

## הרעלת ניטראטים

Fredric N. Owens and Tom Rehberger

Optimum Quality Grains, L. L. C., Des Moines, Iowa 50322 USA;

and AgTech Products Inc., Waukesha, Wisconsin 53186 USA

תרגום: רן סולומון, שה"מ, המחלקה לבקר.

צמחים ומי שתייה יכולים להכיל ריכוז ניטראטים גבוה, העלול ליהיות רעיל לבעלי חיים. חיידקים השוכנים באופן טבעי במערכת העיכול (כרס מעלי גרה; צקום וקולון של סוסים; קיבה ומעי של תינוקות בגיל קטן מ-6 חודשים וחד קיבתיים צעירים) מחזרים ניטראט (שאינו רעיל) לניטריט (רעיל) ולאמוניה. כאשר חיזור הניטראט לניטריט מהיר יותר מסילוק הניטריט, ניטריט נספג לדם דרך מערכת העיכול. ההמוגלובין שבדם מגיב עם הניטריט שנספג והופך למטהמוגלובין, תרכובת שאינה מסוגלת להוביל חמצן. כתוצאה נגרם מחסור בחמצן ברקמות, הגורם לנשימה מהירה, מאומצת/רעשנית, דופק מהיר, ריור, חוסר יציבות, דם בצבע חום-שוקולד (ניתן להבחנה בממברנות ריריות), ובמקרים חמורים - מוות. חלק מבעלי החיים מחלימים ספונטנית. עם זאת, פרות שהחלימו מהרעלת ניטראטים, הנמצאות בשליש הראשון של ההריון, לעיתים קרובות מפילות לאחר כשבועיים עקב מות העובר.

**מקור הניטראטים:** צמחים גדלים קולטים ניטראטים מהקרקע ומסיעים אותם לעלים, שם הניטראט מחוזר בשלבים לניטריט, הידרוקסילאמין ולבסוף אמוניה. האמוניה מהווה אבן בניין של חומצות אמינו וחלבון על ידי הצמח. במצבים שונים בהם הצמח נמצא בעקה (stress) כמו מחסור במים, קור ועננות יתר, קיפאון - פוחת ניצול הניטראטים על ידי הצמח בעוד שקליטתם על ידי הצמח מהקרקע נמשכת, וכתוצאה, חלה הצטברות ניטראטים בצמח בעיקר בחלק התחתון של הגבעול. רוב הגידולים כמו תירס, חיטה, שיבולת שועל, שיפון, דוחן וסורגום (בעיקר מכלואי סורגום ועשב סודני), וכן עשבים שוטים, צוברים ניטראטים. כאשר שעור הדישון החנקני (ממקור ניטראטים או זבל בע"ח) עולה על צרכי הגדילה של הצמח, גוברת הצטברות הניטראטים בצמח. ריכוז הניטראטים בצמח משתנה בהתאם לריכוז הניטראטים בקרקע ותנאי הרטיבות. מספוא גס המכיל חנקן הניטראט ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) בריכוז קטן מ-1000 חלקי מיליון (ח"מ, ppm) נחשב כבטוח להאבסה לכל סוגי הבקר; כזה מכיל ריכוז נמוך מ-1500 ח"מ נחשב כבטוח להאבסה לפרות לא הרות. רמות גבוהות מ-1500 ח"מ יש לדלל ל-1500 ח"מ קודם להאבסה, מאידך יש קושי לדלל מספוא גס המכיל חנקן הניטראט בריכוז גבוה מ-4000 ח"מ. תועדו ריכוזי ניטראטים ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) מעל 12000 ח"מ בבלות חציר שבוטל שועל, 19000 ח"מ בעשבים שוטים ו-11000 במרעה סורגום סודאני! מספוא גס עשיר בניטראטים עלול להתפוצץ ולהישרף. ניטראטים שמקורם ממי שתייה (מי קו או מי נגר) תורמים לעומס הניטראט על בע"ח. מי שתייה המכילים רמות נמוכות מ-10 ח"מ חנקן הניטראט מחשבים כבטוחים לבני אדם; רמות נמוכות מ-40 ח"מ (יש מחקרים הטוענים נמוכות מ-100 ח"מ) נחשבות כבטוחות עבור מע"ג.

**קביעת ניטראטים:** בדיקת דיפנילאמין מהווה בדיקה מהירה לגילוי ניטראטים ברמות גבוהות מ-1000 ח"מ ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ). טיפה של 0.5% דיפנילאמין בתוך 80% חומצה גפרתית גורמת לשינוי צבע במספוא עתיר ניטראט לכחול כהה או כחול שחור. קביעת ניטראט במעבדה דיאגנוסטית נעשה נעשית בראקציה קולורימטרית או בעזרת אלקטרודה. ריכוזי הניטראט בדוגמא לעיתים מטעים משום שיטות הדיווח השונות: חנקן הניטראט -  $\text{NO}_3\text{-N}$ ; יון הניטראט ( $\text{NO}_3^-$ , פי 4.4 בהשוואה ל- $\text{NO}_3\text{-N}$ ); אשלגן הניטראט ( $\text{NO}_3\text{-K}$ , פי 7 בהשוואה ל- $\text{NO}_3\text{-N}$ ). מעבדות מסוימות מדווחות את ריכוז הניטראט באחוזים ( $10000=1\%$ ) (ח"מ).

**מניעת הרעלת ניטראטים:** אמצעים למניעת הרעלה מעודפי ניטראט כוללים: 1. הקטנת צריכת הניטראטים, 2. הקטנת הפיכת הניטראט לניטריט, 3. הגברת חיזור הניטריט לתרכובות לא טוקסיות, ו-4. הגברת הסבילות (טולרנס) של בעל החיים לניטראטים.

**ממשק גידול המספוא:** ניתן להקטין את הסכנה לצבירת ניטראטים בצמח על ידי פיזור הדישון לכל אורך עונת הגידול. ריכוזי הניטראטים גבוהים יותר בצמחים הגדלים באדמות חומציות או חסרות זרחן. יש להמנע מהכנסת בקר למרעה, או להימנע מקציר המספוא במשך 14-3 יום לאחר גשם, היורד בעקבות בצורת ממושכת, זאת על מנת לאפשר לרמות הניטראט בצמח לרדת (מנוצלים במטבוליזם החלבון). מאידך, בעקבות קיפאון או ברד הגורם לנזק רציני לעלווה, יש לקצור מיידית משום שהשורשים החיים ממשיכים לקלוט ניטראטים בעוד שהחלקים העליונים שניזוקו (בעיקר עלים) אינם מסוגלים לנצלם. צמחים מבוגרים מכילים פחות ניטראטים מצמחים צעירים; צמחים הנאכלים במרעה או נקצרים בשעות אחר הצהריים, מכילים ריכוזים נמוכים יותר של ניטראטים, זאת משום ניצול במשך היום של הניטראט שניקלט בלילה על ידי הצמח. מכלואי סורגום-עשב סודאני ידועים כצוברי ניטראטים. בזמן הקציר יש לכוון את גובה החיתוך גבוה מספיק כך שהחלק התחתון של הגבעול, העשיר ביותר בניטראט, יוותר בשדה. ריכוז הניטראט במספוא גס שנשמר כחציר נשאר קבוע, לעומת זאת במהלך החמצת ירק ריכוז הניטראט עשוי לקטון ב-30-80%. במהלך הימים הראשונים של ההחמצה, הניטראטים משתחררים כגז צהוב-חום (חנקן די-אוקסיד). גז זה במגע עם מים יוצר חומצה ניטרית. חומר זה עלול לפגוע ברקמת הראה עד גרימת מוות.

**ממשק בעלי החיים:** לצורך מניעת הרעלה שמקורה במזונות גסים עתירי ניטראט, יש להאביס בקר בשחת טובה טרם יציאתו למרעה חשוך, זאת על מנת לצמצם את צריכת המזון במרעה, ולאפשר הרגלה איטית למרעה על פני ימים מספר. יש להקפיד על לחץ מרעה נמוך, על מנת לצמצם אכילת גבעולים ועשבים שוטים. יש להקפיד על אספקת מי שתייה. יש לדלל מספוא גס עתיר ניטראט במנה על ידי מספוא גס דל ניטראט ואו על ידי גרעינים. אספקת ארוחות קטנות, לסירוגין, מוגשות כבליל (TMR) מאפשרת יצור רמות מתונות יותר של ניטראט וניטריט בכרס על פני רמות גבוהות במיוחד. גרעינים (דלי ניטראט) המוספים למנה מדללים את ריכוז הניטראט במנה, מספקים אנרגיה זמינה לחיידקי כרס מחזרי ניטריט, ומורידים את ה-pH בכרס נמוך מהאופטימאלי לחיזור ניטראט (כ-6.5) ל-pH קרוב יותר לאידיאלי לצורך חיזור הניטריט (כ-5.6).

**תוספת מינרלים וויטמינים:** מספר מינרלים מעורבים בתהליך חיזור הניטראט. האנזים ניטראט רדוקטאז, המחזר את הניטראט לניטריט מכיל מוליבדנום. במידה וטונגסטן מחליף את המוליבדנום באנזים, האנזים מפסיק להיות פעיל בחיזור ניטראט לניטריט. לכן צריכה יומית של 3-10 מ"ג טונגסטן/ק"ג משקל חי, בצורה של נתרן-טונגסטאט (sodium tungstate) יגרום להקטנת/עצירת יצור הניטריט בכרס. בהקשר זה, רק כ-1% מהטונגסטן הנצרך מופיע בחלב ובקרע, ולזיהום זה יש כנראה השפעה מזערית על חיידקי הקרקע או על הצמחים; עם זאת, יש לנהוג במשנה זהירות בשימוש בטונגסטן מחשש להשפעות שליליות שלו על הסביבה. יש לדאוג לאספקה הולמת של גופרית ונחושת, משום היותם חלק מאנזימים האחראים על דטוקסיפיקציה של ניטריט, על ידי יצירת קומפלקסים בלתי מסיסים של ניטריט עם מוליבדנום; בכך מונעים אנזימים אלו הצטברות הניטריט. בתחמיצים עתירי הניטראט חל הרס של קרוטן על ידי הניטריטים בתנאי ה-pH הנמוך הקיימים בתחמיץ; תופעה זו מסבירה את הרמות הנמוכות של ויטמין A. בשונה מתחמיץ, תהליכים דומים אינם קוראים במערכת העיכול ולכן אין צורך בתוספת מיוחדת של ויטמין A כאשר צריכת הניטראטים גבוהה.

**שימוש בתכשירים מיקרוביאליים:** ניטריטים מעכבים חיידקי קלוסטרדיה, לכן, הם מוספים לבשר משומר על מנת למנוע בוטוליזם. לעומת זאת, חיידקי מעיים כמו אשריכיה וסלמונילה, בתנאים אנאירוביים (ללא חמצן), מחזרים ניטראט לניטריט לצורך הפקת אנרגיה לגדילה. חיזור ניטריט לחומצות אמינו בתנאים האנאירוביים דורש השקעת אנרגיה; חיזור ניטריט לחומצות אמינו בכרס מזורז על ידי צריכת ניטראטים, ולמרות שטרם נבחן בניסוי שדה, הגברה מבוקרת של צריכת הניטראט, או רצוי יותר, צריכת הניטריט, יכולה לשמש ככלי להרגלת מע"ג לצורך מזונות או מי שתייה עתירי ניטראטים. זנים מבודדים של פרופיוניבקטריה (חיידק המשמש בתעשיית הגבינות) הניתנים באמצעות המזון או כמשחה דרך הפה, הופכים לדיירי קבע של הכרס, פעילים בחיזור ניטריטים ומונעים הרעלה. תרבויות חיידקים אלו זמינים מסחרית (Bova-Pro, כ-6\$/ראש).

דיאגנוזה וטיפול: קיים שוני בין הרעלה אקוטית וכרונית. בשני המצבים, צבע חום שוקולד של הדם מאפשר הבחנה ברורה של הרעלת ניטראטים. ניתן לאבחן מצב כרוני על ידי קביעת ניטראטים בנוזל האוקולארי (ocular fluid), או בסרום, או על ידי קביעת ריכוז המטהמוגלובין בדם. במצבים כרוניים הבקר יכול לעבור הרגלה ואקלום לרמת ניטראטים גבוהה ללא פגיעה בכושרו היצרני, עד שעור של 50% מטהמוגלובין מכלל ההמוגלובין (בהשוואה לשיעור נורמאלי של כ-3%). הטיפול בהרעלה הוא על ידי הפיכת המטהמוגלובין בחזרה להמוגלובין על ידי אינפוזיה תוך ורידית של 2-4% תמיסת מתילן כחול, בשיעור של 1 מ"ל ל-5 ק"ג משקל חי. כאשר תנאי מזג האוויר מהווים גורם סיכון להרעלת ניטראטים, מן הראוי שערכת מתילן כחול תהיה זמינה אצל הוטרינארים והמגדלים לצורך טיפול מיידי במקרים אקוטים. נעשה שימוש גם באינפוזיה של חומצה אסקורבית לצורך טיפול במצבי ריכוז מטהמוגלובין גבוה, אולם עד כה לא נבדקה באופן יסודי השפעת תוספת אנטיאוקסידנטים במזון (כמו ויטמין C או E).

כיוונים עתידיים: הגברת הסלקציה בצמחים לכיוון הגדלת היבולים וקצבי הגדילה עשויה להגביר את הפוטנציאל לצבירת ניטראטים במספוא גס. עם זאת ניתן להקטין את שיעור הניטראטים בקרקע על ידי: 1. תקנות להגבלת השימוש בדישון בניטראטים, 2. שינוי שיטות הדישון כמו דישון מפוצל (split application), חומרי דשן רגישים למים המשוחררים באופן איטי, וכן דישון עלוותי (foliar fertilizers), 3. הגברת השימוש בקטניות, 4. פיתוח זני חיידקי קרקע או סוגי דגניים קושרי חנקן, ו-5. צמצום השימוש בדשן במצבים בהם קיימים אמצעים יעילים לחיזוי בצורת. יש לכוון מחקר לפיתוח זני צמחים המסוגלים לבקר את קליטת הניטראטים בהתאם לשיעור הלחות בקרקע או פתוח זני צמחים שאינם צוברים ניטראטים. ניתן לקבוע מצבי עקה בצמחים, באמצעות שילוב של חישה מרחוק ע"י לוויינים המצוידים בטכנולוגיית אינפרא-אדום, עם בדיקות ניטראטים אזוריות, ולהתריע את המגדלים בפני ניטראטים (לקראת קציר) בדומה להתרעות מזג אוויר. שחתות, תחמיצים ומע"ג יכולים להיות מודבקים בחיידקים מנצלי ניטריט. ניתן לסלק ניטראטים ממי שתייה על ידי שימוש במתקני טהור בטכנולוגיות של אלקטרוכימיה, החלפת אניונים, אוסמוזה הפוכה וקולונות אנזים מקובע (fixed enzyme column). לסיום, שיפור הסטטוס התזונתי של בעלי החיים כמו פחות אנמיה כתוצאה מפרזיטים פנימיים וחיצוניים והגברת ניצול הניטראט על ידי חיידקי מערכת העיכול אמורים להקטין את השכיחות של הרעלות ניטראטים.