



ปัญหาพิเศษปริญาตรี

เรื่อง

ปริมาณไนเตรดและไนไตรต์ในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับ
ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

**Nitrate and Nitrite Contents in Chinese Kale treated with Fertilizer, Bio-extract and
Fertilizer alternated with Bio-extract**



T097089

โดย

นางสาวยูวาลี นางทะราช

Miss Yuwalee Nangtarat

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช

ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2545

ป/พ.

๑449๗

2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 97089

วัน เดือน ปี.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช

ปริญญาตรี
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

เรื่อง

ปริมาณไนเตรตและไนไตรต์ในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับ

ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

Nitrate and Nitrite Contents in Chinese Kale treated with Fertilizer, Bio-extract and
Fertilizer alternated with Bio-extract

โดย

นางสาวยูวาลี นางทะราช
Miss Yuwalee Nangtarat

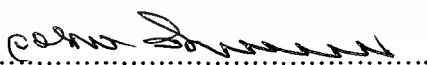
ได้รับพิจารณาเห็นชอบโดย



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ลักขณา อมรสิน)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ภาควิชารับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. วรเดช จันทรส)

หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช

วันที่ 3 เดือน ๒๕๖๖ พ.ศ. ๒๕๖๖

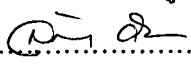
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง : ปริมาณไนเตรตและไนไตรต์ในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และ
ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

โดย : นางสาวยุวดี นางทะราช

ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

สาขา : เทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช

อาจารย์ที่ปรึกษา :  3/1๗๐...../๒๕๔๖
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ลักษณะ อมรสิน)

บทคัดย่อ

การศึกษาปริมาณไนเตรตและไนไตรต์ในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และไม่ใส่ปุ๋ย ทำการศึกษาระหว่างวันที่ 27 ตุลาคม 2545 ถึงวันที่ 23 ธันวาคม 2545 วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด ตรวจสอบวิเคราะห์ปริมาณไนเตรตและไนไตรต์โดยวิธีสเปกโทรโฟโตเมตริก ผลการตรวจวิเคราะห์ พบปริมาณไนเตรตในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และไม่ใส่ปุ๋ย เท่ากับ 5313.36, 61.97, 1947.49 และ 464.66 มก./กก. ตามลำดับ และปริมาณไนไตรต์ เท่ากับ 4.48, 1.81, 5.97 และ 10.43 มก./กก. ตามลำดับ โดยที่ปริมาณไนเตรตในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูงกว่าปริมาณไนเตรตในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และไม่ใส่ปุ๋ย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P = 0.01$ แต่ปริมาณไนเตรตในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และไม่ใส่ปุ๋ยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P = 0.01$ ปริมาณไนเตรตในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ แตกต่างกับปริมาณไนเตรตในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และไม่ใส่ปุ๋ย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P = 0.01$ ปริมาณไนไตรต์ในผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ยสูงกว่าปริมาณไนไตรต์ในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P = 0.01$ แต่ปริมาณไนไตรต์ในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P = 0.01$ ทั้งนี้ผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณผลผลิตสูงกว่าผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P = 0.01$

Title : Nitrate and Nitrite Contents in Chinese Kale treated with Fertilizer, Bio-extract and Fertilizer alternated with Bio-extract

By : Miss Yuwalee Nangtarat

Degree : Bachelor of Science in Agriculture

Major Field : Pest Management Technology

Advisor : *Luckana Amonsin* ๓ / April / 2๐๐3.
(Asst. Professor Luckana Amonsin)

Abstract

The study of nitrate and nitrite contents in Chinese Kale treated with fertilizer, bio-extract, fertilizer alternated with bio-extract and non-treated with fertilizer was conducted on October 27, 2002 to December 23, 2002. The experiment was designed as completely randomized design and was analysed by spectrophotometric method. The results was found that nitrate in Chinese Kale treated with fertilizer, bio-extract, fertilizer alternated with bio-extract and non-treated with fertilizer were 5313.36, 61.97, 1947.49 and 464.66 mg/kg, nitrite were 4.48, 1.81, 5.97 and 10.43 mg/kg respectively. The amount of nitrate in Chinese Kale treated with fertilizer have significantly higher than that of Chinese Kale treated with fertilizer alternated with bio-extract, bio-extract and non-treated with fertilizer at $P = 0.01$, but were not significant in Chinese Kale treated with bio-extract and non-treated with fertilizer at $P = 0.01$. The amount of nitrate in Chinese Kale treated with fertilizer alternated with bio-extract have significantly difference from Chinese Kale treated with fertilizer, bio-extract and non-treated with fertilizer at $P = 0.01$. The amount of nitrite in Chinese Kale non-treated with fertilizer have significantly higher than that of Chinese Kale treated with fertilizer alternated with bio-extract, fertilizer and bio-extract at $P = 0.01$, but were not significant in Chinese Kale treated with fertilizer, bio-extract and fertilizer alternated with bio-extract at $P = 0.01$. The production of Chinese Kale treated with fertilizer have significantly higher than the production of Chinese Kale treated with fertilizer alternated with bio-extract, bio-extract and non-treated with fertilizer at $P = 0.01$.

คำนิยม

ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ลักขณา อมรสิน อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำ ปรึกษา และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ประสาทความรู้ และขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุเคราะห์ด้านเครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่ในการปฏิบัติงาน

ขอขอบคุณ คุณจรงค์ศักดิ์ พุ่มนวน นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่อง spectrophotometer และเครื่องมืออื่นๆ รวมทั้งพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังใจตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้ทั้งคำปรึกษา กำลังใจ และกำลังทรัพย์ ในการศึกษามาโดยตลอด

นางสาวยูวดี นางพระราช

มีนาคม 2546

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
คำนิยม	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	v
สารบัญรูป	vi
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	18
ผลการทดลอง	25
วิจารณ์ผลการทดลอง	32
สรุปและข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ปริมาณไนเตรด (NO_3^-) และไนไตรต์ (NO_2^-) ในฝักคะน้ำที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	26
2. ปริมาณผลผลิต (กก./แปลง) ของฝักคะน้ำที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	26
ตารางภาคผนวกที่	
1. ปริมาณไนเตรด (NO_3^-) ในฝักคะน้ำที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	38
2. ปริมาณไนไตรต์ (NO_2^-) ในฝักคะน้ำที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	38
3. การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไนเตรด (มก./กก.) ในฝักคะน้ำที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	39
4. การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไนไตรต์ (มก./กก.) ในฝักคะน้ำที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	40
5. การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณผลผลิตของฝักคะน้ำที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	41

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1. ปริมาณไนเตรต (NO_3^-) ในฝักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	27
2. ปริมาณไนไตรต์ (NO_2^-) ในฝักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	28
3. ปริมาณผลผลิต (กก./แปลง) ของฝักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	29
4. ฝักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย	30
5. ฝักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี	30
6. ฝักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	31
7. ฝักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	31

คำนำ

คะน้าจัดเป็นพืชตระกูลกะหล่ำ (Cruciferae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica oleracea var albolabra* เป็นผักที่นิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวาง มีถิ่นกำเนิดใน Asai minor และปลูกกันมากในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น จีน ฮองกง ไต้หวัน มาเลเซีย และไทย คะน้าเป็นพืชฤดูเดียว อายุตั้งแต่หว่านหรือหยอดเมล็ดจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 45-55 วัน สามารถปลูกได้ตลอดปีในแหล่งที่มีน้ำเพียงพอ แต่ช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการปลูกคะน้าให้ได้ผลดีที่สุดคือ ระยะเวลาตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนเมษายน และเนื่องจากผักคะน้าเป็นผักที่นิยมบริโภคกันทั่วไป ทำให้ตลาดมีความต้องการสูง เกษตรกรผู้ปลูกจึงพยายามหาวิธีที่จะเพิ่มผลผลิตเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการ ซึ่งปุ๋ยก็เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตและช่วยปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปไนเตรต (Nitrate) ไม่เพียงแต่มีผลต่อการปรับปรุงผลผลิตเท่านั้น แต่การใช้ปุ๋ยอย่างฟุ่มเฟือยและมากเกินไปอาจก่อให้เกิดปัญหาการมีปริมาณไนเตรตและไนไตรต์ในผักสูงจนอาจทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการบริโภคได้ ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการศึกษาความแตกต่างของผลผลิตของผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ รวมทั้งศึกษาปริมาณไนเตรตและไนไตรต์ในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยดังกล่าว เพื่อหาแนวทางในการเลือกใส่ปุ๋ยอย่างเหมาะสม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณไนเตรตและไนไตรต์ในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ
2. เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตของผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับกับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ
3. เพื่อประเมินความเสี่ยงจากไนเตรตและไนไตรต์จากการบริโภคผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจเอกสาร

ผักคะน้า (Chinese Kale)

ผักคะน้า (Chinese Kale) จัดเป็นพืชตระกูลกะหล่ำ (Cruciferae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica oleracea var albograba* เป็นพืชฤดูเดียว มีลำต้นสูงประมาณ 35-50 เซนติเมตร มีข้อตามลำต้น มีใบแบบธรรมดา (Simple leaf) การจัดเรียงใบเป็นแบบสลับ (Alternate) มีช่อดอกแบบ Raceme และเป็นดอกแบบสมบูรณ์เพศ มีแหล่งกำเนิดที่ Asia minor แล้วแพร่ขยายเข้าไปในประเทศอินเดียและจีนเป็นเวลานานจนเป็นผักที่ได้รับความนิยมและคุ้นเคยกันในแถบนี้

ปัจจุบันคะน้าเป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของหลายประเทศในแถบเอเชีย เช่น จีน ฮองกง ไต้หวัน มาเลเซีย สิงคโปร์ และยังคงกลายเป็นผักพื้นเมืองที่สำคัญของไทยเพราะมีรสชาติอร่อย ราคาถูก เจริญเติบโตเร็ว อายุสั้น (อายุตั้งแต่หัววันหรือหยอดเมล็ดจนถึงเก็บเกี่ยว ประมาณ 45-55 วัน) นอกจากนี้คะน้ายังเป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยมีสารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน แร่ธาตุพวกแคลเซียม ฟอสฟอรัส และเนื่องจากคะน้าเป็นผักที่มีสีเขียวจึงมีวิตามินเอ และวิตามินซีสูงอีกด้วย (ไฉน, 2542) ผักคะน้าสามารถขึ้นได้ดีในดินแทบทุกชนิด โดยความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมประมาณ 5.5-6.8 และมีความต้องการความชื้นในดินประมาณ 80% อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 18-24 องศาเซลเซียส

คะน้าแบ่งออกเป็น 7 สายพันธุ์ คือ ไปฮวาไก่ห่าน หงฮวาไก่ห่าน ซุยอิมไก่ห่าน ไปฮวาไก่ห่าน เอ็นเอิบไปฮวา เอ็นเอิบองฮวา และซิมอิมไปฮวา ประเทศไทยนิยมปลูกคะน้าพันธุ์ไปฮวาไก่ห่าน ซึ่งมีดอกสีขาว โดยสั่งเมล็ดพันธุ์มาจากต่างประเทศ แล้วทำการคัดและปรับปรุงพันธุ์ให้ดีขึ้น คะน้าพันธุ์ไปฮวาไก่ห่าน แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. คะน้าใบกลม มีลักษณะใบกว้างใหญ่ ปล้องสั้น ปลายใบมน และผิวใบเป็นคลื่นเล็กน้อย เช่น พันธุ์ฝางเบอร์ 1
2. คะน้าใบแหลม มีลักษณะใบแคบกว่าคะน้าใบกลม ปลายใบแหลม ช่อห่าง ผิวใบเรียบ เช่น พันธุ์พีแอล 20 (PL-20)
3. คะน้ายอดหรือคะน้าก้าน เป็นคะน้าที่มีลักษณะคล้ายคะน้าใบแหลม แต่มีจำนวนใบต่อก้านน้อยกว่าและปล้องยาวกว่า เช่น พันธุ์แม่โจ้ (ไฉน, 2542)

ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ เป็นปุ๋ยที่ได้จากการสังเคราะห์ เป็นสารอนินทรีย์ซึ่งประกอบไปด้วยธาตุอาหารจำเป็นที่พืชต้องการและมักขาดแคลนในดิน ปุ๋ยเคมีสามารถให้ธาตุอาหารสูงและพืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที (สมภพ, 2526)

ประเภทของปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมีมีการผลิตออกมาใช้ในทางการเกษตรอย่างมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามลักษณะทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และลักษณะหรือสมบัติเฉพาะตัวอื่นๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต กรรมวิธีการผลิต และวัตถุประสงค์ในการผลิต ดังนั้นในการจำแนกปุ๋ยเคมีนั้นเราอาจจำแนกออกได้หลายลักษณะขึ้นกับหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาจำแนก ทั้งนี้การจำแนกโดยใช้หลักเกณฑ์ตามลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยเคมี สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ปุ๋ยเคมีในรูปของแข็ง

ปุ๋ยเคมีในรูปของแข็ง สามารถจำแนกตามลักษณะทางกายภาพได้เป็น 4 ชนิดดังนี้

1.1 ปุ๋ยผง (Powder) คือ ปุ๋ยเคมีในรูปของแข็งที่เม็ดปุ๋ยแต่ละเม็ดอยู่ในรูปผงละเอียดที่ได้จากการบดโดยเครื่องบดหรือร่อนขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนเพื่อให้ได้เม็ดปุ๋ยตามขนาดและสัดส่วนที่ต้องการหรืออาจเป็นปุ๋ยผสมที่นำแม่ปุ๋ย 2 ชนิดมาบดรวมกันแบบเชิงกลโดยไม่ผ่านปฏิกิริยาทางเคมี (ปิยะ, 2538)

1.2 ปุ๋ยเกร็ด (Crystal) คือ ปุ๋ยเคมีที่อยู่ในรูปปุ๋ยเดี่ยวหรือปุ๋ยผสมที่มีความบริสุทธิ์สูงและละลายน้ำได้หมด โดยไม่มีตะกอนในรูปปุ๋ยเดี่ยว (ปุ๋ยเคมีที่มีธาตุอาหารหลักชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงชนิดเดียว) ส่วนใหญ่เม็ดปุ๋ยอยู่ในรูปเดิมที่ได้จากขบวนการผลิตโดยอาจมีหรือไม่มีสารบดหรือการแปรขนาดอีกก็ได้ สำหรับปุ๋ยเกร็ดในรูปปุ๋ยผสมนั้นได้แก่ ปุ๋ยที่มีสูตรและความบริสุทธิ์สูงซึ่งได้จากการนำแม่ปุ๋ยชนิดต่างๆ ที่มีลักษณะเม็ดปุ๋ยเดิมอาจอยู่ในรูปผลึกปุ๋ยเม็ดหรือปุ๋ยอัดเม็ดมาบดใหม่ให้มีขนาดใกล้เคียงกันก่อนหรือหลังการผสม

1.3 ปุ๋ยเม็ด (Granular) คือ ปุ๋ยเคมีที่มีเม็ดปุ๋ยแต่ละเม็ดได้จากการปั้นเม็ดโดยเครื่องปั้นเม็ดประเภทต่างๆ ปุ๋ยเม็ดอาจอยู่ในรูปปุ๋ยเดี่ยว เช่น ปุ๋ยยูเรีย และ

ปุ๋ยเม็ดในรูปผสม เช่น ปุ๋ยผสมสำหรับข้าว สูตร 18-12-6, 16-12-8, และ 16-16-8 เป็นต้น

1.4 ปุ๋ยอัดเม็ด (Pellet) คือ ปุ๋ยเคมีที่มีการผลิตโดยใช้หลักการคล้ายกับปุ๋ยเม็ดแตกต่างกันตรงที่ปุ๋ยอัดเม็ดผลิตโดยการรีดหรือบีบอัด ส่วนผสมของแม่ปุ๋ยหรือแม่ปุ๋ยเดี่ยวโดยเครื่องอัดเม็ดแบบต่างๆ

2. ปุ๋ยเคมีในรูปของเหลวหรือปุ๋ยน้ำ

ปุ๋ยเคมีในรูปของเหลวหรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า “ปุ๋ยน้ำ” สามารถจำแนกตามลักษณะทางกายภาพได้ดังนี้

2.1 ปุ๋ยสารละลาย (Solution type) คือ ปุ๋ยเคมีที่แม่ปุ๋ยซึ่งเป็นตัวถูกละลาย (Solute) ถูกตัวทำละลาย (Solvent) คือน้ำ ละลายจนหมด ได้แก่ ปุ๋ยสารละลายไนโตรเจน (Nitrogen Solution) เช่น ปุ๋ยยูเรีย แอมโมเนียมไนเตรด เป็นต้น

2.2 ปุ๋ยสารละลายแขวนลอย (Suspension type) คือ ปุ๋ยเคมีที่บางส่วนของแม่ปุ๋ยอยู่ในรูปสารละลาย และบางส่วนอยู่ในรูปอนุภาคสารแขวนลอยที่ไม่ละลาย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุบางธาตุในสูตร

2.3 ปุ๋ยน้ำในรูปก๊าซ (Gaseous type) คือ ปุ๋ยเคมีที่อยู่ในรูปก๊าซแต่ถูกอัดด้วยความดันสูงหรือถูกควบคุมด้วยอุณหภูมิระดับหนึ่งจนกลายเป็นของเหลวที่ไม่มีน้ำปนอยู่ เช่น ปุ๋ยแอมไฮดรัสแอมโมเนีย

สมบัติที่สำคัญของปุ๋ยเคมี

1. การเปียกชื้นของปุ๋ยเคมี (Hygroscopicity)

ปุ๋ยเคมีชนิดของแข็งแต่ละชนิดจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 1-3 ไม่มีการจับตัวเป็นก้อนแข็งในขณะที่เก็บรักษาและนำไปใช้ประโยชน์ ปุ๋ยเคมีแต่ละชนิดจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤติเฉพาะ (Critical relative humidity) ซึ่งหมายความว่าปุ๋ยจะดูดความชื้นจากอากาศเข้ามาในตัวปุ๋ย เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศสูงกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤติ แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศต่ำกว่าค่าดังกล่าว ปุ๋ยจะไม่ดูดความชื้นในบรรยากาศเข้ามา ปุ๋ยจะแห้งเป็นปกติ ดังนั้นปุ๋ยที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤติต่ำ ปุ๋ยจะขึ้นง่ายและเปียกแฉะ และเมื่อปุ๋ยแข็งตัวก็จะจับตัวกันเป็นก้อนได้ โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์วิกฤตินี้จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของอากาศ ดังนั้นจึงได้กำหนดค่าวิกฤตินี้ที่ 30 องศาเซลเซียส (มุกดา, 2543) เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น ค่าวิกฤตินี้จะลดลง ซึ่ง

หมายความว่าปุ๋ยนี้จะขึ้นง่ายขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิต่ำลง ค่าวิกฤติจะสูงขึ้น ปุ๋ยก็จะไม่ดูดความชื้นจากอากาศและมีสภาพแห้งเป็นปกติ

2. การจับตัวกันเป็นก้อนแข็งของปุ๋ยเคมี (Caking)

การจับตัวกันเป็นก้อนแข็งของปุ๋ยเคมี เกิดจากการที่ปุ๋ยแต่ละเม็ดหรือแต่ละอนุภาคเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนที่มีขนาดต่างๆ หรือมีขนาดใหญ่ขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยทั่วไปปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนแข็งของปุ๋ยเคมี คือ

- 2.1 การเกิดการตกผลึกแข็งตัวขึ้นใหม่ของสารระเหยเข้มข้น ณ ตรงจุดสัมผัสระหว่างเม็ดปุ๋ยแต่ละเม็ด
- 2.2 ความดันหรือน้ำหนักการกดทับของปุ๋ยเคมีที่เก็บรักษาในกระสอบ
- 2.3 ระยะเวลาการเก็บรักษา
- 2.4 ปัจจัยอื่นๆ เช่น ขนาดและรูปร่างของเม็ดปุ๋ย อนุภาคปุ๋ย องค์ประกอบของตัวปุ๋ย เป็นต้น

3. ดัชนีความเค็มของปุ๋ยเคมี (Salt index)

ดัชนีความเค็มของปุ๋ยเคมี คือ สมบัติเฉพาะตัวของปุ๋ยเคมีเมื่อใส่ลงไปในดินแล้วทำให้สารละลายในดินมีความเข้มข้นที่จะทำให้เกิดความดันแบบออสโมซิส (Osmotic pressure) สูงและจะดึงดูดความชื้นไปจากดินและพืช ซึ่งจะทำให้พืชแห้งและเหี่ยวได้

4. ความถ่วงจำเพาะของปุ๋ยเคมี (Apparent specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะของปุ๋ยเคมีชนิดของแข็งคือ ค่าที่ได้จากน้ำหนักปุ๋ยหารด้วยน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากันที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาฟาเรนไฮต์ มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (มุกดา, 2543) โดยทั่วไปปุ๋ยเคมีชนิดต่างๆ มีค่าความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของเม็ดปุ๋ย

5. ความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยเคมี (Physiological acidity and basicity of fertilizers)

ปุ๋ยแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน เมื่อนำไปใส่ในดินจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในดิน หรือความเป็นกรดเป็นด่างของดินเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ปุ๋ยเคมีที่มีผลตกค้างทำให้ดินเป็นกรดมาก ได้แก่ ปุ๋ยไนโตรเจน ที่อยู่ในรูปแอมโมเนียม ส่วนปุ๋ยเคมีที่มีผลตกค้างเป็นด่าง ได้แก่ ปุ๋ยที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก และปุ๋ยที่ไม่มีผลตกค้างเป็นกรดหรือด่างในดิน ได้แก่ ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ โพแทสเซียมซัลเฟต ซุปเปอร์ฟอสเฟต เป็นต้น

หลักการใส่ปุ๋ยเคมี

การใส่ปุ๋ยเคมีเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพอย่างเต็มที่นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยมากมายและถ้าพิจารณาเกี่ยวกับการใช้กับพืช ผู้ใช้จะต้องพิจารณาหลักเกณฑ์ 5 ประการดังนี้

1. การใส่ชนิดปุ๋ยที่ถูกต้อง

การใส่ปุ๋ยที่ถูกต้อง หมายถึง การใช้โดยพิจารณาจากสูตร อัตราส่วน และรูปของธาตุอาหารในปุ๋ย ซึ่งปุ๋ยเคมีจะมีลักษณะและสมบัติทั้งสามประการนี้แตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงควรเลือกชนิดของปุ๋ยเคมีให้เหมาะสมตามความต้องการของพืช (ขงยุทธ, 2541)

2. การใส่ในปริมาณที่เหมาะสม

การใส่ปุ๋ยจะต้องพิจารณาปริมาณการใช้ต่อพื้นที่อย่างเหมาะสมกับพืชแต่ละชนิดด้วย โดยคำนึงถึงความเหมาะสมทั้งในแง่ของปริมาณที่พืชควรจะได้รับเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุดและเหมาะสมในแง่ของหลักเศรษฐกิจด้วย

3. การใส่ให้กับพืชในระยะที่เหมาะสม

พืชแต่ละชนิดจะมีช่วงระยะเวลาที่ต้องการธาตุอาหารมากที่สุดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุพืช โดยหลักการแล้วมักจะใส่ปุ๋ยเคมี 3 ระยะ คือ ระยะปลูกหรือก่อนปลูกพืชเล็กน้อย ระยะที่พืชกำลังเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และระยะที่พืชกำลังออกดอก

4. การเคลื่อนย้ายของธาตุปุ๋ยเคมีในดิน

เนื่องจากธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปนั้น มีความสามารถในการละลายหรือเคลื่อนย้ายในดินแตกต่างกัน ดังนั้นการใส่ปุ๋ยเคมีในตำแหน่งที่พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด และรวดเร็วที่สุดจึงจำเป็นต้องเข้าใจธรรมชาติของธาตุอาหาร ระบบรากของพืชแต่ละชนิด ตลอดจนชนิดของดินและปริมาณความชื้นในดินด้วย

5. วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี

วิธีการใส่ปุ๋ยเคมีมีวิธีการหลักๆ 4 วิธี ดังนี้

- 5.1 การใส่แบบหว่าน (Broadcasting) เป็นการหว่านปุ๋ยเคมีลงไปในผิวดินให้ทั่วทุกจุดบนแปลงปลูกพืช
- 5.2 การใส่แบบเฉพาะจุดหรือเป็นแถบ (Localized placement) เป็นการใส่ปุ๋ยหรือหยอดปุ๋ยเป็นจุดๆ บริเวณใกล้ต้นพืชหรือโรยเป็นแถบหรือเป็นเส้นตามแถวของพืชโดยหยอดหรือโรยให้ห่างจากต้นพืชหรือเมล็ดที่ปลูกเพียงเล็กน้อย

- 5.3 การใส่แบบฉีดพ่นให้กับพืชโดยทางใบ (Foliar application) เป็นการใส่ปุ๋ยแก่พืชทางใบโดยการฉีดปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ง่ายให้เป็นละอองน้ำจับที่ใบหรือส่วนของพืชที่อยู่เหนือดิน
- 5.4 การใส่ปุ๋ยในระบบชลประทาน (Fertigation) เป็นการใส่ปุ๋ยโดยการละลายปุ๋ยในน้ำ ที่จะให้กับพืช โดยทั้งทางผิวดินหรือเหนือผิวดิน

ปัญหาที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมี

1. ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น
2. ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินเสื่อมลง
3. ทำให้คุณสมบัติทางเคมีของดินเปลี่ยนไป
4. ทำให้บทบาทและกิจกรรมจุลินทรีย์ดินบางชนิดลดลง

ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ หมายถึง สารละลายเข้มข้นที่ได้จากการหมักเศษพืชหรือเศษเนื้อซึ่งจะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ โดยมีกากน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ การหมักมี 2 แบบ คือ หมักแบบต้องการออกซิเจน (หมักแบบเปิดฝา) และหมักแบบไม่ต้องการออกซิเจน (หมักแบบปิดฝา) สารละลายเข้มข้นอาจจะมีสีน้ำตาลเข้มในกรณีที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวหมักหรือมีสีน้ำตาลอ่อนเมื่อใช้น้ำตาลตัวอื่นเป็นตัวหมัก ส่วนจุลินทรีย์ที่พบในปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพมักเป็นกลุ่มแบคทีเรียพวก *Bacillus* sp., *Lactobacillus* sp., *Streptococcus* sp. นอกจากนี้ยังอาจพบเชื้อราพวก *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp., และยีสต์ ได้แก่ *Candida* sp.

ประเภทปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสามารถแบ่งประเภทตามวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตได้ ดังนี้

1. ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากการหมักชิ้นส่วนของพืชผัก ผลไม้
2. ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากการหมักชิ้นส่วนของพืชสมุนไพร เช่น ข่า สะเดา ตะไคร้หอม มะกรูด เป็นต้น
3. ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากการหมักเศษชิ้นส่วนของเนื้อหรือเศษเหลือจากสัตว์ เช่น หอยเชอร์รี่ หัวปลา หางปลา เป็นต้น

คุณสมบัติทั่วไปของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

1. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) จะอยู่ในช่วงระหว่าง 3.5-5.6 ซึ่งจะมีปฏิกิริยาเป็นกรดถึงกรดจัด
2. ค่าของการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity, E.C) อยู่ระหว่าง 2-12 desicemen/meter (ds/m)
3. ค่าความสมบูรณ์ของการหมัก (C:N ratio) มีค่าระหว่าง 1:2 -70:1
4. ปริมาณธาตุอาหาร ผลจากการวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพสูตรต่างๆ โดยกรมวิชาการเกษตร พบว่า
 - 4.1 ในโตรเจน ถ้าใช้พืชหมักจะพบ 0.20-0.50% ถ้าใช้ปลาหมักจะพบประมาณ 1.0-2.0%
 - 4.2 ฟอสฟอรัส ถ้าใช้พืชหมักจะมีตั้งแต่ไม่พบเลยจนถึง 0.4% แต่ถ้าใช้ปลาหมักจะพบสูงกว่า 1%
 - 4.3 โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ 0.1-3.5%
5. ปริมาณฮอร์โมนพืช พบฮอร์โมนพืช 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม Auxin (Indole acetic acid ;IAA), กลุ่ม Gibberillins (Gibberelline acid ;GA3) และกลุ่ม Cytokinins (ZeatinและKinetin) แต่ฮอร์โมนทั้ง 3 กลุ่ม พบในปริมาณน้อยมาก โดยขึ้นอยู่กับ วัตถุดิบที่ใช้ ชนิดของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลาย และความสมบูรณ์ของการหมัก

การผลิตน้ำหมักชีวภาพแบบไม่ต้องการออกซิเจน

นำเศษพืชหรือสัตว์ ที่ยังสดมาบดหรือสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในภาชนะที่มีฝาปิดใส่กากน้ำตาลในอัตรา 1:3 ของน้ำหนักผักหรืออาจเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์เพื่อช่วยในการย่อยสลายปิดฝาทิ้งไว้ประมาณ 7-10 วัน หรืออาจนานเป็นเดือน ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิต ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ได้จะเป็นสารละลายสีน้ำตาล

อัตราการใช้ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

1. พืชผักสวนครัว พืชไร่ ไม้ผลยืนต้น ให้ทางใบ 15-20 ซีซี/น้ำ 20 ลิตร ทุก 5-7 วัน ควควบคุมกับการให้ทางราก 30-50 ซีซี/น้ำ 20 ลิตร ทุก 15-20 วัน
2. ใช้ในการเตรียมดินปลูก หลุมปลูกไม้ผล ใช้ 30-50 ซีซี/น้ำ 20 ลิตร ผสมกับปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักใส่กันหลุม 3-5 กิโลกรัม/หลุม
3. ใช้แทนสารเร่งปุ๋ยหมัก ใช้ 75-100 ซีซี/น้ำ 20 ลิตร พรอมลงบนวัสดุทำปุ๋ยหมัก
4. การบำบัดน้ำเสีย ใช้ 75-100 ซีซี/น้ำ 20 ลิตร สาดให้ทั่วบริเวณน้ำเสียหรือคอกปศุสัตว์เพื่อกำจัดน้ำเสียและลดกลิ่นเหม็น
5. เพิ่มเปอร์เซ็นต์การออกของเมล็ดพันธุ์ ใช้ 15-20 ซีซี/น้ำ 20 ลิตร แช่เมล็ดพันธุ์พอท่วมนาน 12 ชั่วโมงก่อนนำเมล็ดพันธุ์ไปเพาะ

6. ใช้กำจัดวัชพืช (หญ้า) โดยใช้ 100% ราบบริเวณที่ต้องการกำจัดวัชพืช

ข้อควรพิจารณาในการใช้ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

1. การใช้ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพกับพืชบางชนิด เช่น กล้ายไม้ อาจทำให้วัสดุที่ใช้ปลูก เช่น กาบมะพร้าว ผุเร็วกว่าเวลาอันควร
2. การใช้ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพนั้น ในดินควรมีอินทรีย์วัตถุอยู่ เพื่อให้การใช้ประโยชน์จากน้ำหมักชีวภาพ ได้ผลดียิ่งขึ้น
3. ห้ามใช้เกินอัตราที่กำหนดไว้ในคำแนะนำเพราะอาจมีผลทำให้ใบไหม้ได้ เนื่องจากความเป็นกรดและความเค็มของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ
4. ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพมีความเข้มข้นของสารละลายสูงมาก ดังนั้นการใช้กับพืชจึงต้องนำมาเจือจางในอัตราส่วนที่เหมาะสมก่อนใช้

ธาตุไนโตรเจน

ไนโตรเจนในดิน

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก เพราะไนโตรเจนเป็นธาตุที่ช่วยให้พืชสร้างโปรตีนได้อย่างเพียงพอ ซึ่งโปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของกรดอะมิโนเป็นจำนวนมาก และกรดอะมิโนเหล่านี้ก็มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ปัจจุบันพบว่ามีการอะมิโนมากกว่า 20 ชนิด ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในโปรตีนของพืช ไนโตรเจนยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ต่างๆ ซึ่งช่วยเร่งและควบคุมปฏิกิริยาต่างๆ ในต้นพืชให้ดำเนินไปอย่างเป็นปกติ คลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้ใบพืชมีสีเขียว และมีความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงก็มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย นอกจากนี้ยังมีสารประกอบที่สำคัญๆ อีกมากมายในพืชเช่น วิตามิน (Vitamin) และ adenosine triphosphate (ATP) ต่างก็มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยเช่นกัน (ขงยุทธ, 2541)

แหล่งที่มาของไนโตรเจนในดิน

1. การตรึงแก๊สไนโตรเจนจากอากาศโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ร่วมกันกับพืชบางชนิด (Symbiotic nitrogen fixation) เช่นการตรึงแก๊สไนโตรเจนของไรโซเบียม (*Rhizobium*) ที่อาศัยอยู่ที่ปมรากพืชตระกูลถั่ว และ *Actinomyce* sp. กับพืชอื่นที่ไม่ใช่พืชตระกูลถั่ว เป็นต้น เมื่อพืชพวกนี้ตายไป ไนโตรเจนที่ถูกตรึงมาจากอากาศและถูกเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจน (Nitrogenous compound) อื่นๆ ในจุลินทรีย์และพืชก็จะสะสมอยู่ในดิน

2. การตรึงแก๊สไนโตรเจนจากอากาศโดยพวกจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดิน (Non-Symbiotic nitrogen fixation) จุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระนี้ ได้แก่ แบคทีเรียพวก Azotobacter, Clostridium และพวกสาหร่าย (Algae) บางชนิด โดยเฉพาะพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิด เมื่อจุลินทรีย์พวกนี้ตายทับถมลงไป在地 ในดิน ไนโตรเจนก็จะสะสมอยู่ในดินเป็นประโยชน์ต่อพืชต่อไป

3. น้ำฝน (Rain) การเกิดฟ้าแลบ ทำให้แก๊สไนโตรเจน (N_2) ในอากาศถูกออกซิไดส์ให้กลายเป็นไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และไนตริกออกไซด์ (NO) ซึ่งจะละลายในน้ำฝนตกลงมายังผิวดิน

4. การใส่เป็นปุ๋ยให้แก่ดินและพืช ปุ๋ยเคมีซึ่งเป็นสารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้นจากแก๊สไนโตรเจน ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยอินทรีย์ไนโตรเจนอื่นๆ ถือว่าเป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญเช่นกัน

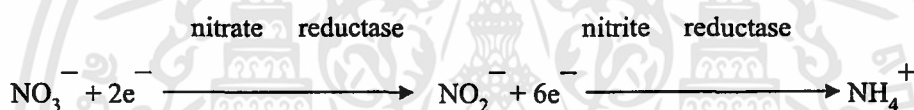
การแปรสภาพของไนโตรเจนในดิน (Nitrogen transformation in soil)

ไนโตรเจนในดินมีการเปลี่ยนรูปอยู่เสมอ จากสารอนินทรีย์เป็นสารอินทรีย์ หรืออยู่ในรูปแก๊ส และมีการเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างสารเหล่านี้ตลอดเวลา โดยมีจุลินทรีย์บางชนิดเข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการการเปลี่ยนรูปนั้นๆ แก๊สไนโตรเจนในบรรยากาศจะรวมตัวกับไฮโดรเจนโดยกระบวนการตรึงไนโตรเจน ซึ่งเกิดโดยกรรมวิธีทางเคมีในโรงงานอุตสาหกรรมหรือโดยการตรึงของ จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนได้ เปลี่ยนไปเป็นสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งพืชนำไปใช้ในการสร้างเซลล์และการเจริญเติบโต เมื่อสัตว์กินพืชก็จะได้รับสารประกอบไนโตรเจนจากพืช ภายหลังที่พืชและสัตว์ตายลงจะเกิดการสลายตัวของซากพืช และซากสัตว์ทำให้มีการปลดปล่อยสารประกอบไนโตรเจนออกมา ซึ่งจะถูกละลายไปเป็นแอมโมเนีย โดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) จุลินทรีย์บางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย (NH_3) แอมโมเนียที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะถูกพืชนำไปใช้ หรือถูกออกซิไดซ์โดยจุลินทรีย์บางชนิดในกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ให้เป็นสารพวกไนเตรต ซึ่งไนเตรตจะละลายน้ำได้ดี พืชสามารถดูดไปใช้ในการเจริญเติบโตและเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียโดยกระบวนการรีดิวส์ไนเตรต (Nitrate reduction) ไนเตรตบางส่วนจะถูกชะล้างลงสู่ดินชั้นล่าง หรือสู่ลำคลอง แม่น้ำ และทะเล ในส่วนที่ไหลลงสู่ลำน้ำนี้อาจเป็นประโยชน์ต่อพืชน้ำ หรืออาจเปลี่ยนรูปไปอีกโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เป็นแก๊สไนโตรเจนหรือไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ส่วนแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ซึ่งมีประจุบวกจะถูกดูดซับโดยอนุภาคดินเหนียว ทำให้ถูกชะล้างไปได้ยาก ในสภาพที่มีการระบายอากาศไม่ดี น้ำขัง อุณหภูมิสูง อาจทำให้แอมโมเนียเปลี่ยนรูปเป็นแก๊ส

ไนโตรเจน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ กลับคืนสู่บรรยากาศได้ ซึ่งกระบวนการต่างๆ ดังกล่าวเหล่านี้ เรียกว่า วัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen Cycle) (ศุภมาส, 2529, สมบุญ, 2535)

ไนเตรตที่พืชดูดขึ้นไปส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการสร้างสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด ส่วนที่เหลือยังเป็น ไนเตรตไอออนสะสมอยู่ในเซลล์พืชนั้น ถ้าสภาพแวดล้อมในดินเหมาะแก่การสะสมไนเตรต พืชจะดูดไนเตรตจากดินเข้าไปมาก และถ้าพืชมีความสามารถในการเปลี่ยนไนเตรตเป็นอินทรีย์สารได้น้อย หรือสภาพแวดล้อมไม่เอื้ออำนวยต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ก็จะมีไนเตรตสะสมอยู่ในพืชมากขึ้น โดยทั่วไปการสะสมไนเตรตในพืชเกิดขึ้นเพียงชั่วคราว และไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อพืชนั้น โดยทั่วไปการสะสมไนเตรตในพืชเกิดขึ้นเพียงชั่วคราว และไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อพืชนั้น โดยที่ปริมาณที่สะสมจะลดลงเมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่

สำหรับขั้นตอนที่ไนเตรตจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียม ซึ่งต่อไปจะเป็นแอมโมเนียในพืชนั้น เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Enzyme) หลายชนิด เช่น ไนเตรตรีดักเทส (Nitrate reductase) และไนไตรตรีดักเทส (Nitrite reductase) (Viets and Hageman, 1971) ดังสมการ



ในกระบวนการดังกล่าว ถ้ากระบวนการรีดักชัน (Reduction) ไนเตรตเกิดขึ้นเร็วกว่ากระบวนการรีดักชันไนไตรต์ จะทำให้ไนไตรต์สะสมในพืชซึ่งไนไตรต์เป็นพิษกับเซลล์พืชมาก (วงจันทร์, 2535) ในทางตรงกันข้ามถ้ากระบวนการรีดักชันของไนเตรตเกิดขึ้นช้า จะทำให้ไนเตรตสะสมในพืชมากขึ้น

การกระจายตัวของไนเตรตในพืช

ปริมาณไนเตรตในพืชไม่สม่ำเสมอทั้งต้น โดยทั่วไปการสะสมจะพบมากที่สุดที่ต้นหรือก้านใบ รองลงไปคือ ราก แผ่นใบ ดอก ผลและเมล็ด ตามลำดับ เช่น Sugar Beet ที่ใช้เลี้ยงสัตว์มีไนเตรตในใบแก่มากกว่าใบอ่อนและก้านใบมีมากกว่าแผ่นใบหลายเท่า พืชชนิดเดียวกันแต่มีอายุต่างกันก็สะสมไนเตรตได้แตกต่างกันด้วย คือเมื่อเป็นกล้าอ่อนจะมีไนเตรตน้อย เมื่อต้นโตขึ้นก็จะสะสมได้มากขึ้น และสูงสุดเมื่อพืชเริ่มออกดอกแล้วจะเริ่มลดลงเมื่อพืชเจริญเต็มวัย ความสัมพันธ์ระหว่างอายุพืชกับการสะสมไนเตรตในเนื้อเยื่ออาจเกี่ยวข้องกับระดับไนโตรเจนในดินด้วย กล่าวคือ ในปลายฤดูปลูกระดับไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินอาจลดลงมากพืชจึงหันมาใช้ไนเตรตที่เคยสะสมไว้เป็นการชดเชย

สำหรับแอมโมเนียมันั้นพืชนำไปสร้างกรดอะมิโนและอินทรีย์สารอื่นๆ ได้โดยตรง ส่วนไนเตรตที่ถูกดูดเข้าไปในพืชจะต้องผ่านขบวนการที่จะรีดิวส์ให้ได้แอมโมเนียเสียก่อนจึงจะใช้ได้ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีเอนไซม์หลายชนิดเข้ามาเกี่ยวข้อง ที่สำคัญคือ Nitrate reductase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ช่วยในปฏิกิริยารีดิวส์ไนเตรตในเนื้อเยื่อพืชให้กลายเป็นไนไตรต์ อย่างไรก็ตามไนเตรตบางส่วนที่ไม่ถูกรีดิวส์ก็จะยังคงอยู่ในเนื้อเยื่อพืช ซึ่งจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้คือ พันธุกรรมของพืช ปริมาณไนเตรตที่พืชได้รับจากดิน สภาพแวดล้อมในขณะที่พืชนั้นเจริญเติบโต อายุของพืช และส่วนของพืช

ความเป็นพิษจากไนเตรตและไนไตรต์

1. พิษโดยตรง คือ การก่อให้เกิดโรคเมทฮีโมโกลบินีเมีย (Methemoglobinemia) ซึ่งเป็นภาวะโรคของเลือดอันเนื่องมาจากฮีโมโกลบิน (Hb) ถูกเปลี่ยนไปเป็นเมทฮีโมโกลบิน (Methemoglobin, MetHb) ซึ่งไม่สามารถนำออกซิเจนได้ ไนโตรเจนในรูปไนไตรต์ (Nitrite) เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิด เมทฮีโมโกลบิน โดยที่เมื่อคนหรือสัตว์ดื่มน้ำที่มีไนเตรตเข้าไป ไนเตรตจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรต์ โดยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในน้ำลายและในกระเพาะที่สามารถรีดิวส์ไนเตรตได้ แบคทีเรียดังกล่าวนี้ไม่ทนกรด สามารถเจริญได้ดีในกระเพาะอาหารของเด็กอ่อนที่อายุไม่เกิน 3 เดือน และในสัตว์สี่กระเพาะ รายงานของผู้ป่วยเป็นโรคดังกล่าวจึงมักพบในกลุ่มเด็กที่มีอายุต่ำกว่า 1 ขวบ ทั้งนี้เนื่องจากเด็กเหล่านี้มีสภาวะเหมาะสมต่อโรคดังกล่าวมาก กล่าวคือกระเพาะยังมีความเป็นกรดไม่สูงมาก โดยทั่วไปจะมีค่าสูงกว่าที่เอช 4 ทำให้แบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ และการดูดซึมน้ำของร่างกายต่อน้ำหนักตัวก็สูงด้วย แบคทีเรียที่เป็นตัวการสามารถพบได้ทั่วไป เช่น แบคทีเรียในวงศ์ Enterobacteriaceae ทุกชนิดสามารถรีดิวส์ไนเตรตได้ ตัวอย่าง เช่น *E. coli* หรือ *B. subtilis* ซึ่งอาศัยอยู่ตามกระเพาะ และลำไส้ตอนบน

ฮีโมโกลบิน ประกอบด้วยส่วนที่เป็นโปรตีน มี subunit ที่ประกอบด้วยโพลีเปปไทด์ (Globin) และ heme group โดยมี Fe^{2+} เป็น center of heme ในรูปของออกซีฮีโมโกลบิน (Oxyhemoglobin) เหล็กจะอยู่ในรูป Fe^{2+} แต่ในสภาพของ MetHb เหล็กจะอยู่ในรูป Fe^{3+} ซึ่งไม่สามารถจับกับ O_2

ชนิดของ Hb ที่สามารถเปลี่ยนเป็น MetHb ได้ง่ายคือ Hb F ซึ่งเป็นชนิดของฮีโมโกลบินที่มีมากในเด็กอ่อนถึง 80% ของ Hb ทั้งหมด และโดยทั่วไป ในร่างกายของมนุษย์จะมี MetHb อยู่ระหว่าง 1% ถึง 2% ซึ่งเป็นระดับปกติ เมื่อระดับ MetHb มีมากกว่า 3% ถือได้ว่าเป็นโรคเมทฮีโมโกลบินีเมีย (สุภมาส, 2540)

เมื่อเด็กได้รับไนเตรตเข้าไปมากจะมีอาการท้องร่วง อาเจียน ตัวเขียว อันเนื่องมาจากการขาดออกซิเจนเพราะฮีโมโกลบินไม่สามารถนำออกซิเจนได้ อาการเช่นนี้จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Blue-Baby syndrome ซึ่งเป็นสภาพร่างกายขาดออกซิเจนโดยทางเคมี (Chemical suffocation)

2. พิษโดยอ้อม คือ การมีศักยภาพในการก่อให้เกิดมะเร็ง โดยไนเตรตที่เปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรต์ในกระเพาะอาหารจะทำปฏิกิริยากับ secondary amine ซึ่งอาจจะได้มาจากการแตกตัวของเนื้อสัตว์ที่กินเข้าไป ทำให้ได้ N-nitroso compound ซึ่งสารประกอบที่เกิดขึ้นนี้สามารถก่อให้เกิดมะเร็งได้ กล่าวคือ ไนโตรซามีนจะถูกเปลี่ยนแปลงด้วยเอนไซม์ พวกออกซิเดทีฟเอนไซม์ (Oxidative enzyme) ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน (Hydroxylation) และทำปฏิกิริยาต่อจนเกิดสารพวกแอลคิลแคทไอออน (Alkyl cation) ซึ่งจะเข้าไปจับกับโมเลกุลของโปรตีนในร่างกาย ที่สำคัญคือ DNA และ RNA ทำให้ขบวนการสร้างโปรตีนผิดปกติและเกิดเป็นเซลล์มะเร็งขึ้น (ลักขณา, 2539) นอกจากนี้ สารก่อมะเร็งบางตัวก็ยังสามารถก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ โดยอาจทำให้เกิดได้ตั้งแต่ทำให้โครโมโซมผิดปกติไปจนถึงการกลายพันธุ์ของยีน สารเหล่านี้ได้แก่ N'-nitro-N'-nitrosomethylguanidine และ N-nitrosomethylurea (ศุภมาส, 2540)

ผลกระทบด้านอื่นๆ ของไนเตรตและไนไตรต์

1. เมื่อพืชได้รับไนเตรตมากเกินไป จะช่วยส่งเสริมให้พืชมีการสะสมโซเดียมในปริมาณที่สูง แต่ลดความสามารถในการดูดซึมโพแทสเซียม ทำให้พืชมีปริมาณมีปริมาณโพแทสเซียมต่ำ
2. การบริโภคพืชผักที่มีปริมาณไนเตรตสูง จะมีผลต่อเมแทบอลิซึมของต่อมไทรอยด์ และยังมีผลต่อปริมาณวิตามินต่างๆ เช่น แครโรทีน (Carotene) วิตามินเอ และวิตามินอี
3. การให้ปุ๋ยไนเตรตที่มากเกินไปจะส่งเสริมให้พืชดูดซึมธาตุโซเดียมในปริมาณที่สูง และมีผลในการยับยั้งการดูดซึมแมกนีเซียม และโพแทสเซียม ทำให้พืชมีปริมาณธาตุทั้งสองต่ำ
4. ปริมาณไนเตรตที่มากเกินไปในพืช จะมีผลต่อกรดอะมิโนที่สำคัญบางชนิดทำให้พืชมีปริมาณกรดอะมิโนดังกล่าวลดลง และยังทำให้กรดอะมิโนบางตัวที่พืชไม่ต้องการมีปริมาณมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้พืชมีการเจริญเติบโตในระยะสร้างต้นสร้างใบ (Vegetative) มากเกินไป ทำให้อวบน้ำจืดอ่อนแอต่อโรคและแมลง (ศุภมาส, 2540)

5. เมื่อพืชได้รับปริมาณธาตุไนเตรตมากเกินไปจะทำให้พืชมีปริมาณวิตามินซีลดลง

การที่ไนเตรตสามารถถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรต์ที่เป็นพิษต่อร่างกายได้ กระทรวงสาธารณสุข จึงได้มีประกาศกำหนดปริมาณไนเตรตในอาหารว่าไม่ควรสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนไนไตรต์นั้น เนื่องจากตัวมันเองเป็นพิษต่อร่างกายโดยตรง ระดับปริมาณไนไตรต์ในอาหารจึงถูกกำหนดให้ไม่เกิน 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าระดับของไนเตรต (สำนักงานคณะกรรมการ

กุ่มครองผู้บริโภคน, 2535) และคำมาตรฐาน European Commission Regulation (EC) No. 194/97 ซึ่งระบุว่าในผักสีเขียวจำพวก lettuce ให้มีไนเตรตได้ไม่เกิน 4,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และ spinach ได้ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด

เครื่องวัดการดูดแสง (Spectrophotometer หรือ Spectrometer)

เครื่องวัดการดูดแสง หรือ Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่นช่วงต่างๆ เครื่องวัดการดูดกลืนแสงมีหลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความละเอียดและช่วงความยาวแสงที่ใช้ (กฤษฎา, 2521)

หลักการทํางานของเครื่องวัดการดูดแสง

เมื่อผ่านลำแสงเข้าไปในเซลล์ที่บรรจุสารละลายจะเกิดการดูดกลืนแสงเป็นบางส่วนและพลังงานของแสงก็จะสูญเสียให้แก่สารละลายไปเป็นบางส่วน พลังงานของแสงที่ถูกถ่ายเทให้กับสารซึ่งถูกแสงผ่านจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุลของสารนั้น และขึ้นอยู่กับช่วงคลื่นของลำแสงที่ผ่านด้วย

ส่วนประกอบของเครื่องดูดกลืนแสง

1. แหล่งกำเนิดพลังงานแสง (Radiation source) แบ่งเป็นหลอดไฮโดรเจน (Hydrogen lamp) ซึ่งให้แสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet light) และหลอดทังสเตน (Tungsten lamp) จะให้แสงวิสิเบิล (Visible light)
2. หน่วยจำแนกช่วงคลื่นของแสง (Monochromator) ประกอบด้วยปริซึม (Prism) หรือเกรตติ้ง (Grating) ในบางชนิดอาจใช้แผ่นแก้วกรองแสง (Glass filter)
3. เซลล์สำหรับใส่สารละลาย (Absorption cell หรือ Cuvette)
4. เครื่องตรวจวัด (Detector) ใช้ Photocell

ประเภทของเครื่องวัดการดูดแสง

1. เครื่องวัดการดูดแสงชนิดลำแสงเดี่ยว (Single Beam Spectrophotometer)

เครื่องวัดดูดแสงชนิดลำแสงเดี่ยวเป็นเครื่องวัดการดูดแสงที่ธรรมดาที่สุด เมื่อลำแสงออกจากแหล่งกำเนิดแสงจะผ่านเข้าหน่วยจำแนกช่วงคลื่นของแสง ซึ่งจะควบคุมลำแสงให้พอเหมาะด้วยสลิต (Slit) หลังจากแยกช่วงคลื่นของแสงที่ต้องการออกมาแล้ว แสงจะตรงผ่านไปที่เซลล์ของสารละลาย ลำแสงของเซลล์ก็จะไปกระทบกับผนังของโฟโตเซลล์ ทำให้เกิดอิเล็กตรอนหลุดออก

มา สเกลที่หน่วยตรวจวัดจะบอกในหน่วยทรานสมิตแตนซ์ (Transmittance) และแอบซอร์เบแนนซ์ (Absorbance) ในการใช้เครื่องมือชนิดนี้จะต้องดำเนินการให้เครื่องมืออ่าน 100 เปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแตนซ์ก่อน โดยใช้สารที่เป็นตัวทำละลาย เช่น น้ำกลั่น ใส่เซลล์แล้วไปวางกันแสง หลังจากนั้นจึงนำเซลล์ที่บรรจุสารละลายของสารที่ต้องการวิเคราะห์ไปวัดแอบซอร์เบแนนซ์

2. เครื่องวัดการดูดแสงชนิดลำแสงคู่ (Double Beam Spectrophotometer)

เครื่องวัดการดูดแสงชนิดลำแสงคู่ถูกดัดแปลงให้มีการวัดแอบซอร์เบแนนซ์ที่มีความแม่นยำดีขึ้น ผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสง (Fluctuations) ซึ่งมักจะเกิดขึ้นในเครื่องวัดการดูดแสงชนิดลำแสงเดี่ยวได้ถูกกำจัดโดยสิ้นเชิงในเครื่องวัดการดูดแสงชนิดลำแสงคู่ ในเครื่องมือชนิดนี้เซลล์ของสารละลายเบลงค์และเซลล์ของสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์จะถูกวัดพร้อมกัน

การวัดแอบซอร์เบแนนซ์ของสารละลายเบลงค์ (Blank solution)

แอบซอร์เบแนนซ์ของสารละลายจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่มีสีในสารละลาย ถ้าให้ความยาวของเซลล์คงที่ ในทางปฏิบัติค่าแอบซอร์เบแนนซ์ของสารละลายที่วัดได้จะรวมถึงปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนโดยสารรีเอเจนต์ที่เหลือหลังจากปฏิกิริยาและรวมถึงปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนโดยสารที่เป็นตัวทำละลาย รวมทั้งปริมาณของแสงที่หักเหหายไปอันเนื่องจากการกระทบกับผนังเซลล์ เพื่อป้องกันผลเสียที่เกิดขึ้นดังกล่าวจึงต้องทำการวัดสารละลายเบลงค์ ถ้าเซลล์ที่ใส่สารละลายเบลงค์และเซลล์ที่ใส่สารละลายเหมือนกัน สารละลายเบลงค์เป็นสารละลายที่ประกอบด้วยตัวทำละลายและสารละลายรีเอเจนต์ต่างๆ ที่ยังไม่ใส่สารที่เราต้องการวิเคราะห์ลงไป แอบซอร์เบแนนซ์ ที่ได้จากสารละลายเบลงค์นี้นำไปลบออกจากค่าแอบซอร์เบแนนซ์ของสารละลายที่วิเคราะห์ ผลที่ได้จะเป็นค่าแอบซอร์เบแนนซ์ของสารที่มีสีที่มีสารที่ต้องการวิเคราะห์เป็นองค์ประกอบ

การเขียนกราฟมาตรฐาน (Standard curve)

กราฟมาตรฐานระหว่างค่าแอบซอร์เบแนนซ์และความเข้มข้นของสารส่วนมากจะต้องทำขึ้นสำหรับใช้ในการหาความเข้มข้นของสารในสารตัวอย่าง โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและค่าแอบซอร์เบแนนซ์จะเป็นเส้นตรง

ประโยชน์ของเครื่องวัดการดูดแสง

1. ใช้วิเคราะห์หาปริมาณของสารในสารละลายได้
2. ใช้วิเคราะห์สารและศึกษาสมบัติของสารละลายในการดูดแสง เช่น ใช้ในการทำสเปกตรัม และทดสอบความบริสุทธิ์ของสาร เป็นต้น
3. ใช้ศึกษาจลนศาสตร์ของเอนไซม์ได้ ถ้าตัวทำปฏิกิริยามีสมบัติในการดูดแสงต่างจากผลของปฏิกิริยา



97089

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์และสารเคมี

1. อุปกรณ์ในการปลูกผัก

- ถุงดำสำหรับปลูกพืชขนาด 10×10 นิ้ว
- ดิน ตราสิดา
- ปุ๋ยเคมี ตราไนโปเฟต สูตร 15-15-15
- ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ตรา EM ของบริษัท อี เอ็ม คิวเซ จำกัด
- เมล็ดพันธุ์ผักคะน้า (คะน้าใบ) ของบริษัท เจียไต๋ จำกัด
- สารสกัดสะเดา ชนิดน้ำ
- เครื่องมือและอุปกรณ์ทางการเกษตร เช่น ช้อนพรวน บัวรดน้ำ เป็นต้น

2. อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

- เครื่องปั่น (Blender)
- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Balance)
- เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ MILTON ROY รุ่น Genesis II
- เครื่อง Vortex mixer
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- ตู้อบ (Hot air oven)
- แท่งแก้ว (Stirring rod)
- กรวยแก้ว (Funnel)
- บีกเกอร์ (Beaker)
- กระจวูล (Glass wool)
- หลอดทดลอง (Test tube)
- ขาตั้ง (Stand)
- ปิเปต (Pipette)
- กระดาษกรองเบอร์ 42 (Filter paper)
- Aluminium foil
- ขวดรูปชมพู่ (Conical flask)
- ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
- ขวดสีชา (Amber bottle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์และสารเคมี

1. อุปกรณ์ในการปลูกผัก

- ถุงดำหรับปลูกพืชขนาด 10×10 นิ้ว
- ดิน ตราสิดา
- ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15
- ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ตรา EM ของบริษัท อี เอ็ม คิวเซ จำกัด
- เมล็ดพันธุ์ผักคะน้า (คะน้าใบ) ของบริษัท เจียใต้ จำกัด
- สารสกัดสะเดา ชนิดน้ำ
- เครื่องมือและอุปกรณ์ทางการเกษตร เช่น ซ้อนพรวน บัวรดน้ำ เป็นต้น

2. อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

- เครื่องปั่น (Blender)
- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Balance)
- เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ MILTON ROY รุ่น Genesis II
- เครื่อง Vortex mixer
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- ตู้อบ (Hot air oven)
- แท่งแก้ว (Stirring rod)
- กรวยแก้ว (Funnel)
- บีกเกอร์ (Beaker)
- กระจวูล (Glass wool)
- หลอดทดลอง (Test tube)
- ขาตั้ง (Stand)
- ปิเปต (Pipette)
- กระดาษกรองเบอร์ 42 (Filter paper)
- Aluminium foil
- ขวดรูปชมพู่ (Conical flask)
- ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
- ขวดสีชา (Amber bottle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารเคมี

- Activated carbon
- Distilled water
- Hydrochloric acid (HCl)
- N-1-naphthyl ethylene diamine dihydrochloride
- Potassium nitrate (KNO₃)
- Salicylic acid
- Sodium hydroxide (NaOH)
- Sodium nitrite (NaNO₂)
- Salfanilamide
- Sulfuric acid (H₂SO₄)

วิธีการ

1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) มี 4 วิธีการ ดังนี้

วิธีการที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย

วิธีการที่ 2 ใช้ปุ๋ยเคมี

วิธีการที่ 3 ใช้ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

วิธีการที่ 4 ใช้ปุ๋ยเคมีสลับกับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

2. สถานที่ทำการทดลอง

พื้นที่ด้านหน้าโรงเรียนเพาะชำของภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช ซึ่งอยู่ภายในบริเวณของคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3. ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทำการทดลอง โดยการปลูกผักคะน้าในวันที่ 27 ตุลาคม 2545 – 23 ธันวาคม 2545

4. วิธีการปลูกผักคะน้า

วันที่ 27 ตุลาคม 2545 ทำการปลูกผักคะน้าในแปลงทดลองจำนวน 4 แปลง โดยเริ่มจากการทำความสะอาดรอบๆแปลงทดลอง แล้วบรรจุดินร่วนลงในถุงดำขนาด 10×10 นิ้ว จนเกือบเต็มและเกลี่ยหน้าดินให้เรียบเสมอกัน แล้วจัดวางถุงดำในแต่ละแปลงจำนวน 6 แถว แถวละ 15 ถุง ทำการหยอดเมล็ดพันธุ์ผักคะน้าลงดินในถุงดำที่เตรียมไว้ถุงละ 3-5 เมล็ด แล้วกลบดินให้หนาประมาณ 0.5 ซม. รดน้ำให้ทั่วทุกแปลง

1.1 การปฏิบัติดูแลรักษา

- รดน้ำวันละ 2 ครั้ง (เช้า-เย็น)
- กำจัดวัชพืชโดยการถอนทิ้ง
- กำจัดแมลงศัตรูรบกวนโดยการเก็บทำลายและฉีดพ่นด้วยสารสกัดสะเดาชนิดน้ำ

1.2 การถอนแยกต้นกล้า

ทำการถอนแยกต้นกล้าเมื่อต้นกล้ามีอายุได้ 15 วัน (วันที่ 10 พฤศจิกายน 2545)
ให้เหลืออยู่ละ 1 ต้น

1.3 การใส่ปุ๋ย

ใส่ปุ๋ยครั้งแรกเมื่อผักคะน้ามีอายุ 7 วัน หลังจากแยกปลูก (วันที่ 16 พฤศจิกายน 2545) หลังจากนั้นทำการใส่ปุ๋ยทุกๆ 7 วัน และใส่ปุ๋ยครั้งสุดท้ายเมื่อผักอายุได้ 43 วัน (วันที่ 21 ธันวาคม 2545)

1.4 อัตราการใส่ปุ๋ย

- ปุ๋ยเคมี ตราไนโปเฟด สูตร 15-15-15 ใช้ในอัตรา 40 กรัม/น้ำ 1000 ซีซี/1 ครั้ง
- ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ตรา EM ของบริษัท อี เอ็ม คิวเซ จำกัด ใช้ในอัตรา 1 ฝา/น้ำ 10 ลิตร/1 ครั้ง

5. การสุ่มเก็บตัวอย่าง

สุ่มเก็บตัวอย่างผักคะน้าหลังจากใส่ปุ๋ยครั้งสุดท้าย 2 วัน (วันที่ 23 ธันวาคม 2545) นำมาซึ่งหาผลผลิต แล้วนำผักคะน้ามาทำการสกัดสารเพื่อตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไนเตรตและไนไตรต์

6. การเตรียม Reagent และสารละลายมาตรฐาน

6.1 การเตรียม Reagent

- NED reagent : ละลาย N-1-naphthyl ethylene diamine dihydrochloride 0.3 กรัม ใน 0.12 N HCl 100 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดสีชา
- Sulfanilamide reagent : ละลาย sulfanilamide 0.5 กรัม ใน 2.4 N HCl 100 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดสีชา
- Salicylic acid : ละลาย salicylic acid 5 กรัม ใน H₂SO₄ เข้มข้น จำนวน 95 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดสีชา
- Sodium hydroxide 4M : ละลาย NaOH 160 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

หมายเหตุ : Reagent ทุกตัวต้องเก็บไว้ในขวดสีชา (Amber bottle) แล้วแช่เย็นที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

6.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรต (NaNO_3)

- Stock solution : ละลาย NaNO_3 ที่ผ่านการอบแล้ว จำนวน 1 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร เก็บไว้ใน volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จะได้ stock solution NaNO_3 เข้มข้น 1,000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร
- Intermediate solution : pipette stock solution จำนวน 25 มิลลิลิตร ใส่ใน volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนครบ 250 มิลลิลิตร จะได้ intermediate solution เข้มข้น 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร
- Working solution : pipette intermediate solution จำนวน 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5, 7.5, และ 8.5 มิลลิลิตร ใส่ใน volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร ขวดละความ เข้มข้น ปรับปริมาตรแต่ละขวดด้วยน้ำกลั่นจนครบ 50 มิลลิลิตร จะได้ working solution เข้มข้น 5, 7, 9, 11, 13, 15, และ 17 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

6.3 สารละลายมาตรฐานไนไตรต์ (NaNO_2)

- Stock solution : ละลาย NaNO_2 ที่ผ่านการอบแล้ว จำนวน 1 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร เก็บไว้ใน volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จะได้ stock solution NaNO_2 เข้มข้น 1,000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร
- Intermediate solution : pipette stock solution จำนวน 50 มิลลิลิตร ใส่ใน volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร จะได้ intermediate solution เข้มข้น 50 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร
- Working solution : pipette intermediate solution จำนวน 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, และ 0.7 มิลลิลิตร ใส่ใน volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร ขวดละความ เข้มข้น ปรับปริมาตรแต่ละขวดด้วยน้ำกลั่นจนครบ 50 มิลลิลิตร จะได้ working solution เข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, และ 0.7 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

7. การสร้าง standard curve ของไนเตรตและไนไตรต์

7.1 การสร้าง standard curve ของไนเตรต

- ปิเปต working standard solution NaNO_3 เข้มข้น 5, 7, 9, 11, 13, 15, และ 17 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร อย่างละ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองหลอดละความ เข้มข้นเดิม 5% Salicylic acid จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer แล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที

- เติมน้ำ 4M NaOH จำนวน 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer แล้วตั้งทิ้งไว้ 20 นาที
- นำไปวัดค่า absorbance แล้วสร้าง standard curve จากค่า absorbance และค่าความเข้มข้น ของสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้น โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 410 nm

7.2 การสร้าง standard curve ของไนไตรต์

- บีเปิด working standard solution NaNO_2 เข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, และ 0.7 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร อย่างละ 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองหลอดละ ความเข้มข้น
- เติมน้ำ Sulfanilamide reagent จำนวน 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer แล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที
- เติมน้ำ N-1-naphthyl ethylene diamine dihydrochloride จำนวน 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer
- นำไปวัดค่า absorbance แล้วสร้าง Standard curve จากค่า absorbance และค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้น โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 nm

8. วิธีการตรวจวิเคราะห์

8.1 วิธีการสกัดแยกไนเตรตและไนไตรต์จากผักคะน้า

- หั่นผักคะน้าเป็นชิ้นเล็กๆแล้วชั่งให้ได้ 10 ± 0.5 กรัม ใส่ในโถปั่น
- เติมน้ำกลั่นในโถปั่นจำนวน 50 มิลลิลิตร แล้วปั่นผักให้ละเอียด
- เทผักที่ปั่นละเอียดแล้วลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นอีก 150 มิลลิลิตร แล้วนำไปตั้งบน water bath ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง พร้อมทั้งคนด้วยแท่งแก้วเป็นระยะ
- ยกออกจาก water bath แล้วคนด้วยแท่งแก้วอีกประมาณ 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 200 มิลลิลิตร กรองผ่านใยแก้ว (Glass wool)
- นำสารละลายที่ได้มาเติมผงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซึ่งผ่านการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมงแล้ว จำนวน 1.5 กรัม คนด้วยแท่งแก้วนาน 5 นาที
- กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 จะได้สารละลายที่ใส

- นำสารละลายที่กรองได้ไปพัฒนาสีแล้วตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง spectrophotometer

8.2 การพัฒนาสีและการวิเคราะห์หาปริมาณ

8.2.1 การพัฒนาสีและการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรต

- ปิเปตสารละลายที่สกัดได้จากผักตัวอย่างจำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง (Test tube)
- เติม 5% Salicylic acid จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer แล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที
- เติม 4M NaOH จำนวน 10 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer แล้วตั้งทิ้งไว้ 20 นาที
- นำไปวัดค่า absorbance และหาปริมาณความเข้มข้นจาก standard curve โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 410 nm

8.2.2 การพัฒนาสีและการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรต์

- ปิเปตสารละลายที่สกัดได้จากผักตัวอย่างจำนวน 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง (Test tube)
- เติม Sulfanilamide reagent จำนวน 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer แล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที
- เติม N-1-naphthyl ethylene diamine dihydrochloride จำนวน 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer แล้วตั้งทิ้งไว้ 20 นาที
- นำไปวัดค่า absorbance และหาปริมาณความเข้มข้นจาก standard curve โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 nm

9. การคำนวณปริมาณไนเตรตและไนไตรต์ทั้งหมดจากการสกัดตัวอย่างผัก

นำค่าความเข้มข้นของไนเตรตและไนไตรต์ ที่ได้จากเครื่อง spectrophotometer มาทำการคำนวณหาปริมาณการตกค้างดังนี้

$$N = \frac{xa}{mv}$$

หมายเหตุ

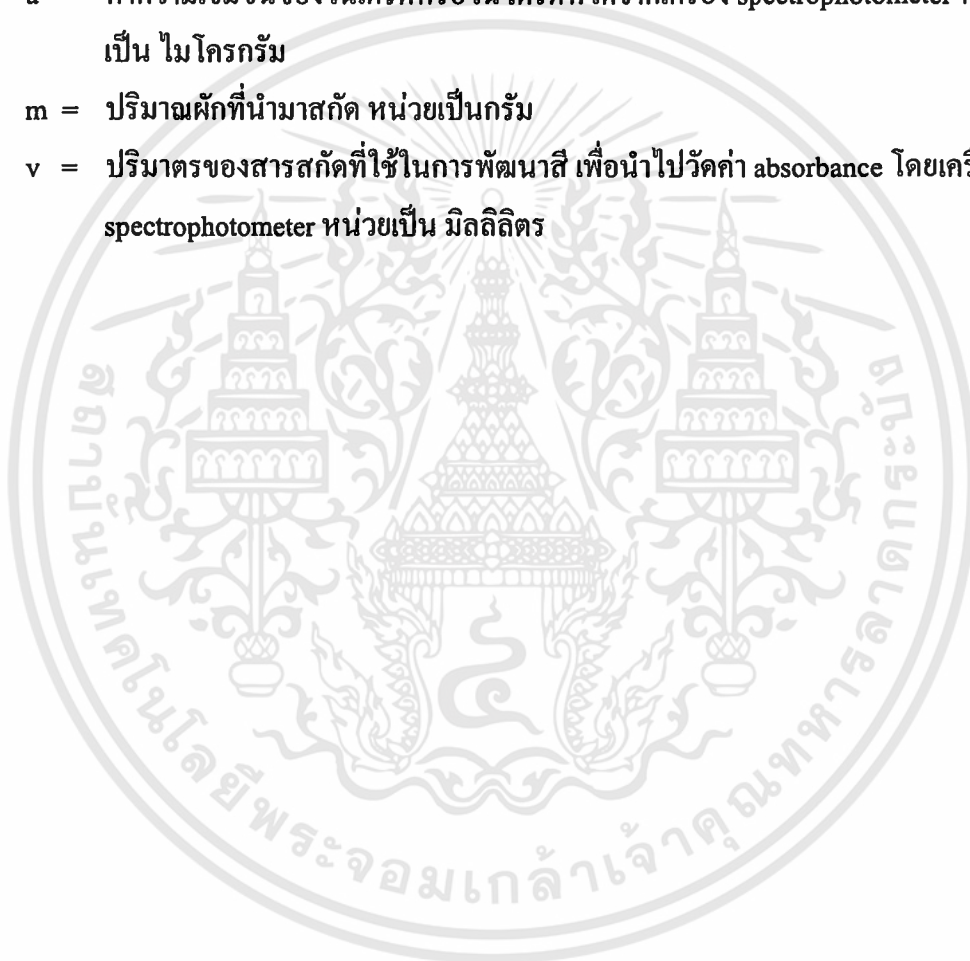
N = ปริมาณไนเตรตหรือไนไตรต์ หน่วยเป็น ไมโครกรัม/กรัม

x = ปริมาณน้ำกลั่นทั้งหมดที่ใช้สกัด หน่วยเป็นมิลลิลิตร

a = ค่าความเข้มข้นของไนเตรตหรือไนไตรต์ที่ได้จากเครื่อง spectrophotometer หน่วยเป็น ไมโครกรัม

m = ปริมาณผักที่นำมาสกัด หน่วยเป็นกรัม

v = ปริมาตรของสารสกัดที่ใช้ในการพัฒนาสี เพื่อนำไปวัดค่า absorbance โดยเครื่อง spectrophotometer หน่วยเป็น มิลลิลิตร



ผลการทดลอง

การศึกษาปริมาณไนเตรต (NO_3^-) และไนไตรต์ (NO_2^-) ในผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ พบว่าในผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ มีปริมาณไนเตรต 464.66, 5313.36, 61.97 และ 1947.49 มก./กก. ตามลำดับ มีปริมาณไนไตรต์ 10.43, 4.48, 1.81 และ 5.94 มก./กก. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 1 และ 2 เมื่อนำข้อมูลปริมาณไนเตรตและไนไตรต์ไปวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติพบว่า ปริมาณไนเตรตในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีความแตกต่างกับปริมาณไนเตรตของผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ไม่ใส่ปุ๋ย และปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ $P = 0.01$ ปริมาณไนเตรตในผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย แตกต่างกับปริมาณไนเตรตในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่แตกต่างอย่างมีนัยยิ่งสำคัญทางสถิติกับปริมาณไนเตรตในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่ระดับ $P = 0.01$ สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไนไตรต์ พบว่าปริมาณไนไตรต์ในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับปริมาณไนไตรต์ในผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ แต่ปริมาณไนไตรต์ของผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีความแตกต่างกับปริมาณไนไตรต์ของผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ $P = 0.01$

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตของผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ พบว่าผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตสูงสุด รองลงมาคือผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ไม่ใส่ปุ๋ย และใส่ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ตามลำดับ โดยมีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 5.96, 5.56, 1.40 และ 0.93 กก./แปลง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 3 เมื่อนำปริมาณผลผลิตไปวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติพบว่า ปริมาณผลผลิตของผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ $P = 0.01$

ตารางที่ 1 ปริมาณไนเตรต (NO_3^-) และไนไตรต์ (NO_2^-) ในผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

ปุ๋ย	ปริมาณ (มก./กก.)	
	ไนเตรต	ไนไตรต์
ไม่ใส่ปุ๋ย	464.66c	10.43a
ปุ๋ยเคมี	5313.36a	4.48b
ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	61.97c	1.81b
ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	1947.49b	5.94ab

ค่าที่กำกับตัวอักษรเดียวกันในแนวดิ่ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

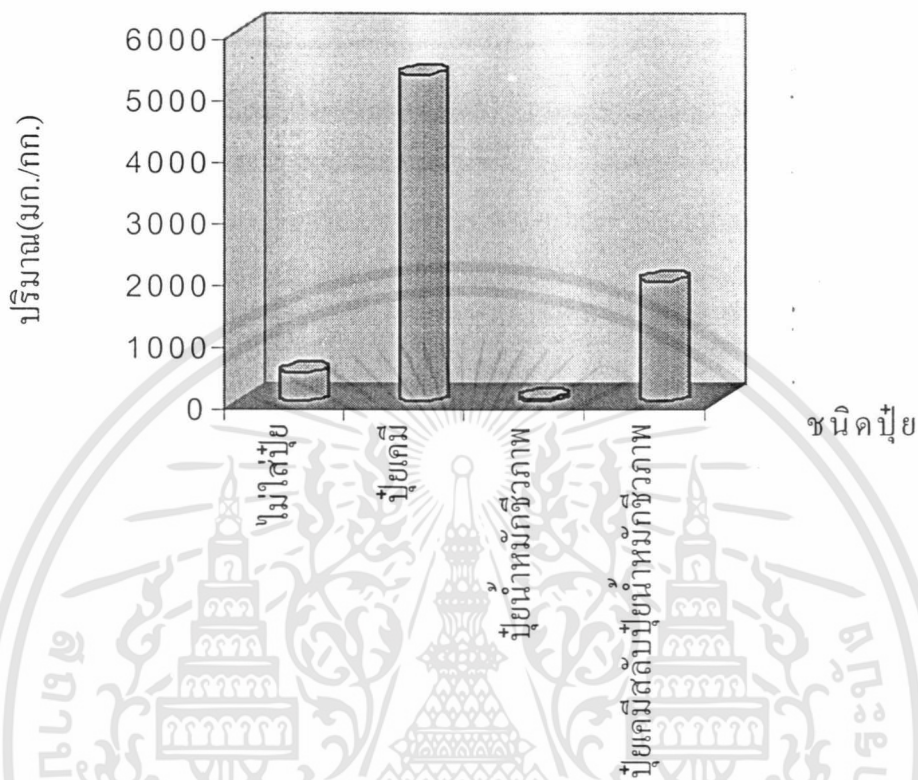
ค่าที่กำกับตัวอักษรต่างกันแนวดิ่ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P = 0.01$

ตารางที่ 2 ปริมาณผลผลิต (กก./แปลง) ของผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

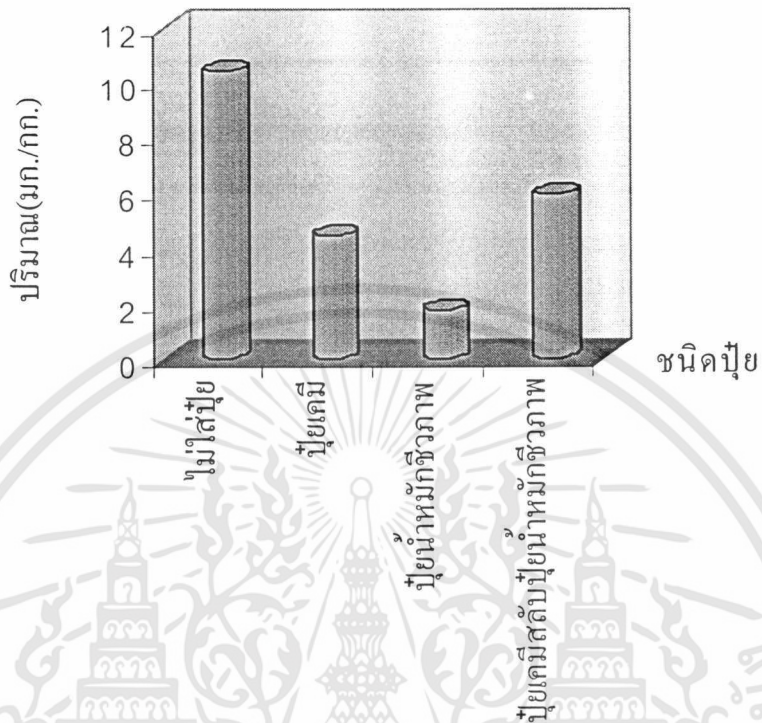
ปุ๋ย	ปริมาณ(กก./แปลง)
ไม่ใส่ปุ๋ย	1.4c
ปุ๋ยเคมี	5.96a
ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	0.93d
ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	5.57b

ค่าที่กำกับตัวอักษรเดียวกันในแนวดิ่ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

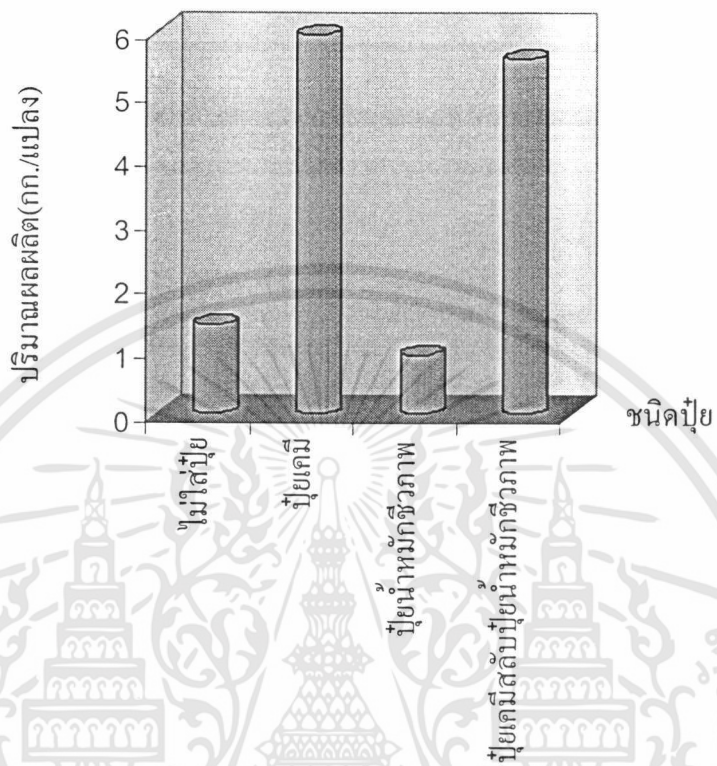
ค่าที่กำกับตัวอักษรต่างกันแนวดิ่ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P = 0.01$



รูปที่ 1 ปริมาณไนเตรต (NO₃⁻) ในผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ



รูปที่ 2 ปริมาณไนไตรต์ (NO_2^-) ในผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ



รูปที่ 3 ปริมาณผลผลิต (กก./แปลง) ของผักกระน้ำที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ



รูปที่ 4 ผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย



รูปที่ 5 ผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยคอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 ผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ



รูปที่ 7 ผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่า ปริมาณไนเตรตในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยชนิดต่างๆ มีปริมาณสูงกว่าปริมาณไนโตรเจนมาก โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Walker (1990) ซึ่งได้วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของไนเตรตและไนโตรเจนในผักต่างๆ พบว่าผักที่มีปริมาณไนเตรตสูงได้แก่ ผักกาดหอม (Lettuce) ปวยเล้ง (Spinach) คื่นช่าย (Celery) และคะน้า (Chinese Kale) โดยมีปริมาณไนเตรตสูงมากกว่า 1,000 มก./กก. คือ 2,330 2,470 3,151 และ 1,096 มก./กก. ตามลำดับ และมีปริมาณไนโตรเจนที่ตรวจพบคือ 0.6 3.8 0.8 และ 1.5 มก./กก. ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณไนเตรตในผักคะน้าจากการทดลองครั้งนี้สูงกว่าของ Walker (1990) มาก อาจเนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยในปริมาณมากและทำการทดลองในถุงดำซึ่งไนเตรตจะไม่ถูกชะล้างสูญหายไปและจะยังคงอยู่ในถุงดำตลอดเวลาทำให้พืชได้รับปุ๋ยเต็มที่ ไม่เหมือนการปลูกในแปลงตามปกติซึ่งไนเตรตอาจถูกชะล้างลงไปดินชั้นล่างลึกเกินกว่ารากพืชจะดูดมาใช้ได้ และจากการศึกษาครั้งนี้ยังพบว่า ปริมาณของไนเตรตในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณสูงสุด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปุ๋ยเคมีที่ใส่ประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นที่พืชต้องการและพืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที ดังนั้นพืชจึงดูดไนเตรตไปจากดินในอัตราที่เร็วกว่าการใช้ไนเตรตของพืชจึงทำให้มีการสะสมไนเตรตในเนื้อเยื่อพืชในปริมาณที่มากกว่าผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยชนิดอื่นๆ

จากรายงานของ นิรนาม (2545) ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพส่วนใหญ่มีความเป็นกรดจัด คือมี pH อยู่ระหว่าง 3.5-5.6 และค่า C:N ratio ค่อนข้างสูงคือมีปริมาณไนโตรเจนต่ำ ทำให้พืชแสดงอาการใบเหลืองเนื่องจากขาดธาตุไนโตรเจน ซึ่งอาจเป็นผลให้มีไนเตรตและไนโตรเจนสะสมอยู่ในเซลล์พืชได้น้อย ผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจึงมีปริมาณไนเตรตและไนโตรเจนน้อยกว่าผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยชนิดอื่นๆ

สำหรับปริมาณไนโตรเจนในผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ยซึ่งมีปริมาณสูงกว่าผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยอื่นๆ นั้น อาจเนื่องมาจากมีกระบวนการรีดักชันไนเตรตเกิดขึ้นเร็วกว่าการรีดักชันไนโตรเจน ทำให้มีไนโตรเจนสะสมในผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ยสูงกว่าผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยอื่นๆ ซึ่งในกระบวนการที่ไนเตรตจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียม ถ้ากระบวนการรีดักชันไนเตรตเกิดขึ้นเร็วกว่ากระบวนการรีดักชันไนโตรเจน จะทำให้ไนโตรเจนสะสมในพืชซึ่งไนโตรเจนเป็นพิษกับเซลล์พืชมาก ในทางตรงข้ามถ้ากระบวนการรีดักชันของไนเตรตเกิดขึ้น จะทำให้ไนเตรตสะสมในพืชมากขึ้น (วงจันทร์, 2535)

สรุปและข้อเสนอแนะ

ผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีปริมาณไนเตรตสูงกว่าผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ไม่ใส่ปุ๋ย และปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ $P = 0.01$ ปริมาณไนเตรตในผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ยสูงกว่าผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ต่ำกว่าปริมาณไนเตรตในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีปริมาณไนไตรต์สูงกว่าผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ $P = 0.01$ ในขณะที่ผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพมีปริมาณไนไตรต์แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ $P = 0.01$ เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิตของผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และไม่ใส่ปุ๋ย พบว่าผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดและไม่ใส่ปุ๋ยมีปริมาณผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ $P = 0.01$ โดยที่ผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณผลผลิตสูงสุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

จากผลการศึกษาปริมาณการตกค้างของไนเตรตและไนไตรต์ในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และไม่ใส่ปุ๋ย พบว่าผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณไนเตรตสูงสุดและผักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีปริมาณไนไตรต์สูงสุด ผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายจากไนเตรตสูงกว่าผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยอื่นๆ เพราะผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณไนเตรตสูงกว่าค่ามาตรฐาน European Commission Regulation (EC) No. 194/97 ซึ่งระบุว่าในผักสีเขียวจำพวกผักกาดหอม (Lettuce) ให้มีไนเตรตได้ไม่เกิน 4,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และปวยเล้ง (Spinach) ได้ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจะปลอดภัยกว่าผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยอื่นๆ เพราะมีปริมาณไนเตรตและไนไตรต์ต่ำสุด อย่างไรก็ตามแม้ผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีจะมีปริมาณไนเตรตสูงสุดแต่ในด้านปริมาณผลผลิตแล้วผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีก็ให้ปริมาณผลผลิตสูงเช่นกัน ส่วนผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพจะให้ปริมาณผลผลิตต่ำสุด ผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพให้ผลผลิตสูงกว่าปุ๋ยชนิดอื่น ยกเว้นผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี แต่ปริมาณไนเตรตและไนไตรต์ในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพต่ำกว่าปริมาณไนเตรตและไนไตรต์ในผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมี ดังนั้นการปลูกผักคะน้าโดยการใส่ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ จะให้ผลผลิตสูงและลดความเสี่ยงอันตรายจากไนเตรตและไนไตรต์กว่าผักคะน้าที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว สำหรับผู้ที่คำนึงถึงเฉพาะความปลอดภัยจากอันตรายของไนเตรต

และไนไตรต์โดยไม่คำนึงถึงปริมาณผลผลิต และลักษณะทางกายภาพของผักคะน้าแล้ว ควรเลือกใช้ ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพเพียงอย่างเดียวเพราะมีปริมาณไนเตรตและไนไตรต์น้อยที่สุด

แม้ว่าไนเตรตและไนไตรต์จะมีศักยภาพในการก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ทั้งโดยทางตรง และทางอ้อมก็ตาม แต่ไนเตรตและไนไตรต์ก็เป็นสารพิษที่มีความเป็นพิษอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่ง จะก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันได้น้อย และไนเตรตก็สามารถถูกกำจัดออกจากร่างกายได้โดยทาง ปัสสาวะ นอกจากนี้ในผักโดยทั่วไปก็จะมีวิตามินซี และวิตามินอี ซึ่งเป็นสารยับยั้งการสร้างสาร ไนโตรซามีนที่เป็นสารก่อมะเร็ง การบริโภคผักจึงมีความเสี่ยงจากการเป็นมะเร็งน้อยกว่าการ บริโภคอาหารพวกเคียวมีต (Cured meat) เช่น ไส้กรอก เบคอน แฮม ฯลฯ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กองบรรณาธิการฐานเกษตร. 2531. อาชีพปลูกผัก. ห้างหุ้นส่วนจำกัดโรงพิมพ์เอเชีย. หน้า 36-38.
- เกษมศรี ชับซ้อน. 2536. ปลูกพืชผัก. ศูนย์ฝึกอบรมวิศกรรมเกษตรบางพลู, กองวิทยาลัยเกษตรกรรม, กรมอาชีวศึกษา, กรุงเทพฯ. หน้า 114-119
- กฤษณา รุ่งเรืองศักดิ์. 2521. ปฏิบัติการและหลักเบื้องต้นในวิชาชีววิทยา. อมรินทร์การพิมพ์. หน้า 33-37.
- ไฉน ยอดเพชร. 2542. พืชผักในตระกูลครุซิเฟอร์ Cruciferous crop. คณะเกษตรศาสตร์บางพระ, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, ชลบุรี. โรงพิมพ์ลิ้นคอรัน. หน้า 77-83.
- นที เนียมศรีจันทร์. 2539. ปัญหาไนเตรดกับสิ่งแวดล้อม. ข่าวสารวัดภูมิพิศ. 23(2): 76-77.
- นิรนาม. 2545. นำหมักชีวภาพ. วารสารศูนย์บางพระ, คณะเกษตรศาสตร์. ชลกิจการพิมพ์. 38(4): 49-55.
- ประดิษฐ์ มีสุข. 2529. คู่มือปฏิบัติการชีวเคมี. โอ.เอส.พรินติ้งเฮาส์. หน้า 134-138.
- ปิยะ ดวงพัตรา. 2538. หลักการและวิธีการใช้ปุ๋ยเคมี. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 33-51.
- ขงยุทธ โอสดสภา. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 387-392.
- ลักขณา อมรสิน. 2540. การศึกษาปริมาณและการเปลี่ยนแปลงของไนเตรดและไนโตรเจนในผักกาดหอม ผักคะน้า ผักกวางตุ้ง ผักบุ้ง และผักโขม หลังจากเก็บไว้ในตู้เย็น 1-5 วัน. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 5(2): 22-30.
- ลักขณา อมรสิน. 2541. คู่มือประกอบการปฏิบัติการวิชาพืชวิทยาสิ่งแวดล้อม. ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 47 หน้า.
- วงจันทร์ วงแก้ว. 2535. หลักสรีรวิทยาของพืช. ฟินนี่พับบลิชซิ่ง. กรุงเทพฯ. 157 หน้า.
- วินัย ปิติยนต์. 2534. บทความ: ไนโตรเจนในสูตรส่วนผสมของวัดภูมิพิศการเกษตร. ข่าวสารวัดภูมิพิศ. 18(3): 113123.
- ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์. 2537. ปฏิบัติการเคมีปริมาณวิเคราะห์. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. หน้า 224-230.
- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2529. จุลชีววิทยาของดินเพื่อผลิตผลทางการเกษตร, พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 335 หน้า.

- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2540. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 78-85.
- สมบุญ เดชะภิญญาวัฒน์. 2535. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 239 หน้า.
- สมภพ ฐิตะวสันต์. 2526. หลักการปลูกผัก Principle of olericulture. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช. คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 258 หน้า.
- สรรเสริญ ทรัพย์โตย. 2536. ตำราปฏิบัติการชีวเคมีเบื้องต้น. ภาควิชาชีวเคมี, คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. หน้า 53-61.
- สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน. 2535. คู่มือการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ย. ศูนย์การพิมพ์พลชัย, กรุงเทพฯ. หน้า 123-131.
- สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค. 2535. หนังสือรวบรวมบทความเผยแพร่ความรู้เรื่องการคุ้มครองผู้บริโภค, สำนักสามเจริญพาณิชย์. กรุงเทพฯ. หน้า 46-48.
- อมรา วงศ์พุทธพิทักษ์ และคณะ. 2537. สิ่งเจือปนในอาหาร: ผลกระทบต่อสุขภาพคนไทย. คณะกรรมการระบาดวิทยาแห่งชาติ/สถาบันวิจัยสาธารณสุขไทย, มูลนิธิสาธารณสุขแห่งชาติ. บริษัท ดีไซร์. หน้า 105-108.
- อรษา แสงอุทัย. 2527. พืชผัก Vegetable. ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ. หน้า 68-70.
- อาภัสสรฯ ชมิคท์. 2537. คู่มือทางชีวเคมี. ภาควิชาสรีรวิทยา. คณะสัตวแพทยศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์วีวีเอ. หน้า 23-28.
- Food Standards Agency, 2001. UK Monitoring Program for Nitrate in Lettuce and Spinach(Number) 16/01(online). Available: <http://www.foodstandards.gov.uk/science/surveillance/fsis/2001/nitrate-lettuce.28/3/2003>
- Viets, C.H. and R.H. Hageman. 1971. Factor Affecting the Accumulation of Nitrate in soil. Water, and Plant. Agriculture Handbook no. 413. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture. 63 pp.
- Walkers R, "Nitrates, Nitrites and N-nitroso compounds: a review of the occurrence in food and diet and the toxicological implication." Food Addit. Contam., Vol.5, 1990, pp. 717-768.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 1 ปริมาณไนเตรด (NO_3^-) ในฝักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

ปุ๋ย	ปริมาณไนเตรด (มก./กก.)			รวม	เฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3		
ไม่ใส่ปุ๋ย	515.93	430.81	447.24	1393.98	464.66
ปุ๋ยเคมี	5876.80	5025.70	5037.60	15940.10	5313.37
ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	73.17	59.74	53.01	185.92	61.97
ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	1894.22	1994.29	1953.97	5842.48	1947.49

ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณไนไตรต์ (NO_2^-) ในฝักคะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

ปุ๋ย	ปริมาณไนไตรต์ (มก./กก.)			รวม	เฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3		
ไม่ใส่ปุ๋ย	14.74	13.39	3.18	31.31	10.44
ปุ๋ยเคมี	4.22	3.62	5.62	13.46	4.49
ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	1.71	1.67	2.07	5.45	1.82
ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ	2.86	5.89	9.08	17.83	5.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 3 การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไนเตรต (มก./กก.) ในผัก
คะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

Analysis of Variance

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	3	256246.33	85415.44	341.10	3.10	4.94
Ex.Error	20	5008.30	250.42			
Total	23	261254.63	11358.90			

GRAND MEAN = 97.34364583333333

CV = 16.26 %

LSD .05 = 19.05829

LSD .01 = 25.99273

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

Name	Mean	
T2	265.6683	A
T4	97.37466	B
T1	23.233	C
T3	3.098583	C

RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

Name	Mean	
T2	265.6683	A
T4	97.37466	B
T1	23.233	C
T3	3.098583	D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 4 การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณไนโตรเจน (มก./กก.) ในผัก
คะน้าที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

Analysis of Variance

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	3	2.343	0.781	7.549	3.10	4.94
Ex.Error	20	2.069	0.103			
Total	23	4.412	0.192			

GRAND MEAN = .565

CV = 56.93 %

LSD .05 = .3873799

LSD .01 = .5283298

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

Name	Mean	
T1	1.044167	A
T4	0.5855	AB
T2	0.4486667	B
T3	0.1816667	B

RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

Name	Mean	
T1	1.044167	A
T4	0.5855	B
T2	0.4486667	B
T3	0.1816667	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 5 การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณผลผลิตของผักกะน้า (ก.ก./แปลง) ที่ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ

Analysis of Variance

Source	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	3	64.040	21.347	216037.797	4.07	7.59
Ex.Error	8	0.001	0.000			
Total	11	64.040	5.822			

GRAND MEAN = 3.465

CV = 0.29 %

LSD .05 = 1.871596E-02

LSD .01 = 2.722986E-02

DUNCAN'S MULTIPLE-RANGE TEST

RANKED AT PROBABILITY LEVEL .01

Name	Mean	
T2	5.96	A
T4	5.57	B
T1	1.4	C
T3	0.93	D

RANKED AT PROBABILITY LEVEL .05

Name	Mean	
T2	5.96	A
T4	5.57	B
T1	1.4	C
T3	0.93	D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้