמוכה, ומינרליזציה מועטה. חנקן היה גם הגורם המגביל בניסוי העציצים, והצמיחה עם Knox-NVS הייתה טובה יותר מאשר עם And-NVS.

מסיסות זרחן בתרחיפים מימיים של שני סוגי ה-NVS הייתה גבוהה בהשוואה לקרקעות טבעיות. ריכוז הזרחן במיצוי אולסן בעומס של 25 טון/דונם היה 100-180 מ"ג נ"ק"ג (פי 10 בערך מהדרוש). באותו יחס ערבוב גם המסיסות של יסודות הקורט, אבץ, נחושת, מנגן ומוליבדן, הייתה גבוהה, בדומה לתמיסת מזון (ג'ונסון) מלאה, רק ריכוז הברזל היה נמוך יותר, אך ריכוז הברזל וריכוז המנגן עלו בצורה חדה בתנאי אוורור לקוי.

בניסוי עמודות קרקע נמצא כי ה-NVS מנוקסוויל (2% w/w) לא היה יעיל יותר מגבס (0.4% w/w) בדחיקת נתון מקרקע נתרנית. הניסוי עדיין לא עובד סופית, ותוצאות המלאות תדווחנה בדו"ח הבא.

ניצול N-VIRO SOIL, קומפוסט אורגנו-כימי של בוצת שפכים, למטרות
חקלאיות

Use of N-Viro Soil, an organo-chemical compost of sludge in
agriculture

דו"ח התקדמות לשנה שנייה (1998)

(301-0265-98)

מוגש למדען הראשי במשרד החקלאות ע"י

פנחס פיין, אורי ירמיהו ודני פלודה

בשיתוף

רבקה רוזנברג, אנה ברז'קין ווסילי סולופנוב

Submitted by

Pinchas Fine, Uri Yermiyahu and Dani Pluda

vwfineP@volcani.agri.gov.il

המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי

פברואר 1999

מטרות המחקר

המטרה הכללית של המחקר היא לקבוע האם יישום N-Viro Soil מתאים לתנאי הקרקע והגידולים בארץ והאם היישום עשוי לשפר את תכונות הקרקע. לשם כך יש אנו מאפיינים את ההשפעה של N-Viro Soil על הקרקע, ומנסים לקבוע את הכמות הניתנת להוספה בלי נזק לקרקע ולגידול. המטרות הספציפיות היו:

1. איפיון ה-N-Viro Soil ע"פ מתכונת C, N, K, P - כללי, מסיס וזמין ומבחינת השפעתו על תכונות תמיסת הקרקע (בעיקר pH, EC) עם הערבוב ולאחר הדגרה מתמשכת בקרקע;
2. לקבוע קצבי השחרור, המידי וארוך הטווח, של חנקן ופחמן בקרקע בתנאים מבוקרים;
3. ביצוע: סעיפים 1 ו-2 - נבדקים כלהלן: (1) ערכנו ניסויי הדגרה בתרחיפים מימיים ב-3 ריכוזי NVS במים; (2) בביצוע נמצא ניסויי הדגרה עם שני ה-NVS ב-2 קרקעות.
3. ניסוי עציצים לבדיקת ההשפעה של ה-NVS על קרקע וצמחי בוחן בשיעורי יישום של 5 ו-20 טון/דונם;
- ביצוע: (1) ערכנו ניסוי במכלים בנפח של 10 ליטר. נבדק גידול חיטה. נבדקו מי-נקז מהמכלים. הדיווח כאן מתייחס בשלב זה לצימוח בלבד. שיעור היישום היו בין 0.5 טון/דונם ל-20 טון/דונם.
4. ניסוי שדה וניסוי לזימטרים עם NVS מקומי לבדיקת השפעתו על היבול ועל תכונות הקרקע וזמינות חנקן, זרחן ומתכות כבדות לצמח. בחלק זה של המחקר התחלנו בינואר 1999.

3. משמעות תוצאות הביניים

העבודה בוצעה על 2 קומפוסטים שנשלחו מארה"ב. האינדיקציה הראשונית היא שה-NVS יכול להיות מקור יציב לאורך זמן ליסודות הזנה כזרחן ומיקרואלמנטים. לחנקן זהו מקור פחות יציב ויותר תלוי באופי החומר עצמו. זמינות החנקן הייתה תלויה בסוג ה-NVS, כנראה כתלות בחומרים ששמשו להכנתו. זמינות החנקן ההתחלתית וכמות וקצב המינרליזציה של החנקן האורגני היו גבוהים (כ-800 מ"ג אק"ג כ"א) או נמוכים כתלות באופי החומר. הדבר התבטא גם בצמיחה בניסוי העציצים.

לעומת זאת, ריכוזי זרחן מסיס בתמיסה מימית יכלו להיות גבוהים למדי, כתלות בכמות המוספת ולא בסוג החומר. גם זמינות הזרחן (לפי מיצוי אולסן) הייתה גבוהה. ניתן להניח, (משיקולי שיווי משקל ובגלל ריכוזי הסידן הגבוהים) כי מוצקי הזרחן ישמרו על מסיסות גבוהה לאורך זמן. גם מסיסות יסודות הקורט, אבץ, נחושת, מגן ומוליבדן, הייתה גבוהה. הריכוזים ביחס ערבוב של 1:10 (מים ל-NVS) היו בדומה לריכוזים בתמיסת מזון (גינסון) מלאה, רק ריכוז הברזל היה נמוך יותר, אך גם הוא (ורכוז המגן) עלה בצורה חדה בתנאי חוסר אוורור.

התוצאות הראשוניות בניסויי השדה והליזימטרים מראות קרבוניזציה מהירה וירידת ה-pH מהערך ההתחלתי הגבוה מאד בקומפוסט עצמו (≈ 12.5).

4. סיכום התוצאות העיקריות

4.1 ניסוי הדגרה בתרחיפים - איפיון ההתמוססות של מרכיבים כימיים ב-NVS:

4.1.1 שיטה

ניסוי ההדגרה בוצע ע"י טלטול כמויות של 0.3, 1.5, ו-3.0 ג' משני ה-NVS בנפח קבוע של 30 מ"ל מים (1-10% w/w) בטמפרטורה קבועה (30°C) בתוך מבחנות צנטריפוגה של 50 מ"ל. נוזל הטלטול היה מים או 2% תמיסת פורמלין. תמיסת הפורמלין שימשה לעיכוב הפעילות המיקרוביאלית, ולחערכה של ריאקציות המסה כימית ללא מעורבות כזאת.

מועדי הדגימה היו שעתיים, יום, יומיים, 3 ימים, 6 ימים ו-15 יום. בכל מועד נדגמו 4 מבחנות (חזרות) מכל טיפול. המוצקים הושקעו ע"י סירכוז המבחנות, ומיד עם פתיחתן, הנוזל העליון הורחק, סונן דרך פילטר (מורכב על מזרק) $0.45\mu\text{m}$, ונלקחה ממנו דגימה של 5 מ"ל לבדיקת pH ופחמות ($\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$). יתר התסנין נשמר לבדיקות כימיות אחרות, שכללו מוליכות חשמלית (EC), כלוריד, נתרן, אשלגן, סידן, מגנזיום, זרחה, חנקן ואמוניום.

4.1.2 תוצאות

א. pH בתרחיפי NVS

ה-pH ההתחלתי בתמיסות שיווי המשקל של ה-And-NVS היה סביב 10.5 (איור 1). ה-pH הגבוה מעיד, כי ה-curing של החומר לא היה מספיק. ה-pH של ה-Knox-NVS היה נמוך ב-2 יחידות, ונע בין 8.6 ב-10% חומר בתרחיף ל-9.2 ב-1% חומר בתרחיף (איור 1). הפורמלין עצמו הוריד את ה-pH בעשיריות אחדות אולם האפקט של הפעילות המיקרוביאלית בהורדת ה-pH בשני החומרים היה בולט. הירידה הייתה חזקה במיוחד בשילוב של And-NVS בריכוז תרחיף נמוך. נראה כי NVS זה הוא בשל יותר מלכתחילה, הירידה הגדולה יותר ב-pH בריכוז תרחיף נמוך הייתה כנראה שילוב של כושר בופר נמוך יותר (פחות חומר) עם סתירה מלאה יותר של המרכיבים הבסיסיים יותר (שאריות של מימת הסידן- $\text{Ca}(\text{OH})_2$). הסתירה הייתה ע"י תוצרי הפעילות החיידקית: פליטות של CO_2 , מפרוק חומר אורגני, ושל פרוטונים, מניטריפיקציה של אמוניום שהיה בתמיסה (בהמשך). (התנודות החריפות ב-pH ביום השישי להדגרה נבעו מבעיות מדידה).

בכל מקרה, ה-pH הגבוה אינו חייב להיות מגבלה ליישום NVS בשדה, כולל ה-And-NVS. אפילו ללא קרקע ה-curing של ה-pH היה מהיר למדי. רצוי יהיה להימנע מיישום כמויות גדולות על פני השטח בלא ערבוב, מה שעלול להאט את ה-curing. אין ספק שקצב הירידה ב-pH במצב של ערבוב בקרקע יהיה אף מהיר יותר.

ב. מינרליזציה וניטריפיקציה בהדגרה של NVS בתרחיפים מימיים

מינרליזציה נטו של חנקן אורגני בתמיסות הטלטול גרמה לצבירה של חנקן מינרלי בתמיסות עם הזמן (איור 2). הפורמלין אכן עיכב את הפעילות המיקרוביאלית ב-2 ה-NVS, והיה מעט מאד שינוי בחנקן המינרלי בנוכחותו. החרג היחיד היה תנודה בולטת בריכוז החנקן המינרלי ב-And-NVS בריכוז הנמוך (1%). זוהי כנראה תוצאה של שיטת המדידה ונתייחס לכך בהמשך. היה הבדל בולט בין שני ה-NVS: ב-And-NVS הייתה מינרליזציה נטו

בכל 3 יחסי הערבוב, בעוד שב-Knox-NVS הייתה צבירת חנקן מינרלי ביחס הערבוב הנמוך (של כ-700 מ"ג אלק"ג), אך ב-2 יחסי הערבוב הגבוהים היה איבוד נטו של חנקן מינרלי. עם זאת, גם ב-2 היחסים הגבוהים הייתה צבירה נטו של אמוניום (איור 3).

ניתוח של איורים 2-4 (אמון, חנקה וסכומם) מראה כי קצב האמוניפיקציה (פירוק חנקן אורגני המתבטא בהצטברות אמוניום) היה תלוי בכמות החנקן האורגני בתערובת ומידת זמינותו למינרליזציה. קצבי אמוניפיקציה גבוהים יותר היו בשיעורי היישום הגבוהים בכ"א מה-NVS, וב-Knox-NVS הקצבים היו גבוהים פי 2-3 יותר מאשר ב-And-NVS, באותם שיעורי ערבוב. היה גם איבוד של חנקן מינרלי, בעיקר בשני שיעורי היישום הגבוהים בשני סוגי ה-NVS. האיבוד היה עקב דניטריפיקציה של החנקה (חיזור חנקה לגז) (איור 4), ועל כן הוא בלט במיוחד ב-Knox-NVS, שהכיל בתחילה כ-830 מ"ג N חנקתילוק"ג. ה-And-NVS הכיל רק 40 מ"ג N חנקתילוק"ג בהתחלה, ולא הייתה חנקה לדניטריפיקציה.

הדניטריפיקציה התרחשה בגלל תנאי הניסוי. טלטול התערובות היה בכלים סגורים ללא אוורור; החמצן נצרך בתהליכי הנשימה ונוצרו תנאים אל-אווירניים, המעודדים חיזור של החנקה. בשיעור היישום הנמוך (1%), הפירוק המועט של פחמן זמין לא גרם לצריכה של כל החמצן והמדיום נותר אווירני במשך כל 15 ימי ההדגרה. בשיעורי היישום הגבוהים ב-Knox-NVS איבוד החנקה בשיעור יישום של 10% היה מהיר פי 2 מאשר ב-5% (איור 4).

התנודה בריכוז האמוניום ב-And-NVS + פורמלין בריכוז הנמוך (1%) נבעה כנראה מתנודות בשיעור המיצוי של האמוניום במדיום המימי בו נתבצעה ההדגרה. התנודות היו כנראה בעיקר עקב שינויים בהרכב הקטיונים בתמיסה (בעיקר, סידן). יש לזכור, כי אמוניום עובר מיצוי חלקי בלבד בתמיסה המימית בהשוואה למיצוי מלא בתמיסת N KCl. במיצוי ב-KCl, And-NVS ו-Knox-NVS הכילו 24 ו-152 מ"ג N-אמוניום אלק"ג, בהתאמה, פי 2-5 מהכמות שנתמצתה במיצוי המימי.

לסיכום: Knox-NVS הכיל הרבה יותר חנקן מינרלי מאשר ה-And-NV : 978 לעומת 64 מ"ג N מינרלי אלק"ג, בהתאמה. קצב המינרליזציה נטו של החנקן האורגני במרכיב הבוצה ב-Knox-NVS היה כ-350-450 מ"ג אלק"ג ב-15 יום, מהיר פי 2-3 יותר מאשר ב-And-NVS. הדניטריפיקציה יכולה הייתה להיות משמעותית, עד כדי חיזור כל החנקה ב-Knox-NVS.

ג. מסיסות קטיונים ואניונים שמקורם ב-NVS: (ניתן לקבל הנתונים מהחוקר הראשי)

ד. זרחן:

התמוססות זרחן נבדקה רק בתרחיף של 3 ג' NVS (איור 5). במהלך 14 ימי הבדיקה הייתה עלייה מתמדת בריכוז הזרחן בתמיסה ב-2 סוגי ה-NVS. ההבדל בריכוז בין 2 הסוגים נבע מהבדל בריכוז ההתחלתי ולא מהבדל במסיסות, שהייתה דומה למדי. העלייה בריכוז עם הזמן נבעה מהירידה ב-pH של התמיסה. המסיסות במים נותנת אינדיקציה הכימיה של מוצקי הזרחן, ולצורך כך נציב את הנתונים בדיאגרמת פאזות.

בכל מקרה, מסיסות הזרחן במים הייתה גבוהה ביחס למצוי במרבית הקרקעות (Reisenauer, 1966). בעבודה ההיא, רק 8% מ-146 מהקרקעות שנבדקו היו עם ריכוזי זרחן

בתמיסת הקרקע שהיו גבוהים מ-0.5 מ"ג/ק"ג קרקע. נראה, כי שני ה-NVS יתרמו זרחה נטו לגידול, למרות תכולת הגיר הגבוהה. יש לבחון זאת בצמח.

להשלמת התמונה על זמינות הזרחן לצמח נראה בהמשך כי ריכוז הזרחן, הניתן למיצוי בנתרן דו-פחמתי, היה גבוה ב-3 סדרי גודל בערך מהריכוז בתרחיף. מדד זה מעיד על זמינות גבוהה מאד של הזרחן לצמח.

ה. מוליכות חשמלית:

המוליכות החשמלית (EC) של התסנין שנמדד בתמיסת ההדגרה (איור 6א) משקפת את מסיסות היונים העיקריים המערכת: סידן, כלוריד, פחמה, חנקה וסולפט (לא נבדק). הממוצע של סכום הקטיונים היווה $EC_{25} \pm 19$ (חציון = 118%). סידן היה הקטיון העיקרי במערכת, שתרם כ- $11 \pm$ (Sum Cations) 82% (חציון = 86%). נראה כי סולפט, דווקא, היה האניון העיקרי, מאחר שבלעדיו המאזן אניונים – קטיונים רחוק מסגירה.

המוליכות החשמלית הייתה תלויה בעיקר בכמות החומר אך גם במשך התמוססותו. תלות ה-EC בזמן, הן במערכת עם פעילות ביולוגית והן בזו ללא פעילות ביולוגית (עיכוב ע"י הפורמלין), מעידה, כי מרבית ה-EC (אך לא כל) התמוססות הייתה כימית גרידא. תיקנון ה-EC למשקל ה-NVS (איור 6ב) מדגיש את חשיבות הפעילות הביולוגית בהתמוססות ה-NVS, בעיקר של ה-Knox-NVS, המיוצב יותר. למוליכות החשמלית תרמה גם המינרליזציה של החנקן שכולה ביולוגית.

ו. יסודות קורט ומתכות כבדות (נבדק בתרחיפים עם 3 ג' חומר):

ו-1. מסיסות יסודות הקורט - ברזל, מגנז, נחושת ואבץ – מוצגת באיורים 7 עד 10, בהתאמה. ככלל, מסיסות כל היסודות הייתה גבוהה בהשוואה לריכוז יסודות בתמיסת מזון תקנית (כגון, תמיסת ג'ונסון). רק מסיסות ברזל הייתה נמוכה יותר (כשליש). עם זאת, בד"כ השימוש בתמיסות מזון הוא לאחר מיהול מתאים, והחשוב הוא כלל הזמינות (מסיסות לאורך זמן ולא מסיסות רגעית). ריכוזי הבורון היו נמוכים למדי ולא יהיו בעיה. לפיכך, ניתן לשער כי מסיסות כל יסודות הקורט וזמינותן לצמח תהיה תקינה לטווח ארוך. לא נראה כי ה-NVS יקטין מסיסות ברזל (מתכת קורט עיקרית), אך יש לבדוק השערה זאת בנוכחות גידולים שונים.

הפעילות הביולוגית בד"כ לא השפיעה על מסיסות המתכות כל עוד תנאי התמיסה היו מחומצנים היטב. לעומת זאת, ניתן לראות כי מסיסות הברזל והמגנז (איורים 13, 14) בתרחיף המימי של ה-NVS מ-Knoxville עלתה עם הזמן. הדבר נבע, כנראה, מירידת פוטנציאל החימצון/חיזור בתמיסה עקב הפעילות הביולוגית (ראה לעיל). שתי מתכות אלו חוזרו לצורה הדו-ערכית, שהיא מסיסה יותר. העלייה בריכוזי הברזל הייתה לערך גבוה פי 3 מהריכוז בתמיסת ג'ונסון מלאה (כשאין משתמשים בתמיסות הזנה ביותר מחצי הריכוז הזה). נראה, כי הפעילות הביולוגית השפיעה על מסיסות הנחושת בתרחיף ה-NVS מ-Anderson. הריכוז ירד עם הזמן, כנראה עקב מינרליזציה של חומר אורגני מומס ושקיעה של מתכת שהייתה בצורת כלאט אורגני מומס. הדבר בלט דווקא ב-NVS זה, אולי בגלל אי בשלות של ו, שהתבטאה ב-pH הגבוה. בתנאים אלה, יכולה להיות המסה מוגברת של חומר אורגני.

ו-2. מסיסות יסודות אחרים ומתכות כבדות לא-חיוניות – מצוי אצל החוקר הראשי.

4.1.3 סיכום

ה-NVS נתקבלו במעבדתנו מארה"ב משני מקורות. עדיין לא קיבלנו מידע על התהליכים וחומרי הגלם ששמשו ליצירתם. בכל מקרה, על סמך תהליכי ההתמוססות ניתן לומר כי ה-And-NVS לא עבר curing מספיק. הדבר התבטא ב- pH התחלתי גבוה (10.5), במיעוט חנקן מינרלי (בעיקר חנקות) ובפעילות ביולוגית נמוכה. המדדים לפעילות הביולוגית היו שינוי ב pH עם הזמן, פליטת CO₂ (כפחמה מומסת), מינרליזציה של חנקן אורגני ודניטריפיקציה (חיזור חנקת). בכל המדדים הללו ה-And-NVS הראה פעילות נמוכה בתרחיפים המימיים, בהשוואה לפעילות מואצת שנמדדה בנוכחות ה-Knox-NVS. מרכיב זה הכיל הרבה יותר חנקן מינרלי מאשר ה-And-NV : 978 לעומת 64 מ"ג N מינרליק"ג, בהתאמה. המינרליזציה נטו של החנקן האורגני במרכיב הבוצה ב-Knox-NVS הייתה כ- 350-450 מ"ג N לק"ג ב-15 יום, פי 2-3 יותר מאשר ב-And-NVS. הדניטריפיקציה ב-Knox-NVS הייתה משמעותית, וגרמה בתנאים מסוימים לחיזור כל החנקת. גם ה-pH של ה-Knox-NVS היה נמוך יותר, וירד לערכים פחות מ-8 במהלך ההדגרה. הירידה ב-pH התבטאה בעלייה בריכוזי הזרחן המסיס, והיה דמיון רב במסיסות בין שני סוגי ה-NVS. אופי מוצקי הזרחן קובעי-המסיסות ייבדק באמצעות דיאגרמת פאזות. מסיסות זרחן ומסיסות יסודות קורט בתרחיפים מימיים של שני סוגי ה-NVS היו גבוהות בהשוואה למצב בתמיסת הקרקע או למדדי זמינות (זרחן) או לריכוז בתמיסת מזון תקנית (יסודות קורט). הגם שה-And-NVS לא היה בשל, גם בו חל תהליך curing מהיר במהלך ההדגרה. ניתן להניח כי בתערובות בקרקע ההבשלה תהיה אף מהירה יותר בגלל המגע עם חומר בעל כושר בופר גבוה.

4.2 מינרליזציה של NVS בקרקעות

4.2.1 שיטות

שני ה-NVS מודגרים בתערובת עם שתי קרקעות: חמרה סיינית-חולית וקרקע חומה-בהירה לסית. כמויות ה-NVS אקווילנטיות לשיעור יישום של 25 טון/דונם (כ-10% במקשל התערובת). ההדגרה תמשך 16 שבועות בתכולת מים אופטימלית (75% מרטיבות אקווילנטית ל 33 kPa-). כל שבוע עד 4 שבועות הקרקע נדגמת לקביעת ריכוז החנקן המינרלי (במצוי 1N KCl). ההדגרה נעשית ב-30 מעלות צלסיוס ב-2 חזרות.

4.2.2 תוצאות

ריכוזי חנקן מינרלי בקרקע הם מדד למינרליזציה נטו (בניכוי נידוף, אימוביליזציה ודניטריפיקציה) (איור 11). הצטברות חנקן מינרלי בשני ה-NVS הייתה מועטה בלבד, ואף

יש איבוד נטו ניכר של חנקן (כנראה בנידוף אמון) בהדגרה של ה-Knox-NVS בחול. קצב הנידוף של האמון בהדגרה החול יכול להיות גבוה בגלל תכולת מים נמוכה בקרקע וספיחה מזערית, שניהם כאחד גורמים לריכוז מומסים גבוה בתמיסת הקרקע, ובגלל כושר בופר נמוך ואפשרות לעלייה חדה ב-pH.

ייתכן כי היה נידוף אמון גם בהדגרה בשלושת הצירופים האחרים, אך אלה אינם ניכרים. בהדגרה בתרחיף אכן מצאנו מינרליזציה משמעותית ב-Knox-NVS (איור 2), שאיננו רואים כאן. ניתן יהיה לדעת זאת רק על סמך מאזני חנקן כללי בסיום ההדגרה. בכל מקרה, ניתן לייחס כבר עתה את העדר הצטברות החנקן המינרלי ב-And-NVS בעיקר לקצב המינרליזציה האיטי (הגם שנידוף ניכר בהדגרה עם חול).

ריכוז זרחה במיצוי בדו-פחמה נבדק בתערובות קרקע-NVS (איור 12). בקרקע הלסית החזר הזרחן נמוך יותר בגלל ספיחה יעילה יותר אולם, בכל מקרה, ריכוזי הזרחן במיצוי גבוהים מאד, יותר מ-100 מ"ג/ק"ג. הדבר ראוי לציון בגלל שאחד החששות העיקריים בזיבול ב-NVS הוא ירידה חדה בזמינות הזרחן. ברור כי זמינות הזרחן היא גבוהה. ייעשה מעקב עם הזמן לבחון האם יש שינויים בזמינות זו.

שוב חוזרת תופעה המוכרת בקומפוסטים רגילים של בוצות, כי הקומפוסט הוא מקור קצר-טווח לחנקן אך ארוך-טווח לזרחן (פיין, 1998).

ניסוי ההדגרה יימשך 6 חודשים.

4.3 איפיון כימי של מתכות כבדות ויסודות קורט ב-NVS מאנדרסון בשיטת המסה

ברירנית עוקבת

נמדד פילוג מתכות כבדות במרכיבים כימיים שונים ב-NVS במיצוי ברירני עוקב. השיטה נותנת הערכה ראשונית של פילוג ההרכב הכימי של המתכות הכבדות בחומר הנבדק ושל זמינות יחסית של המתכות גידול החקלאי. שלבי המיצוי העוקב (Sequential differential extraction) היו כלהלן (שילוב השיטות לפי Banin et al., 1990 & Beckett, 1989):

א. NH_4NO_3 - מתכות מסיסות וניתנות לחילוף: טלטול בתמיסת מלח מרוכזת של 1N NH_4NO_3 (pH 7) במשך שעותיים.

ב. $\text{DTPA} + \text{TEA}$ - מתכות קשורות למצע בחילוף ליגנדים ("קומפלקסים"): מיצוי ע"י טלטול בתערובת הקומפלקסנטים 0.005 DTPA + 0.1 M TEA + 0.01 M CaCl_2 (pH 7.3) במשך שעותיים.

ג. Na-acetate - מתכות קשורות בקרבונטים: טלטול בתמיסת 1 M NaOAc ב-pH 5 במשך 16 שעות.

ד. AOA - מתכות קשורות לתחמוצות בלתי-מגובשות: טלטול ב 0.175 M Acid Ammonium Oxalate ב pH 3.15 בחושך במשך 4 שעות.

ה. HAH - מתכות קשורות לתחמוצות מגובשות :

תחמוצות מנגן וברזל : 0.04 M Hydroxylamine-HCl in 25% acetic acid ב-90°C (pH 2) טלטול ל-3 שעות.

ו. CBD - שארית מתכות קשורות לתחמוצות מגובשות היטב :

תחמוצות מנגן וברזל, מיצוי מלא ע"י חיזור והמסה תוך בחישה וחימום למשך רבע שעה ב-75 מעלות צלסיוס בריאגנט ציטראט-ביקרבונט-דיטיוניט ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$).

באיור 13 מוצגים ה' + ו' יחד.

ז. HNO_3 - שארית בלתי מסיסה :

עיכול ב-4 N HNO_3 ב-70°C ל-16 שעות.

4.3.2 תוצאות : תוצאות ההמסות הסלקטיביות מוצגות באיור 13. מאחר שאין לנו הבוצה המקורית לפני הפיכתה ל-NVS נעשתה השוואה לבוצה מעוכלת מנתניה. תכולת המתכות הכללית בשני החומרים, ה-NVS והבוצה, דומה למדי חוץ מתכולת נמוכה מאד של אבץ ב-NVS, שאינה אופיינית לבוצות בארץ.

הבולט ב-NVS הוא ששיעור קטן בלבד מהמתכות נמצא בשארית הניתנת להמסה רק בחומצה מרוכזת (איור 13f). הדבר הפוך ממה שהיינו מצפים מחומר שמרביתו מרכיבים מינרליים. איננו יודעים כמובן מה היו ריכוזי יסודות הקורט בחומרי המוצא (בוצה ו-CKD) ששימשו להכנת ה-NVS וע"כ איננו יכולים לייחס זאת דווקא לתהליך. מאפיין נוסף של ה-NVS בהשוואה לבוצה הוא הדומיננטיות של המרכיבים הקשורים בתחמוצות ברזל (בעיקר המגובשות היטב) (איור 13e) ובקרבוניטים (איור 13c). הראשון קשור כנראה לאופי חומרי הגלם והשני לנוכחות המכרעת של קרבוניטים ב-NVS.

4.4 גידול חיטה במכלים בהשפעת NVS

נבדק גידול ואספקת יסודות הזנה משני ה-NVS לחיטה למספוא (זן איילון) בקרקע חמרה סיינית-חולית.

4.4.1 שיטות

15 צמחים הונבטו בדליים בנפח 10 ל'. עומק הזריעה כ-3 ס"מ. ה-NVS עורבבו ב-10 הס"מ העליונים, ובין שכבת היישום ליתר הקרקע במיכל הונחה מחיצת רשת (להפרדה ברורה בדיגום הקרקע). ההשקיה הייתה במים מזוקקים ונעשתה לפי שקילה במטרה לקבל כ-10% שטיפה בכל השקיה. טיפול אחד קיבל דשן כהיקש. הדשן ניתן בכל השקיה בריכוז קבוע. כל הנקז מכל מיכל נאסף ונבדק.

טיפולים עם צמחים : 5 עומסי יישום של NVS-Knox : 0.5, 1, 5, 10 ו-20 טון/דונם ; 4 עומסים ל-NVS-And : 0.5, 1, 5, 10 טון/דונם. בנוסף : (1) היקש מדושן והיקש בלתי מדושן. כל טיפול ב-3 חזרות ; טיפולים ללא צמחים : עומסים של 0, 1 ו-10 טון/דונם ב-2 חזרות. סה"כ בכל הניסוי היו 45 מיכלים. בפועל, כמות ה-NVS האקוילנטית לטון/דונם הייתה 31.4 ג'.

4.4.2 תוצאות

יבולי החיטה בטיפולים השונים מוצגים באיור 14. היבול בהחלט הגיב לעומס ה-NVS ולסוגו. התגובה הייתה ככל הנראה לחנקן, הן זה שהיה מלכתחילה והן זה שנוצר במינרליזציה (איור 11). ההבדל בתכולה של יתר יסודות ההזנה בין שני החומרים היה קטן. סך כל הגידול היה מועט, להשוואה יבול צמחי תקין מגיע לכ-2 טון חומר יבשודונם ויותר. לכן, אין טעם לפרש את עקום הרוויה שהתקבל בכ"א מ-2 החומרים. בכ"ז, יש לציין את ההבדל לעומת הטיפול המדושן. נראה, כי מנת הדשן לא הספיקה לגידול תקין. בהמשך נדווח על בדיקות של יסודות הזנה וחומר אורגני בנקז, קליטה של יסודות הזנה בצמחים ומאזני יסודות.

4.5 השפעת NVS על ה-ESP של קרקע נתרנית : ניסוי עמודות

4.5.2 תוצאות

דיווח מלא על התוצאות יימסר בדו"ח הבא.

5. רשימת איורים

- איור 1: pH בתרחיפים מימיים של NVS מנוקסוויל, טנסי (Knox-NVS) ומאנדרסון, אינדיאנה (And-NVS) כתלות בריכוז החומר בתרחיף ובמשך ההדגרה. התוצאות הן ממוצעים וסטיות תקן של 4-2 חזרות.
- ההדגרה הייתה ב-30°C בטלטול במים חסרי-יונים במבחנות צנטריפוגה של 50 מ"ל בנפח מים של 30 מ"ל. מחצית מהמבחנות הכילו 2% פורמלין.
- איור 2: חנקן מינרלי (סכום אמוניום וחנקן) בתרחיפים מימיים של NVS מנוקסוויל, טנסי (Knox-NVS) ומאנדרסון, אינדיאנה (And-NVS) כתלות בריכוז החומר בתרחיף ובמשך ההדגרה. התוצאות הן ממוצעים וסטיות תקן של 4-2 חזרות.
- ההדגרה הייתה ב-30°C בטלטול במים חסרי-יונים במבחנות צנטריפוגה של 50 מ"ל בנפח מים של 30 מ"ל. מחצית מהמבחנות הכילו 2% פורמלין.
- איור 3: חנקן אמוניום בתרחיפים מימיים של NVS מנוקסוויל, טנסי (Knox-NVS) ומאנדרסון, אינדיאנה (And-NVS) כתלות בריכוז החומר בתרחיף ובמשך ההדגרה. התוצאות הן ממוצעים וסטיות תקן של 4-2 חזרות.
- ההדגרה הייתה ב-30°C בטלטול במים חסרי-יונים במבחנות צנטריפוגה של 50 מ"ל בנפח מים של 30 מ"ל. מחצית מהמבחנות הכילו 2% פורמלין.
- איור 4: חנקן חנקתי בתרחיפים מימיים של NVS מנוקסוויל, טנסי (Knox-NVS) ומאנדרסון, אינדיאנה (And-NVS) כתלות בריכוז החומר בתרחיף ובמשך ההדגרה. התוצאות הן ממוצעים וסטיות תקן של 4-2 חזרות.
- ההדגרה הייתה ב-30°C בטלטול במים חסרי-יונים במבחנות צנטריפוגה של 50 מ"ל בנפח מים של 30 מ"ל. מחצית מהמבחנות הכילו 2% פורמלין.

איור 5: זרחן בתרחיפים מימיים של NVS מנוקסוויל, טנסי (Knox-NVS) ומאנדרסון, אינדיאנה (And-NVS) כתלות בריכוז החומר בתרחיף ובמשך ההדגרה.

מוצג ריכוז הזרחן שנמדד בתמיסה (ציר Y מימין) והריכוז המחושב לחומר היבש בתרחיף. התוצאות הן ממוצעים וסטיות תקן של 4-2 חזרות.

ההדגרה של 3 ג' חומר הייתה ב-30°C בטלטול במים חסרי-יונים במבחנות צנטריפוגה של 50 מ"ל. בנפח מים של 30 מ"ל. מחצית מהמבחנות הכילו 2% פורמלין.

איור 6: מוליכות חשמלית מתוקנת ל 25°C (EC_{25}) בתרחיפים מימיים של NVS מנוקסוויל, טנסי (Knox-NVS) ומאנדרסון, אינדיאנה (And-NVS) ב-30 מ"ל מים כתלות במשך ההדגרה.

איור 6א: מוליכות חשמלית שנמדד בפועל בתרחיף.

איור 6ב: מוליכות חשמלית מתוקנת לכמות החומר היבש בתרחיף.

התוצאות הן ממוצעים וסטיות תקן של 4-2 חזרות.

ההדגרה הייתה ב-30°C בטלטול במים חסרי-יונים במבחנות צנטריפוגה של 50 מ"ל בנפח מים של 30 מ"ל. מחצית מהמבחנות הכילו 2% פורמלין.

איור 7: התמוססות ברזל בתרחיפים מימיים של NVS מנוקסוויל, טנסי (Knox-NVS) או מאנדרסון, אינדיאנה (And-NVS) כתלות במשך ההדגרה.

התוצאות הן ממוצעים וסטיות תקן של 4 חזרות. ההדגרה הייתה ב-30°C בטלטול של 3 ג' חומר ב-30 מ"ל מים חסרי-יונים במבחנות צנטריפוגה. מחצית מהמבחנות הכילו 2% פורמלין.

איור 8: התמוססות מנגן בתרחיפים מימיים של NVS מנוקסוויל, טנסי (Knox-NVS) או מאנדרסון, אינדיאנה (And-NVS) כתלות במשך ההדגרה.

התוצאות הן ממוצעים וסטיות תקן של 4 חזרות. ההדגרה הייתה ב-30°C בטלטול של 3 ג' חומר ב-30 מ"ל מים חסרי-יונים במבחנות צנטריפוגה. מחצית מהמבחנות הכילו 2% פורמלין.

איור 9: התמוססות נחושת בתרחיפים מימיים של NVS מנוקסוויל, טנסי (Knox-NVS) או מאנדרסון, אינדיאנה (And-NVS) כתלות במשך ההדגרה.

התוצאות הן ממוצעים וסטיות תקן של 4 חזרות. ההדגרה הייתה ב-30°C בטלטול של 3 ג' חומר ב-30 מ"ל מים חסרי-יונים במבחנות צנטריפוגה. מחצית מהמבחנות הכילו 2% פורמלין.

איור 10: התמוססות אבץ בתרחיפים מימיים של NVS מנוקסוויל, טנסי (Knox-NVS) או מאנדרסון, אינדיאנה (And-NVS) כתלות במשך ההדגרה.

התוצאות הן ממוצעים וסטיות תקן של 4 חזרות. ההדגרה הייתה ב-30°C בטלטול של 3 ג' חומר ב-30 מ"ל מים חסרי-יונים במבחנות צנטריפוגה. מחצית מהמבחנות הכילו 2% פורמלין.

איור 11 : הצטברות חנקן מינרלי בהדגרה של NVS מנוקסוויל, טנסי (Knox-NVS) ומאנדרסון, אינדיאנה (And-NVS) בחול או בסיין חום-בהיר לסי בעומס של 100 ג'ק"ג קרקע בהשוואה לקרקע ללא NVS.

התוצאות הן ממוצעים וסטיות תקן של 2 חזרות. ההדגרה ב-30°C ברטיבות אופטימלית (70% מקיבול שדה).

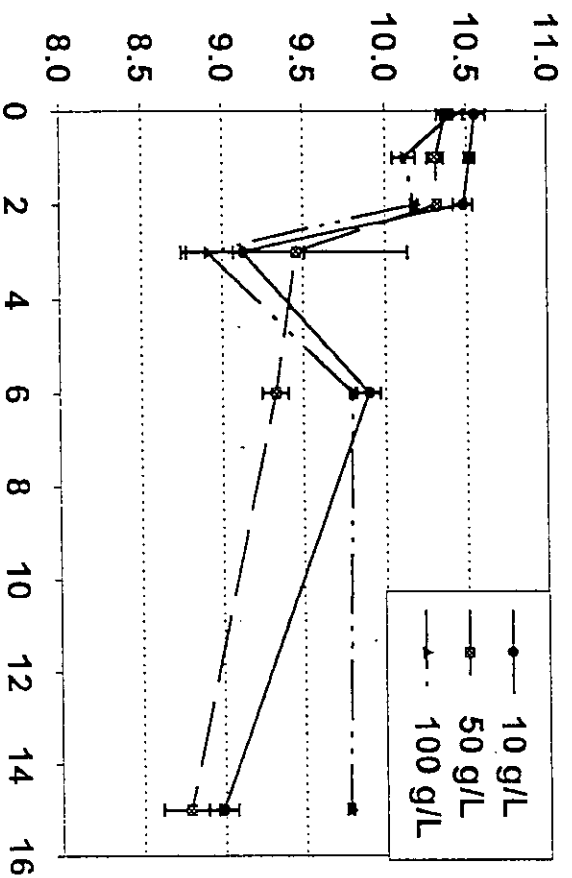
איור 12 : ריכוז זרחן במיצוי אולסן בתערובות של NVS מנוקסוויל, טנסי (Knox-NVS) ומאנדרסון, אינדיאנה (And-NVS) עם חול או עם סיין חום-בהיר לסי בעומס של 100 ג'ק"ג קרקע בהשוואה לקרקע ללא NVS.

התוצאות הן ממוצעים וסטיות תקן של 2 חזרות. ההדגרה ב-30°C ברטיבות אופטימלית (70% מקיבול שדה).

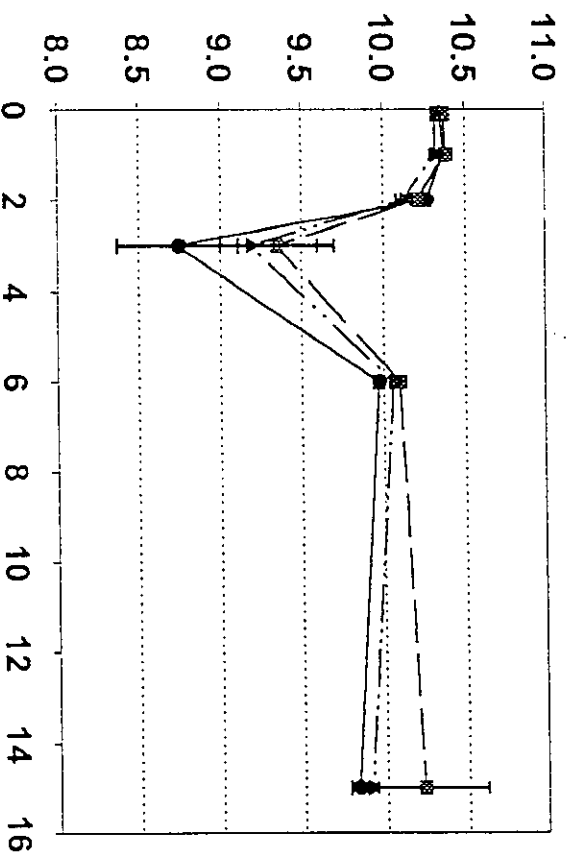
איור 13 : התפלגות כימית של מתכות נבחרות ב-NVS מאנדרסון, אינדיאנה (And-NVS) בהשוואה להתפלגותן בבוצת שפכים מעוכלת מנתניה (NSD1297).
התוצאות (ממוצעים של 2 חזרות) הן אחוז המתכת במרכיב הכימי מס"כ המתכת בחומר. המרכיבים הכימיים מפורטים בטקסט.

איור 14 : יבול צמחי חיטה בגידול בעציצים בנפח של 10 ליטר בקרקע חמרה סיין-חולי בתערובת (10 ס"מ עליונים) עם NVS מנוקסוויל, טנסי (Knox-NVS) ומאנדרסון, אינדיאנה (And-NVS), בהשקיה במים מזוקקים, בהשוואה ליבול בקרקע ללא תוספת (0), או בקרקע ללא תוספת אך בהשקיה בתמיסת דשן (Fert). התוצאות (ממוצעים וסטיות התקן של 3 חזרות).

And-NVS: incubation in water

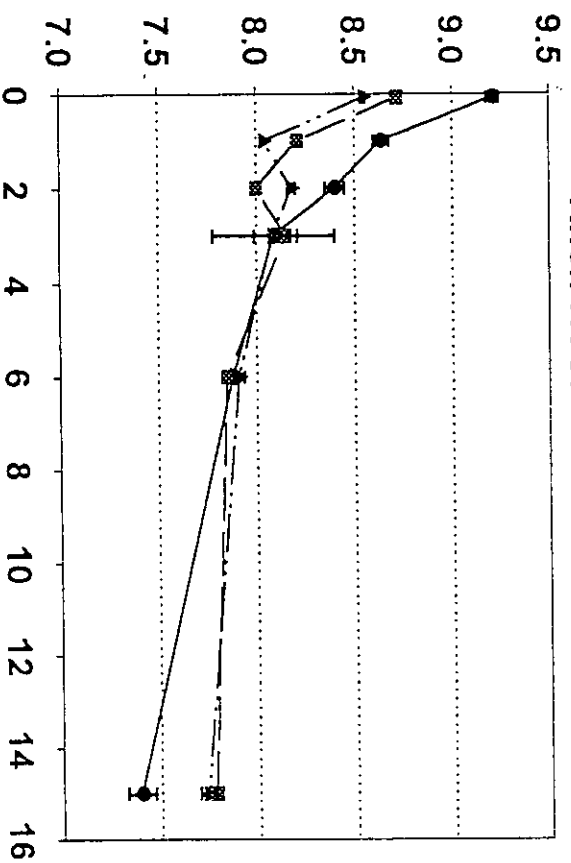


And-NVS: incubation in 2% FA

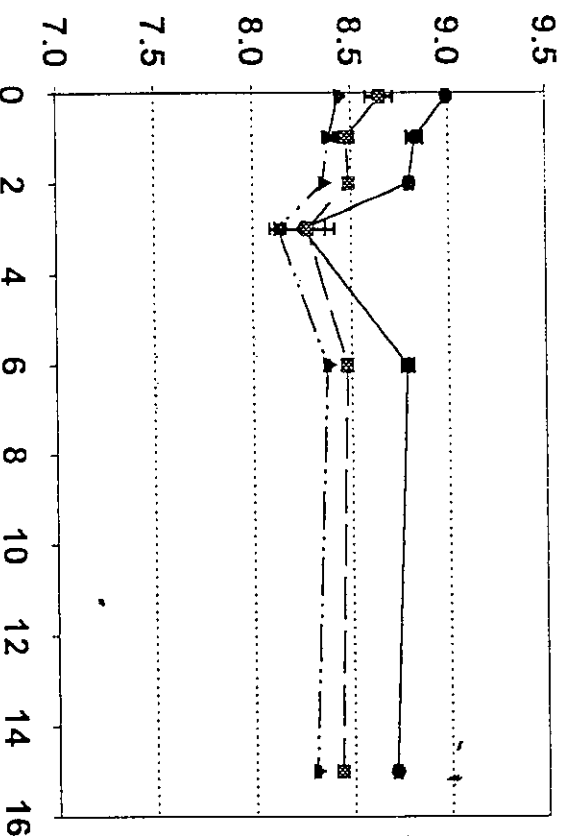


pH

Knox-NVS: incubation in water



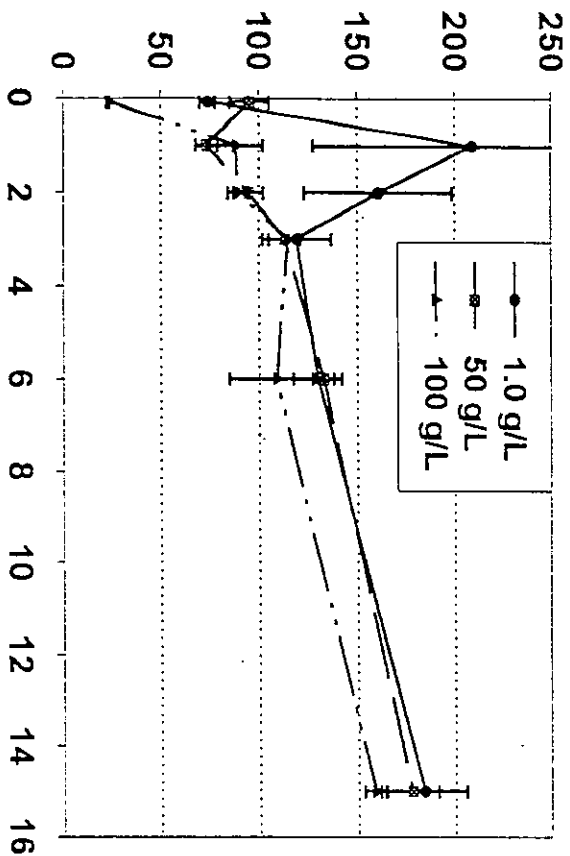
Knox-NVS: incubation in 2% FA



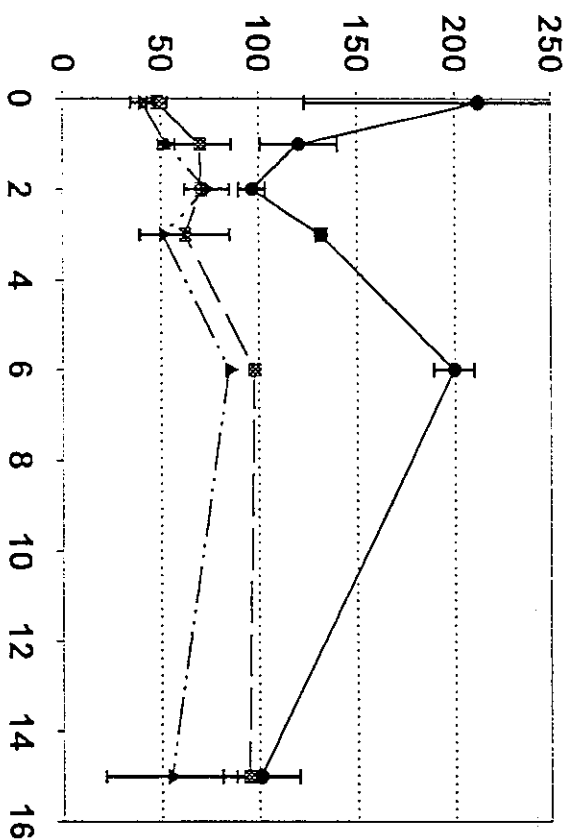
Days

Mineral N (mg kg⁻¹)

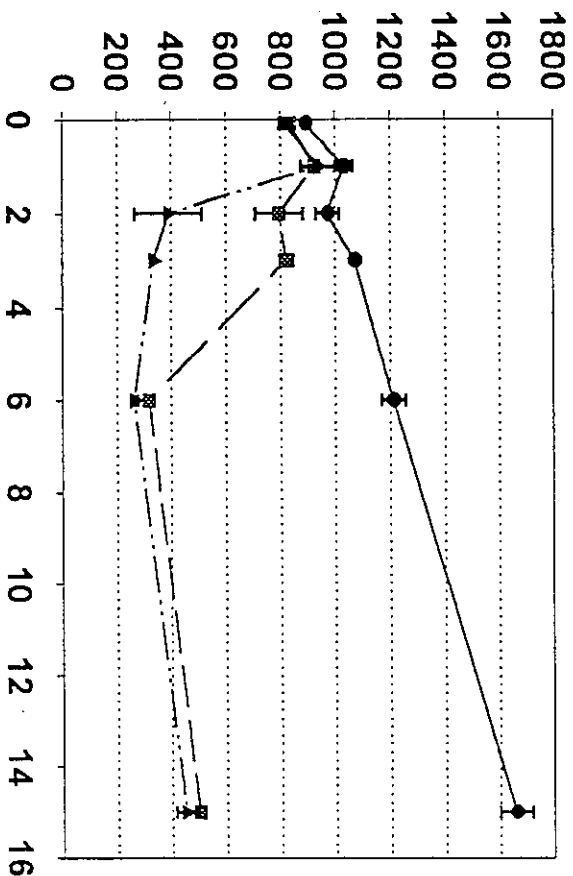
And-NVS: incubation in water



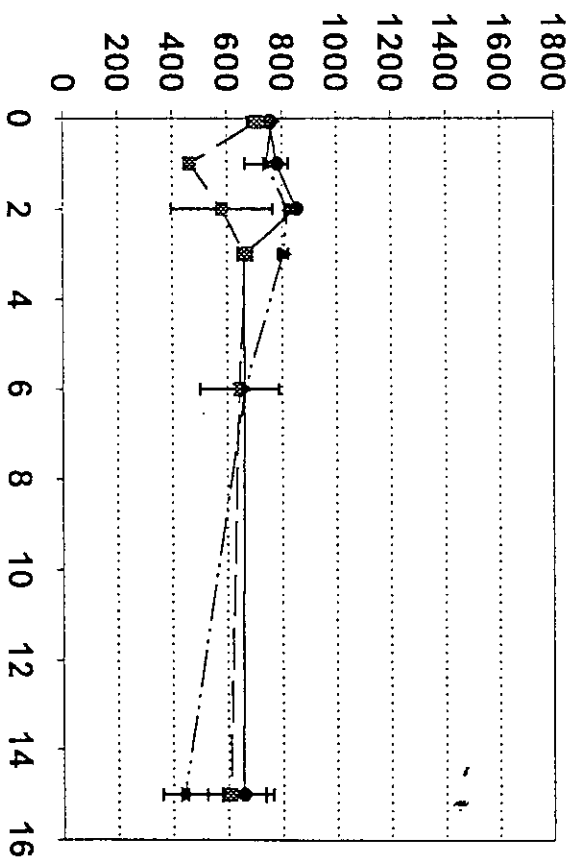
And-NVS: incubation in 2% FA



Knox-NVS: incubation in water



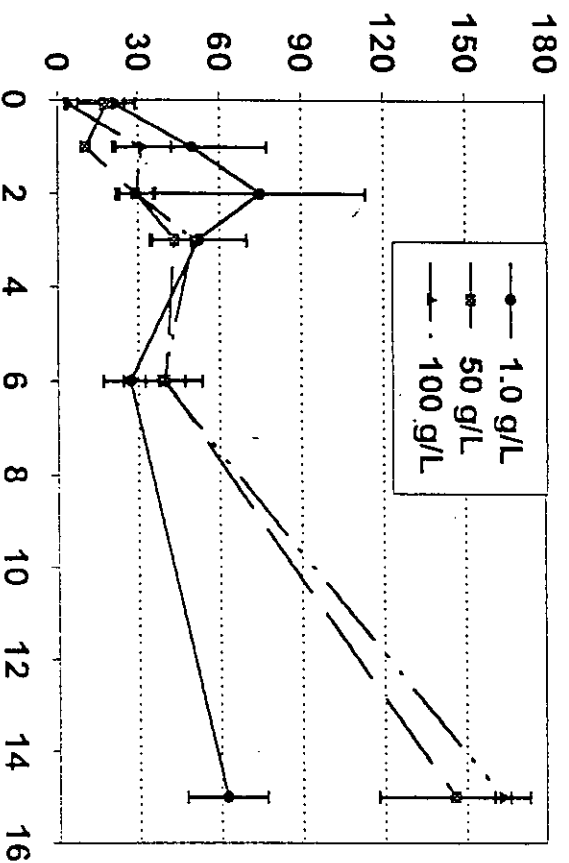
Knox-NVS: incubation in 2% FA



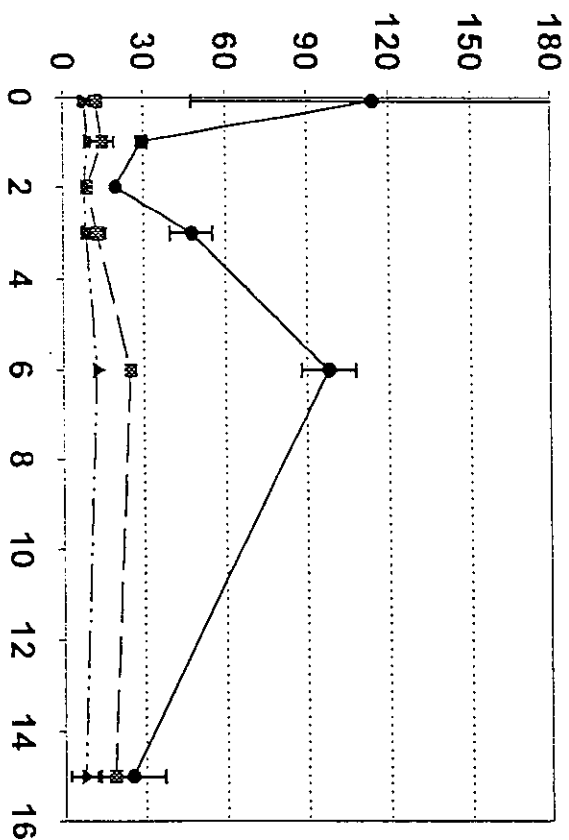
Days

$\text{NH}_4\text{-N (mg kg}^{-1}\text{)}$

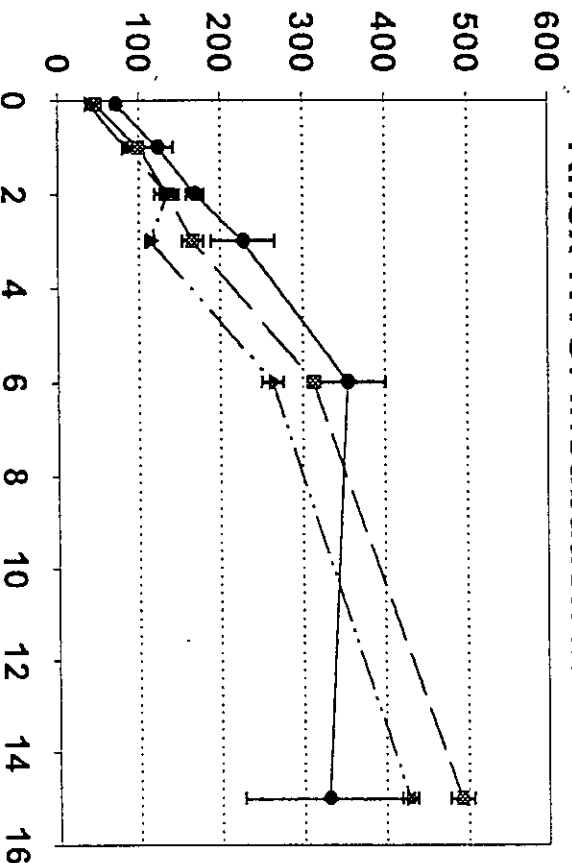
And-NVS: incubation in water



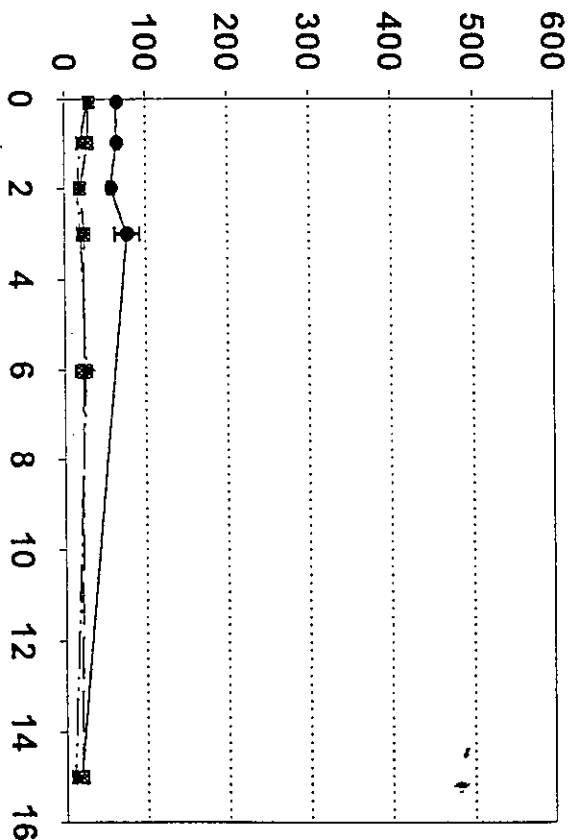
And-NVS: incubation in 2% FA



Knox-NVS: incubation in water



Knox-NVS: incubation in 2% FA

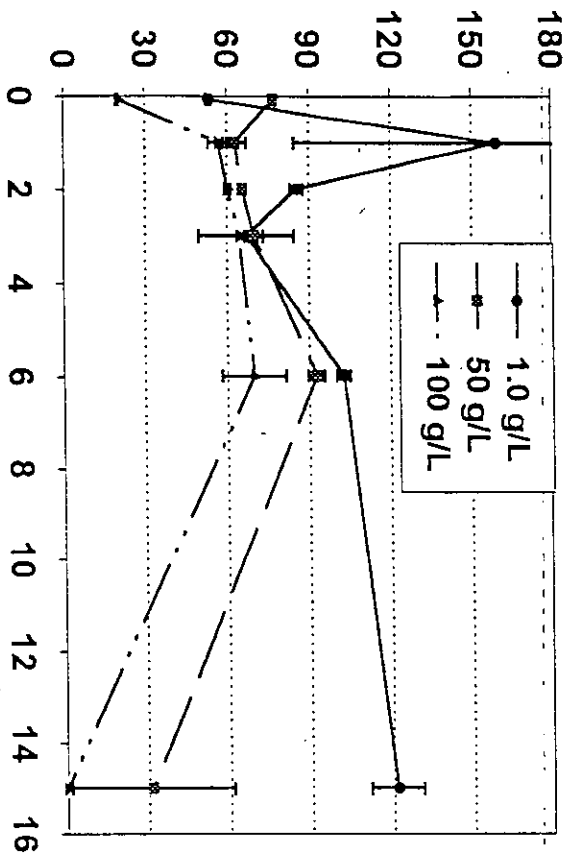


Days

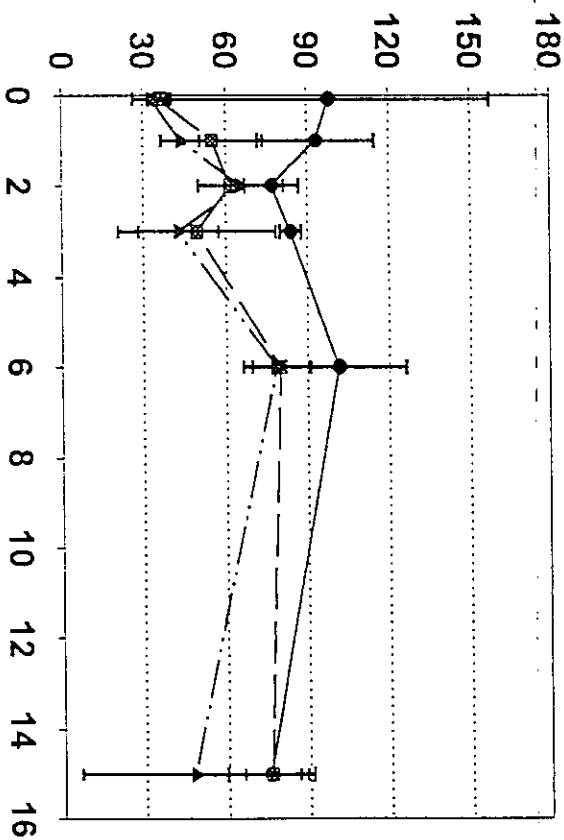
3 7/10

$\text{NO}_3\text{-N (mg kg}^{-1}\text{)}$

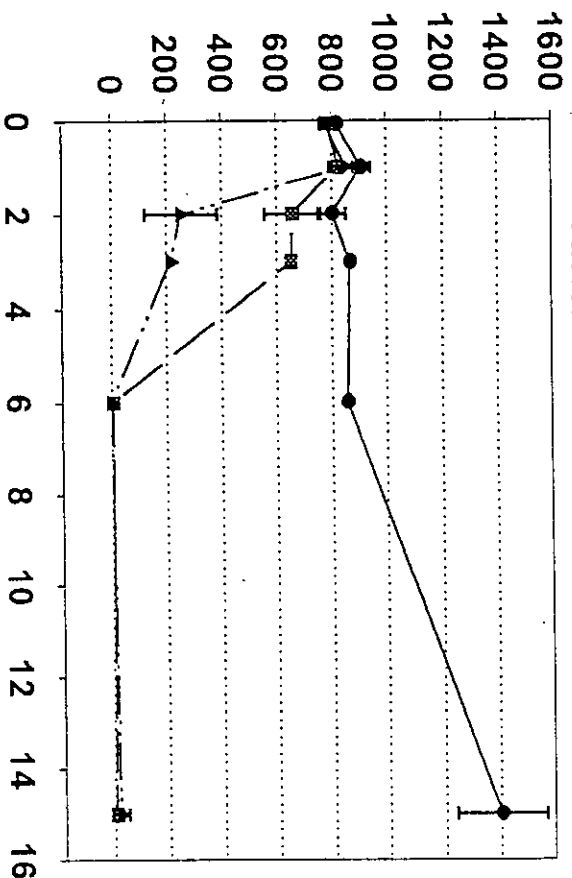
And-NVS: incubation in water



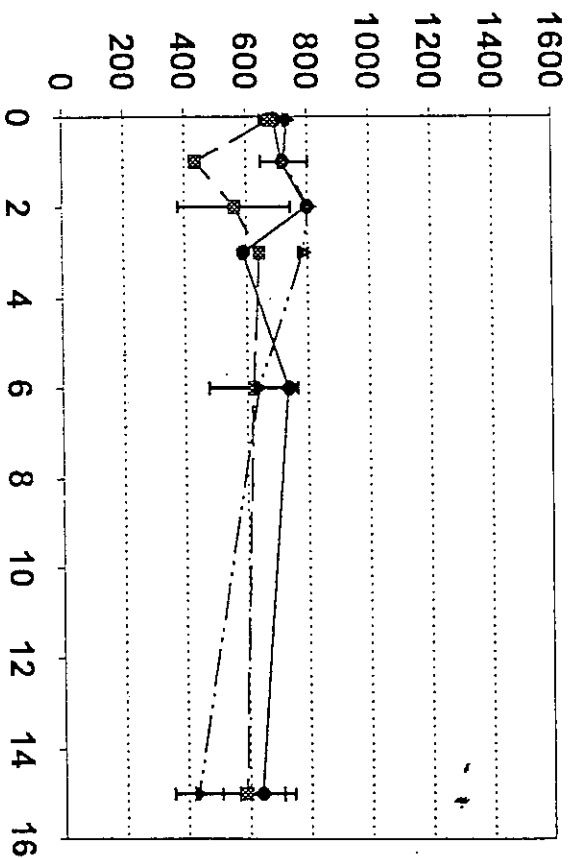
And-NVS: incubation in 2% FA



Knox-NVS: incubation in water



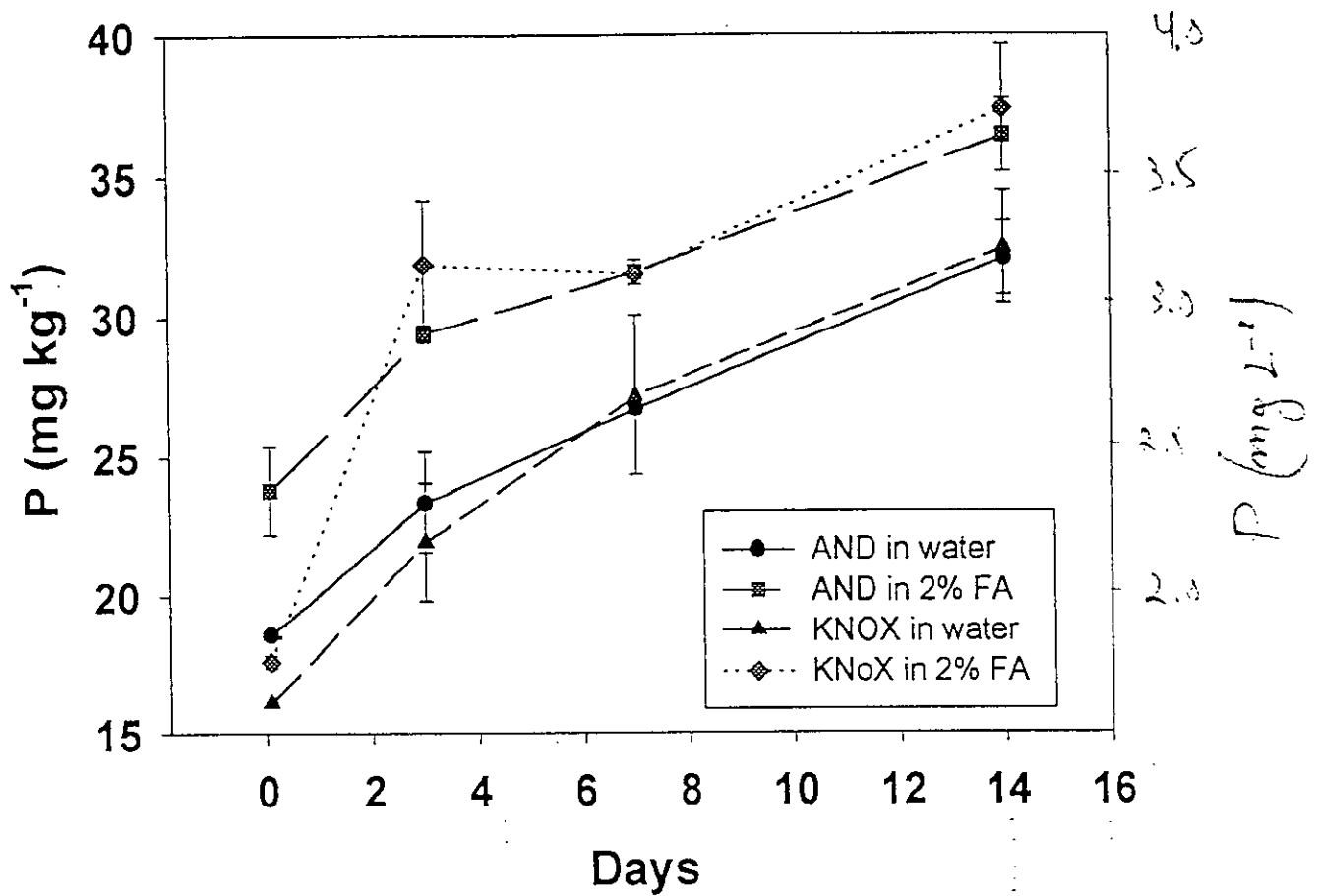
Knox-NVS: incubation in 2% FA



Days

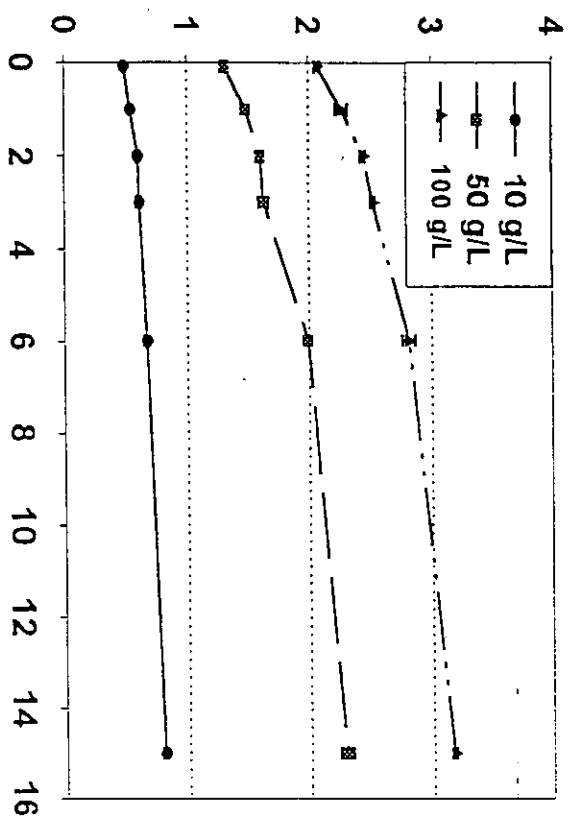
4 2/16

Phosphorus solubilization

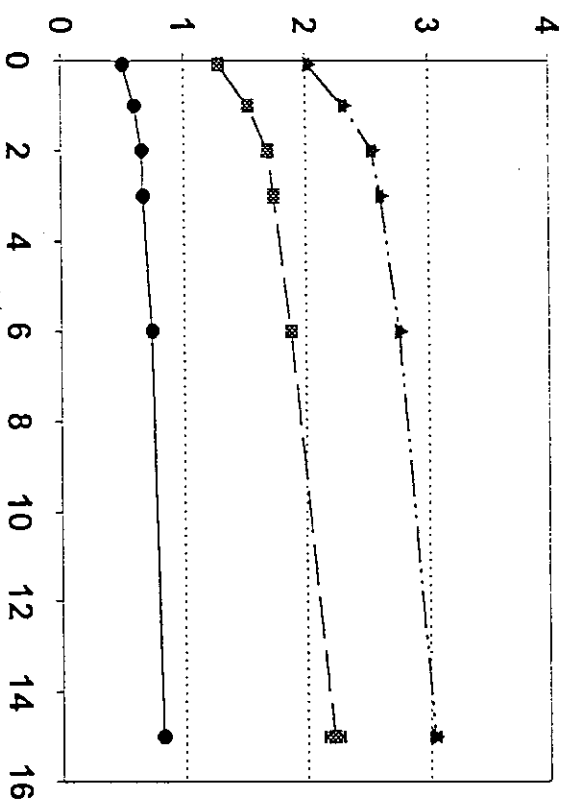


EC₂₅ (dS m⁻¹)

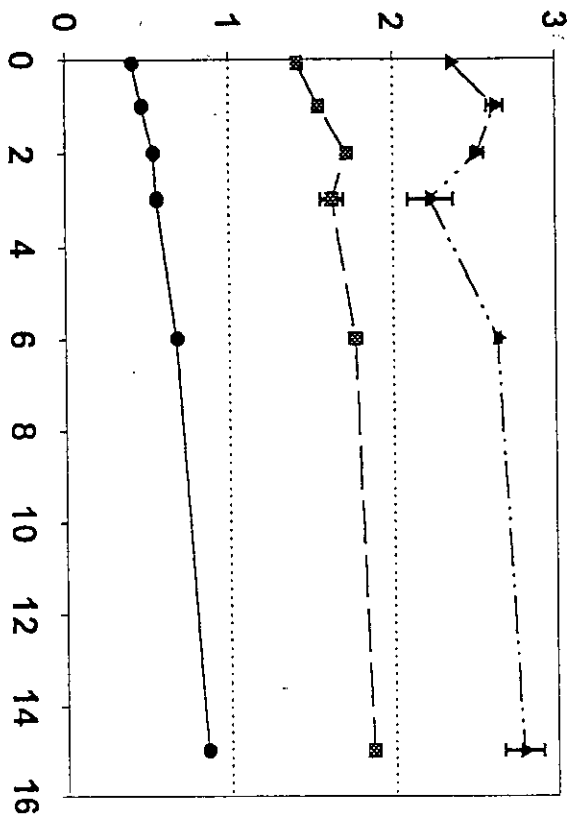
And-NVS: incubation in water



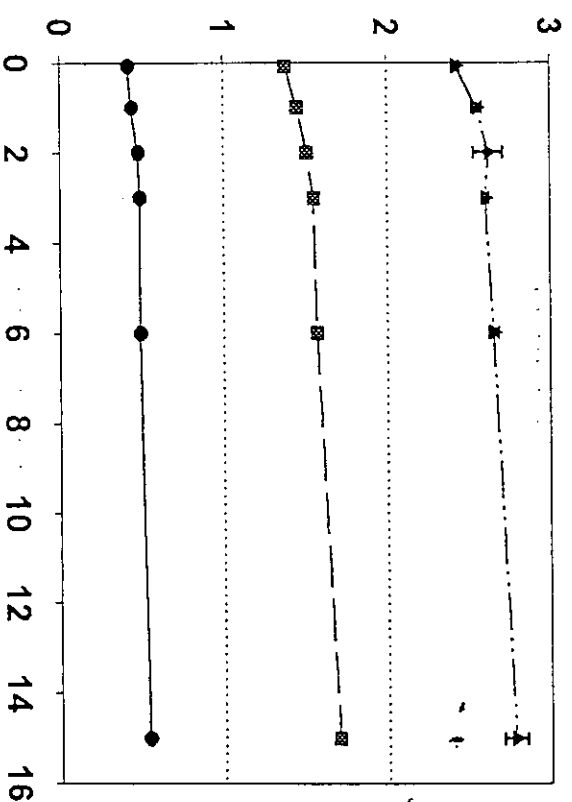
And-NVS: incubation in 2% FA



Knox-NVS: incubation in water



Knox-NVS: incubation in 2% FA

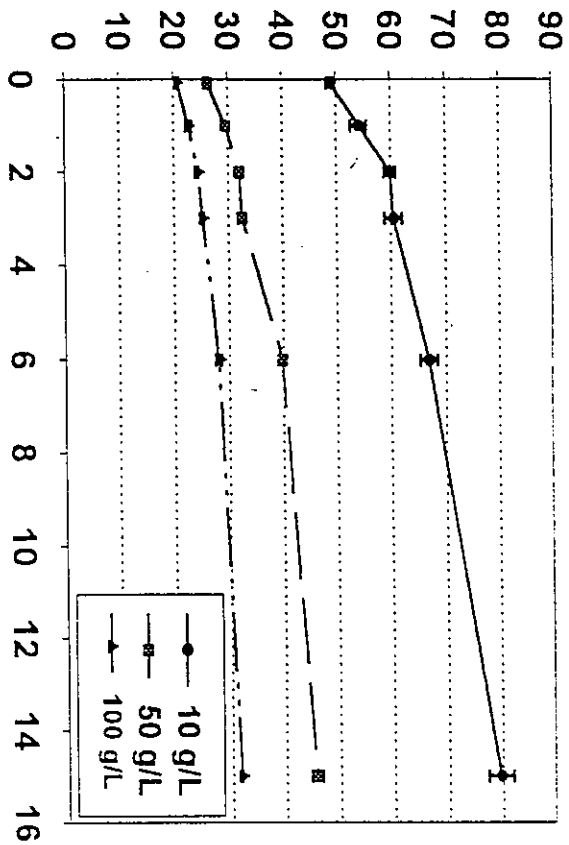


Days

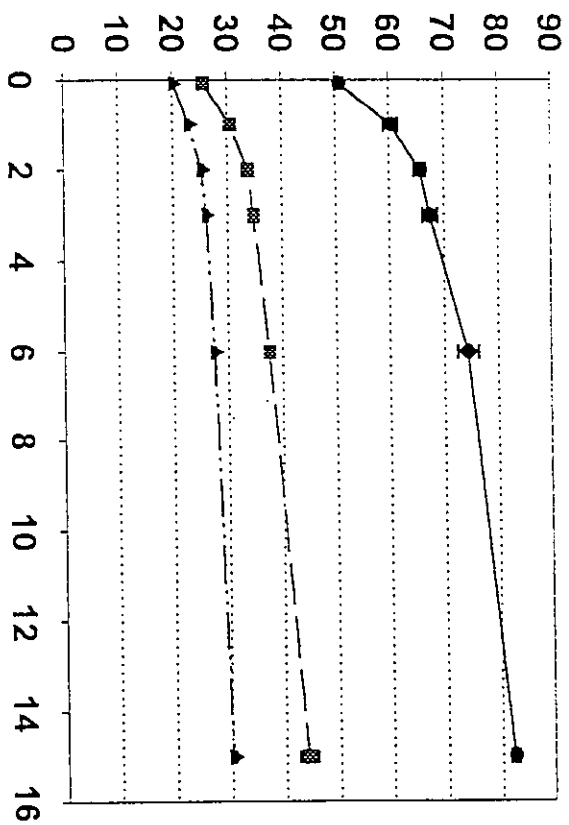
7/1/16

EC₂₅ (dS m⁻¹/gram)

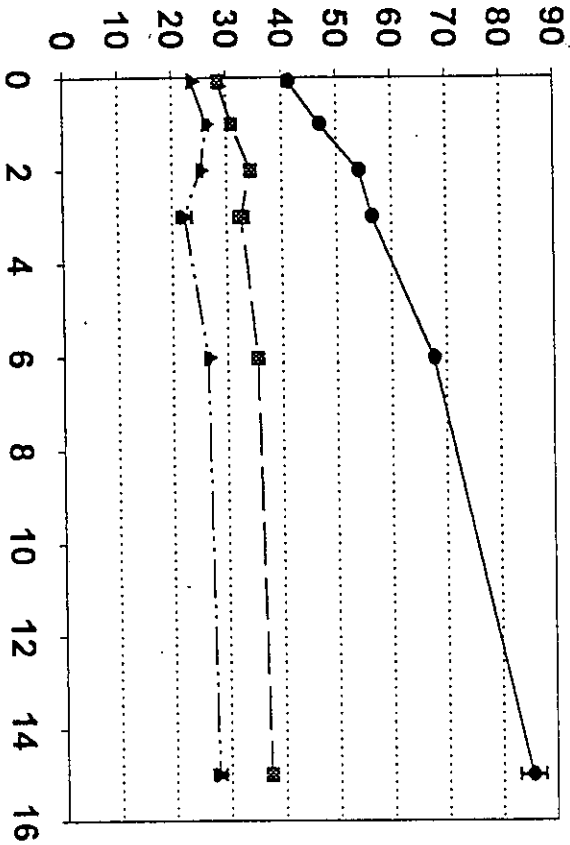
And-NVS: incubation in water



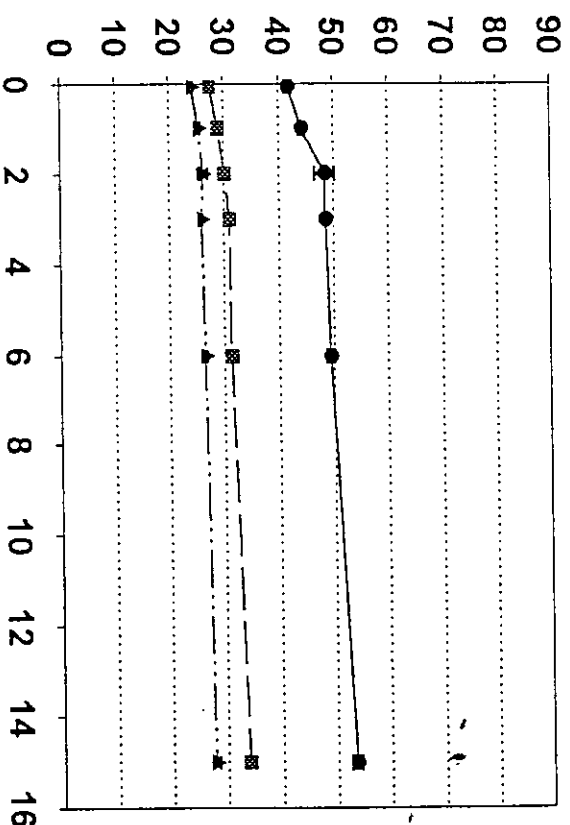
And-NVS: incubation in 2% FA



Knox-NVS: incubation in water

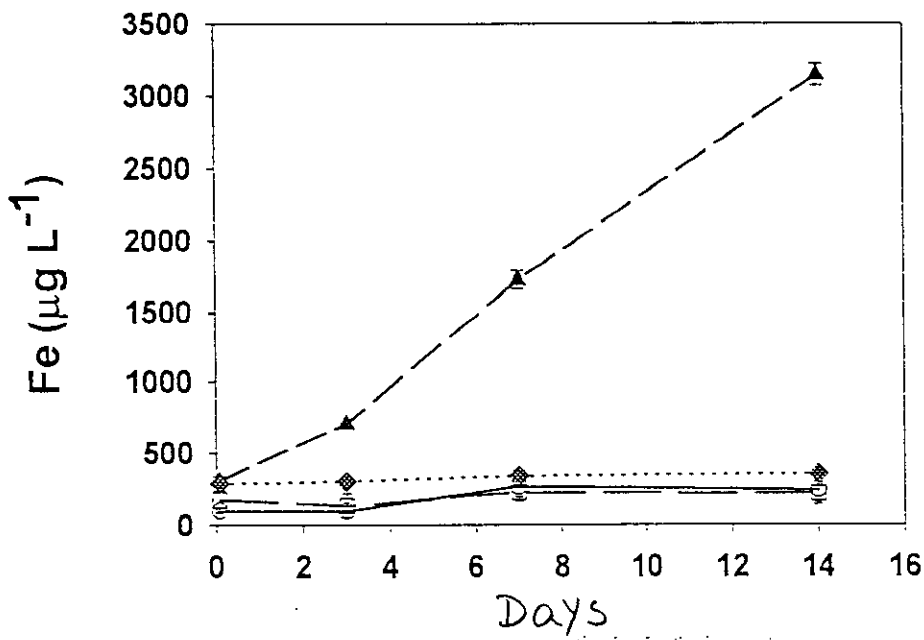
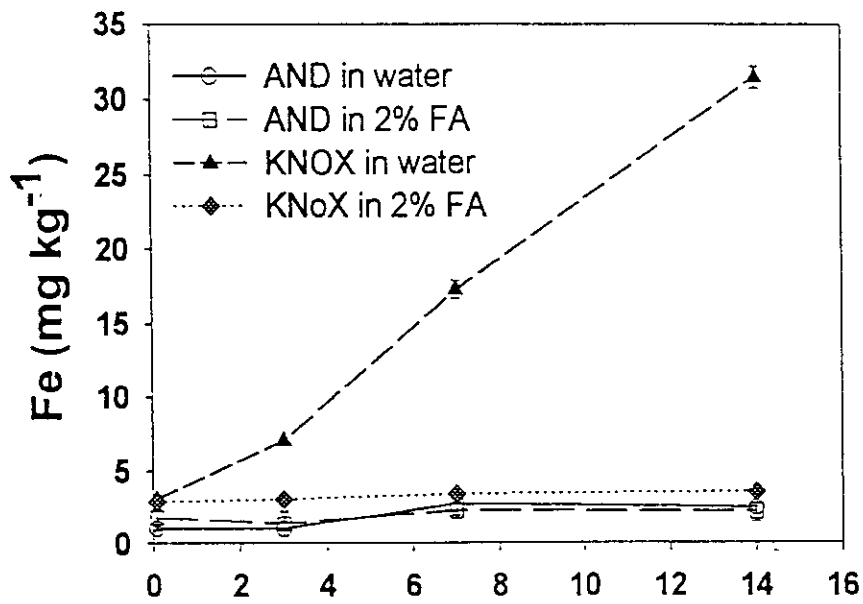


Knox-NVS: incubation in 2% FA



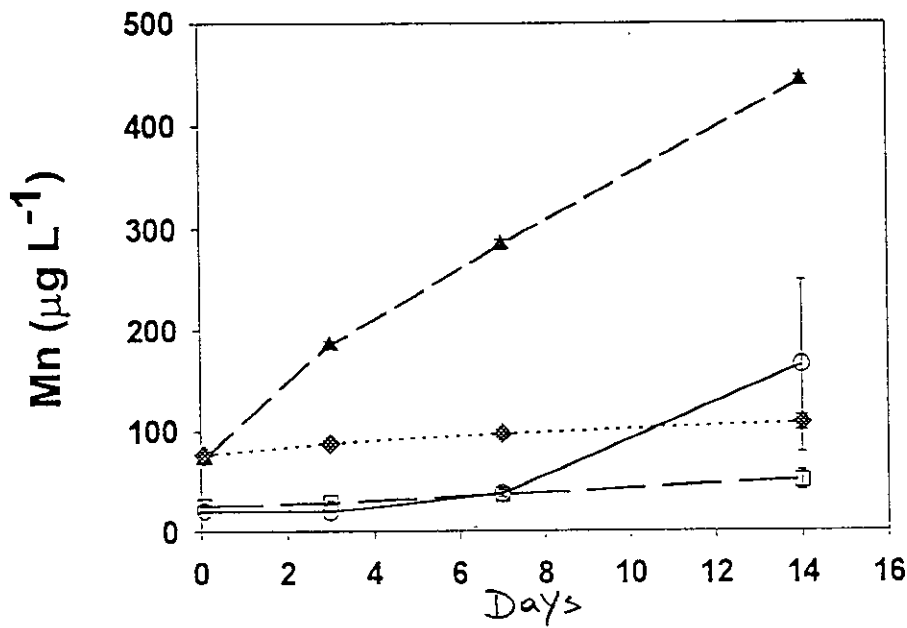
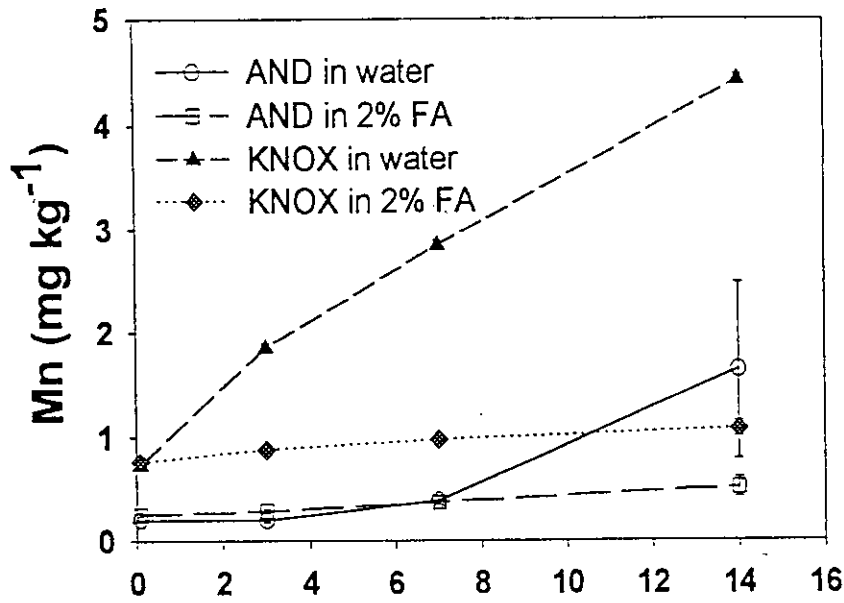
Days

Iron solubilization

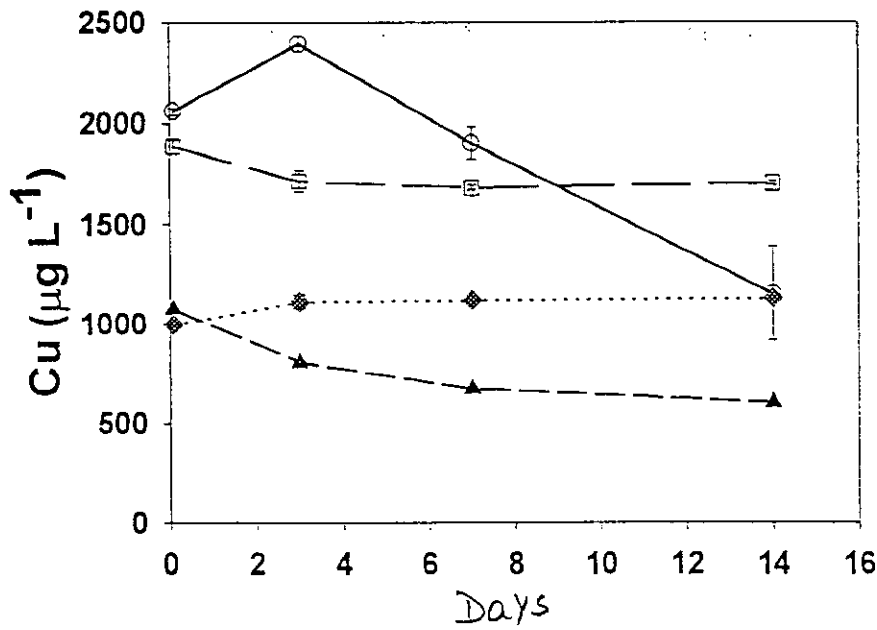
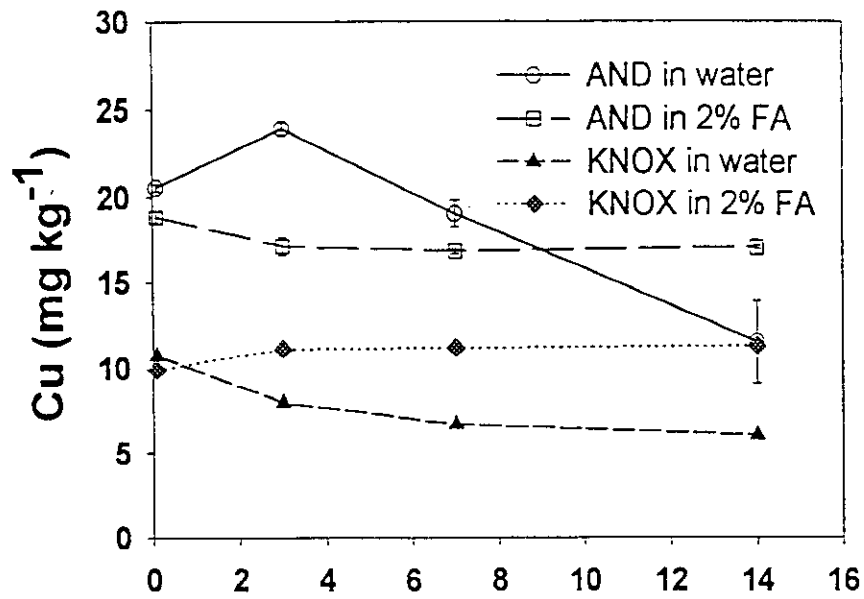


7/1/02

Manganese solubilization

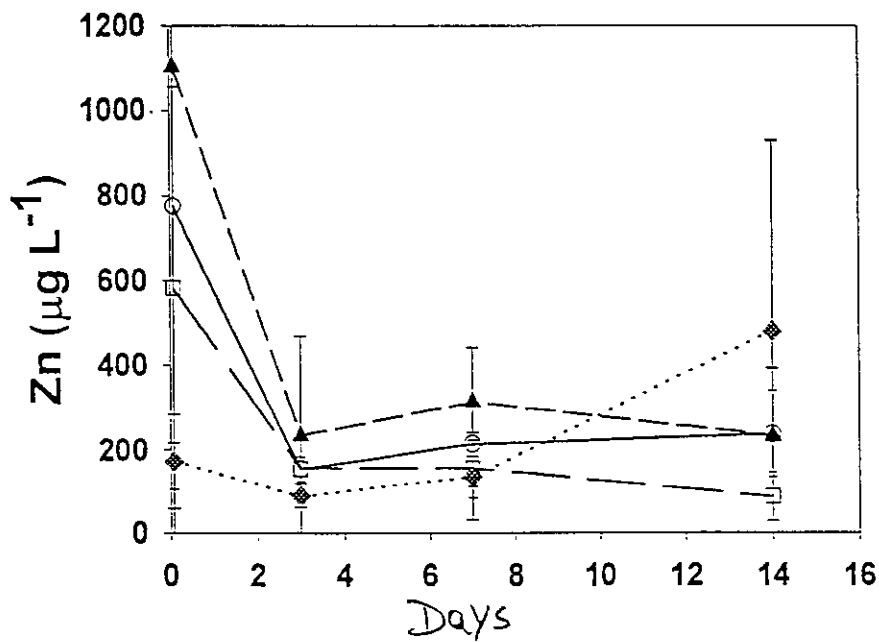
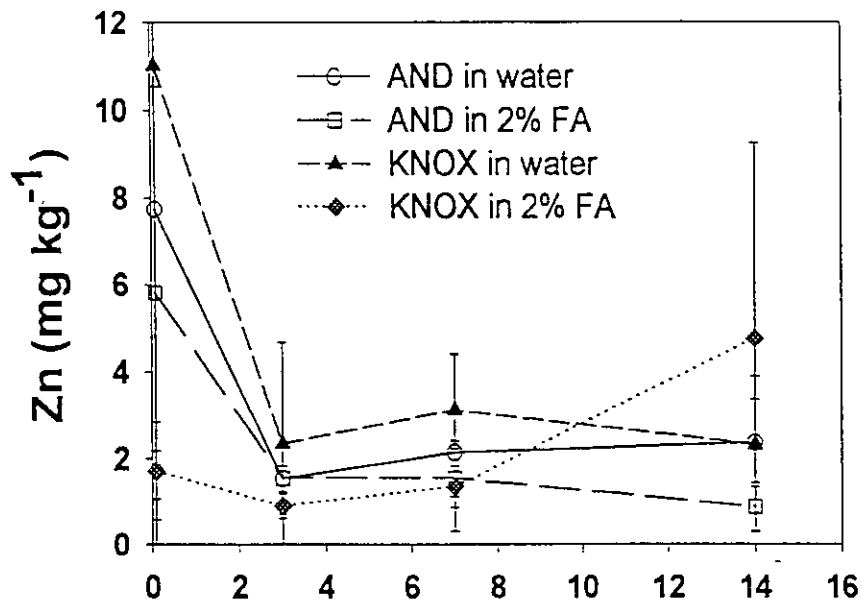


Copper solubilization



9 2/17/2

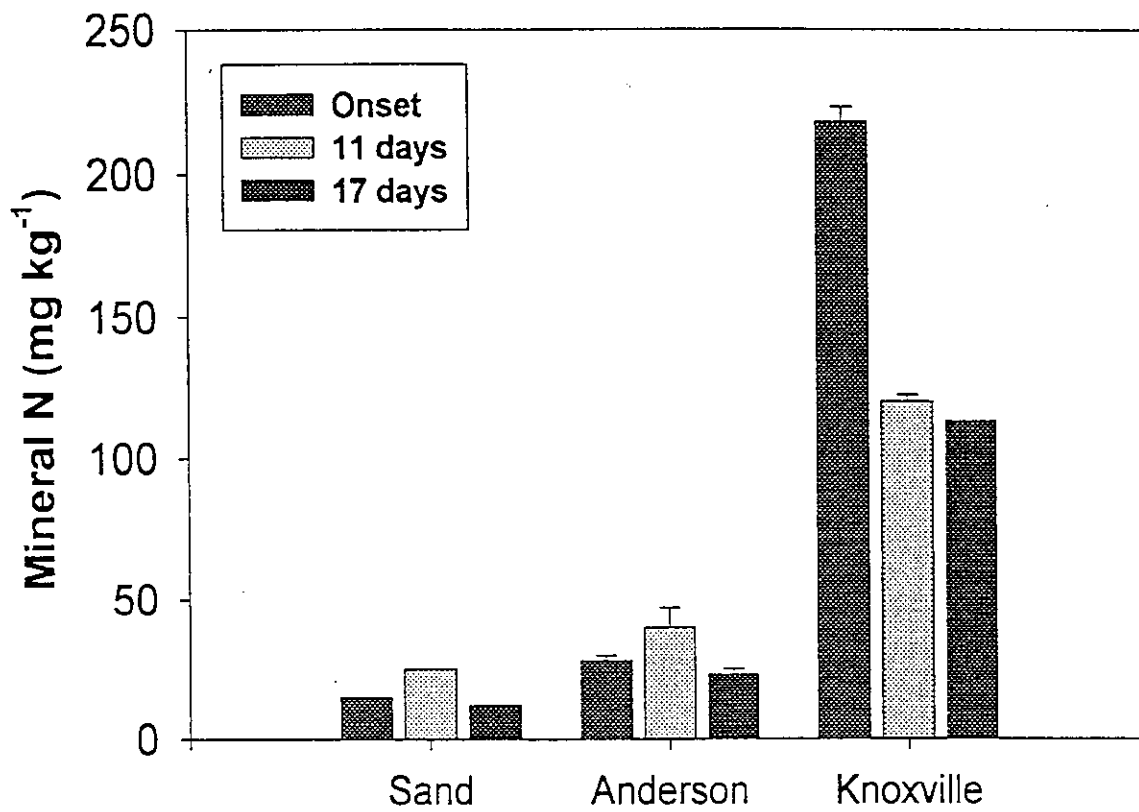
Zinc solubilization



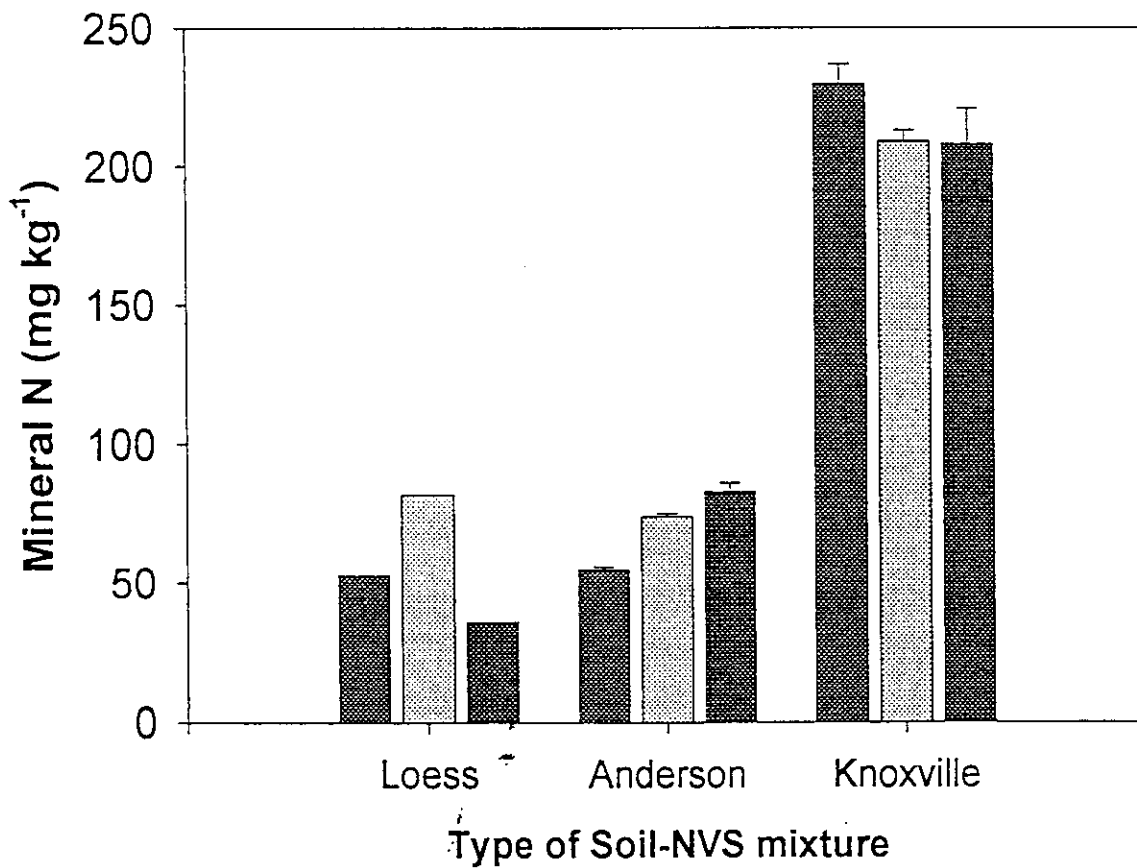
10 7/10

Mineral nitrogen accumulation

Incubation in Sand



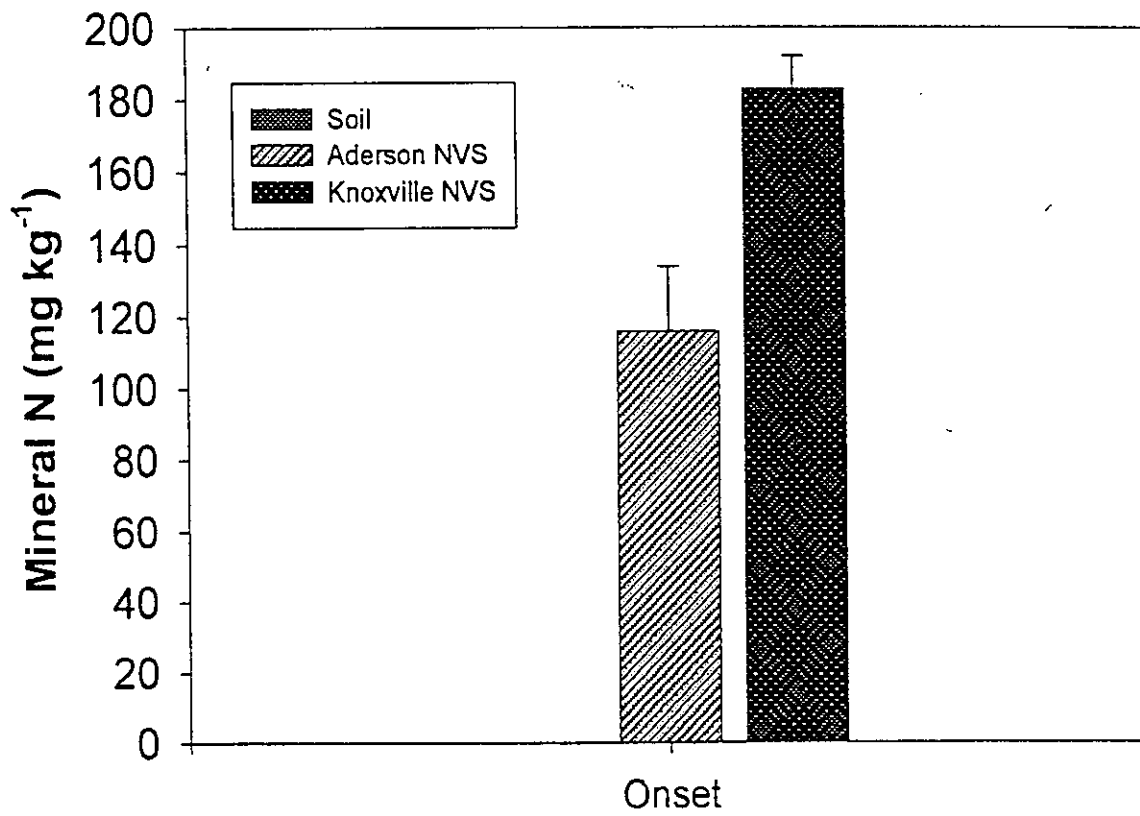
Incubation in Loess



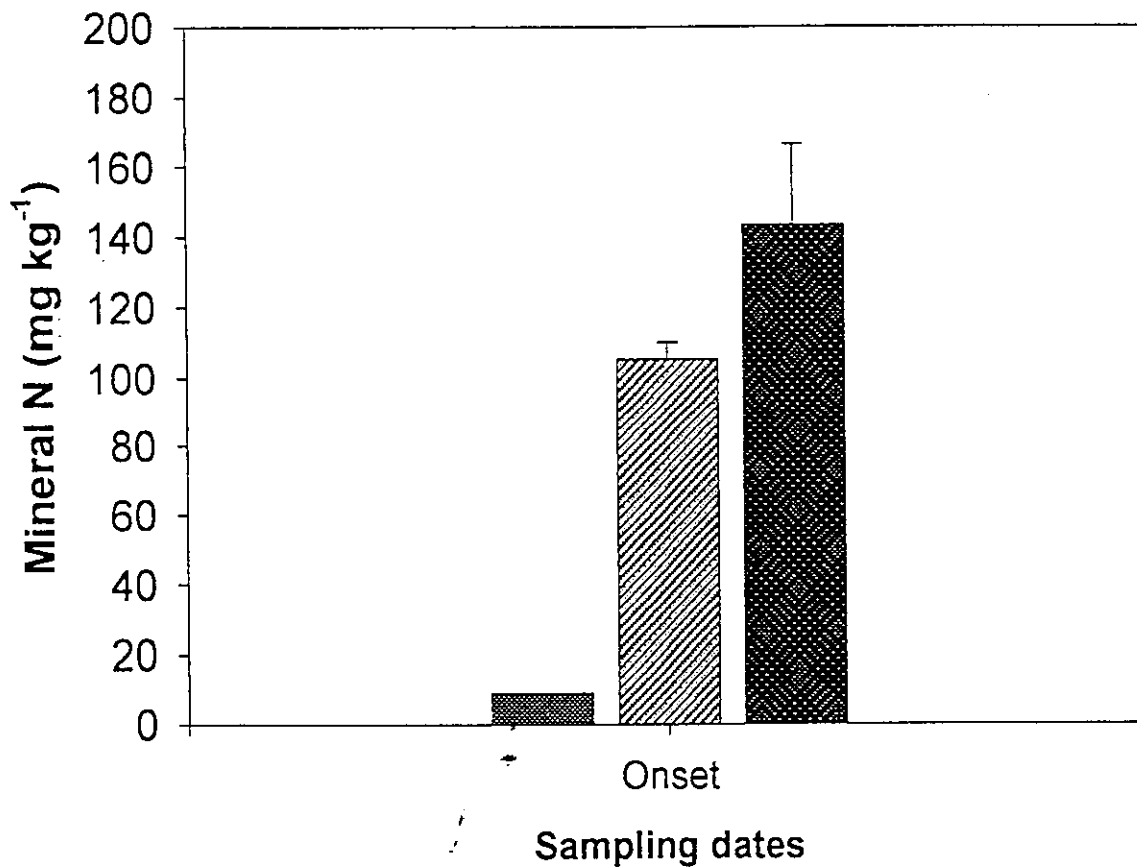
21/10

Phosphorus dissolution

in Sand

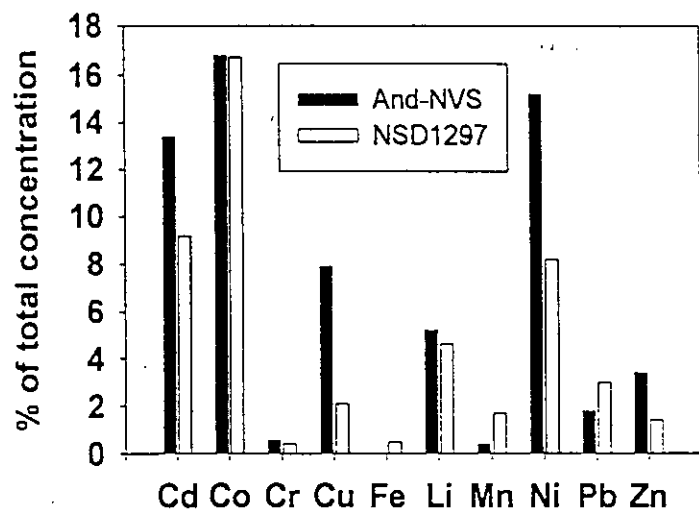


in Loess

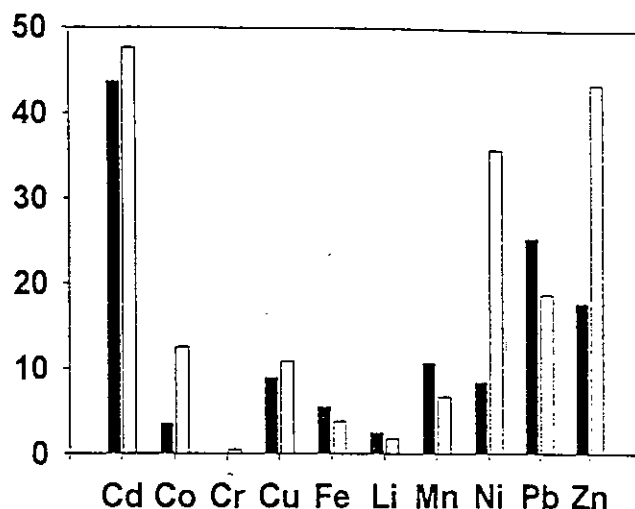


Sequential differential dissolution: Anderson NVS and NSD1297

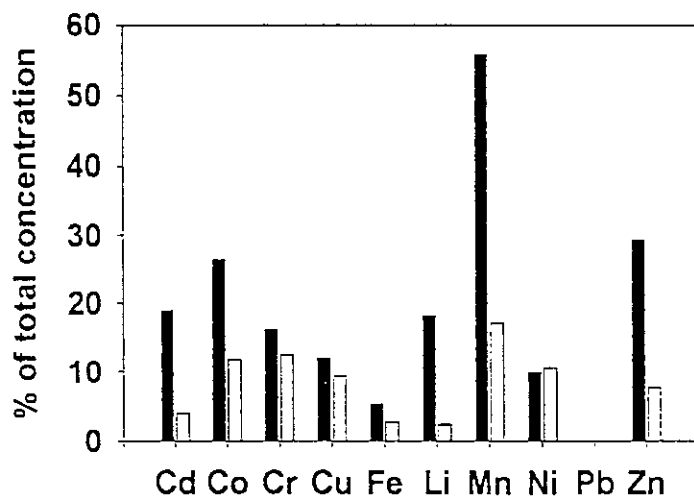
a. NH_4NO_3



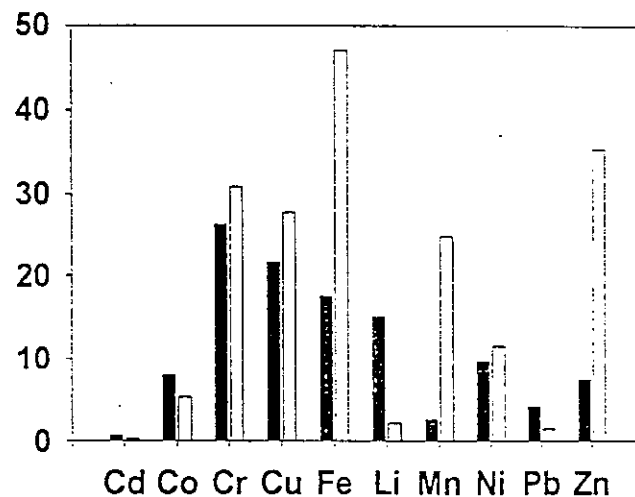
b. DTPA-TEA



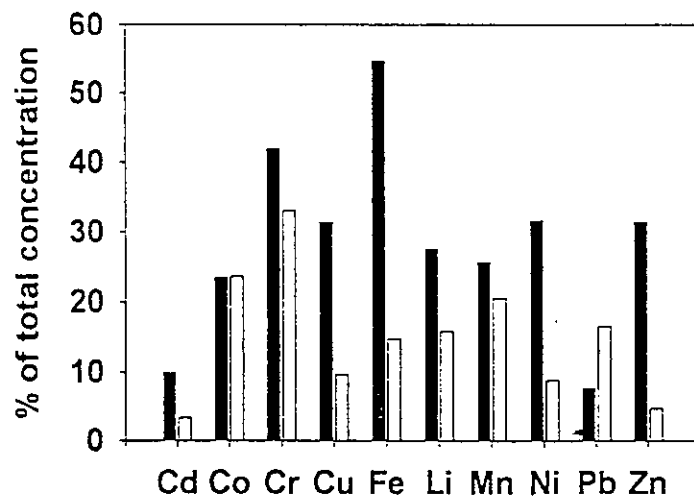
c. Na-acetate



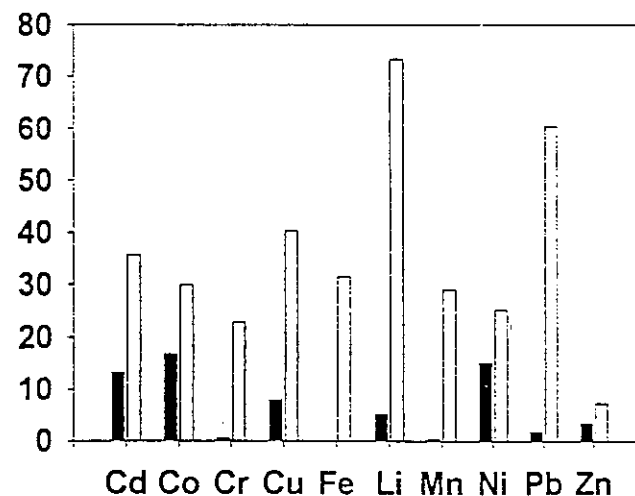
d. AAO



e. HAH + dithionite

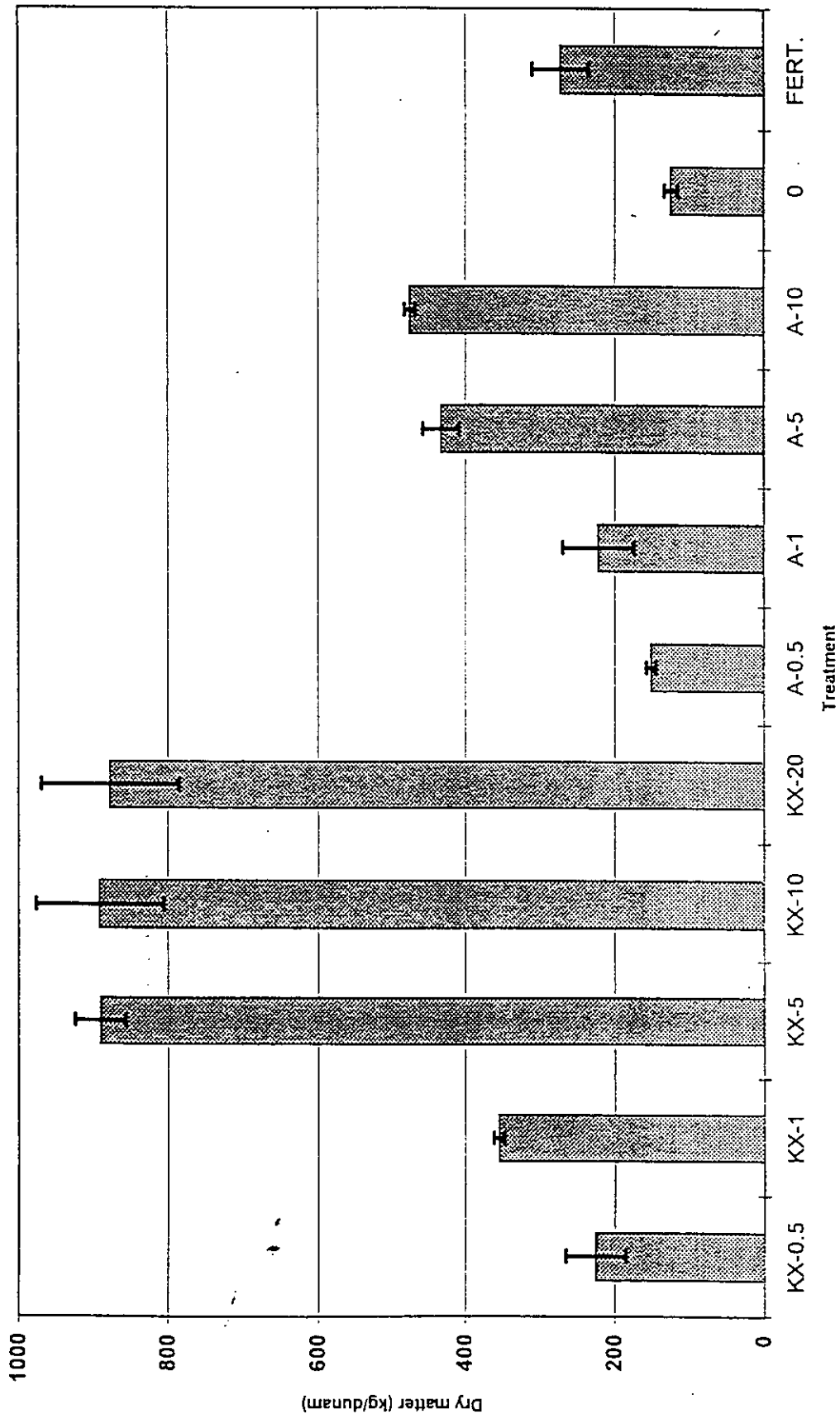


f. HNO_3



h 2/16

NVS in pots- wheat yield 1997/8



14 > 1/2

7/10 50

סיכום עם שאלות מנחות לדו"ח המחקר

1. מטרת המחקר לתקופת הדו"ח :

השפעת יישום NVS על : (1) pH ו- EC של תמיסת הקרקע ; (2) קצבי המינרליזציה (המיידי וארוך-הטווח) של פחמן. וחקון אורגניים והמסיסות והזמינות של זרחן ושל אשלגן ; (3) זמינות לצמח של מתכות כבדות נבחרות.
2. עיקרי הניסויים והתוצאות בתקופה אליה מתייחס הדו"ח

ניסויים : (1) ניסוי הדגרה עם 2 קומפוסטים מארה"ב בתרחיף ובתערובות עם 2 קרקעות ; (2) ניסוי גידול חיטה במכלים ; (3) ניסוי בעמודות קרקע תוצאות : (1) זמינות החנקן הייתה תלויה בסוג ה-NVS. (2) חנקן היה הגורם המגביל בניסוי העציצים. (3) מסיסות זרחן ה-NVS גבוהה בהשוואה לקרקעות טבעיות. זמינות הזרחן (מיצוי אולסו) אף היא גבוהה. (4) ביחס ערבוב של 25 ט"ד' מסיסות יסודות הקורט, אבץ, נחושת, מנגן ומוליבדן, הייתה גבוהה בדומה לתמיסת מזון (ג'ונסון) מלאה. (5) ה-NVS לא היה יעיל יותר מגבס (0.4% w/w) בדחיקת נתרן מקרקע נתרנית.
3. המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו

(א) ה-pH ההתחלתי הגבוה (≈ 12.5) אינו מהווה בעיה. הקרבוניזציה בתרחיפים ובקרקע היא מהירה. (ב) זמינות החנקן תלויה בחומרי המוצא ובאופן ההכנה (הבשלה) ; (ג) זמינות הזרחן ויסודות הקורט החיוניים (חוץ מברזל) הייתה גבוהה בשני סוגי הקומפוסט ;
4. הבעיות שנותרו לפתרון ו/או השינויים שחלו במהלך העבודה

המשך בשנת המחקר הבאה : (1) נמשך את ניסויי ההדגרה של ה-NVS מארה"ב ונתחיל ניסוי הדגרה עם NVS מקומיים ; (2) נגמור ונסכם את ניסוי העמודות עם NVS לטיוב של קרקע ורטיסול נתרני ; (3) נבצע את ניסוי השדה ואת ניסוי ליזימטרים בזיבול תפוחי אדמה אביביים (זריעת ינואר 1999) בקרקע חול חום-אדום בשרון.
5. צורת הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח

דיווח "נשר איה"ס" ומתו בסיס מדעי לטיפול בבוצות ב-CKD ; דיווח לחקלאים ובימי עיון.