บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (hydroponics)

2.1.1 ประวัติและความเป็นมา

การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน (hydroponics) เป็นคำที่มาจากภาษากรีก 2 คำ คือคำว่า hydro ซึ่งแปลว่าน้ำ และคำว่า ponos แปลว่าทำงานหรือแรงงาน เมื่อรวมกันจึงมีความหมายว่าการทำงานที่เกี่ยวข้องกับน้ำ (Gerrick.1929) ในปี ค.ศ. 1860-1865 นักวิทยาศาตร์ชื่อ Sachs และ Knop นับเป็นผู้เริ่มปลูกพืชด้วยวิธีการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินตามหลักการทางวิทยาศาตร์สมัยใหม่ โดยการปลูกพืชด้วยสารละลายเกลืออนินทรีย์ต่างๆ ซึ่งให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม กัมมะถัน แคลเซียม และเหล็ก ภายหลังมีการพัฒนาสูตรธาตุอาหารพืชเรื่อยมาจนถึง ค.ศ. 1920-1930 Dr. William F. Gericke แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอเนียประสบความสำเร็จในการปลูกมะเขือเทศในสารละลายธาตุอาหาร โดยพืชมีการเจริญเติบโตสมบูรณ์และให้ผลผลิตเร็ว นับเป็นจุดเริ่มต้นของการนำเทคนิคการปลูกพืชโดยวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อปลูกเป็นการค้า และได้รับยกย่องว่าเป็นบิดาแห่งการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ต่อมาได้มีการพัฒนาเทคนิควิธีการและส่วนประกอบในสารละลายเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน (ดิเรก ทองอร่าม. 2547 ; กรมส่งเสริมการเกษตร. 2549 ; อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2550)

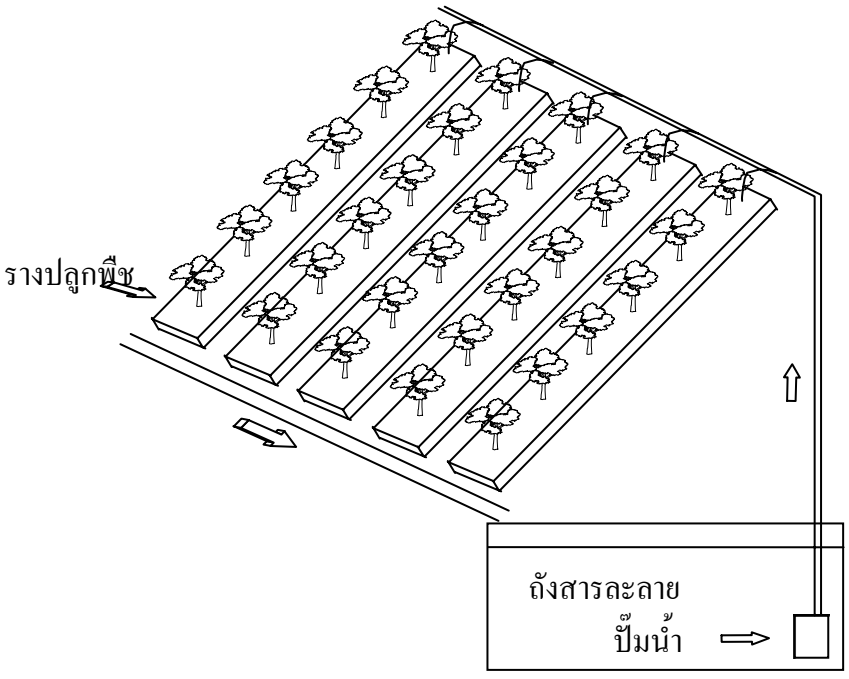
2.1.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน หมายถึงการปลูกพืชในตัวกลางที่ไม่ใช่ดิน แต่ใช้วัสดุอื่นมาแทนดิน เช่น กรวด ทราย เปลือกไม้ ขี้เลื่อย เส้นใยสังเคราะห์ ปุ๋ยหมัก ใยมะพร้าว หรือปลูกในสารละลาย เพื่อให้สารละลายธาตุอาหารพืชที่มีน้ำผสมกับปุ๋ยที่มีธาตุอาหารที่พืชต้องการและอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีจากทางรากพืช โดยให้รากพืชสัมผัสกับสารอาหารโดยตรงตลอดเวลา ซึ่งระบบการปลูกพืชแบบนี้ สามารถเพิ่มคุณภาพและราคาผลผลิตได้ ช่วยลดและควบคุมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช มีการใช้ปุ๋ยและน้ำอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถควบคุมปัจจัยและสภาพแวดล้อมที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ดี พืชเจริญเติบโตได้เร็ว ประหยัดเวลาเตรียมดินทำให้สามารถปลูกได้อย่างต่อเนื่อง ปลูกพืชในที่ที่ดินไม่เหมาะสมแก่การปลูกพืช ในพื้นที่จำกัด ทุกฤดูกาลและทุกสภาพอากาศ ไม่สิ้นเปลืองแรงงาน ประหยัดเวลา การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในปัจจุบันเป็นที่แพร่หลายและเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางทั่วโลก มีการนำมาใช้เพื่อการผลิตพืชทางการค้าในบางประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา เนเธอร์แลนด์ อิสราเอล ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น เป็นต้น ซึ่งระบบที่นิยมปลูกเป็นการค้า คือ ระบบ Nutrient film technique (NFT) และ

Dynamic root floating technique (DRFT) และการปลูกพืชในวัสดุปลูก (Substrate culture) (ดิเรก ทองอร่าม. 2547 ; อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2550 ; Douglas. 1988 ; Schwarz. 1995)

2.1.3 การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินระบบ NFT

การปลูกพืชในระบบ NFT ปัจจุบันเป็นระบบที่ได้รับการนิยมปลูกผักสลัดในประเทศไทย การปลูกระบบนี้จะเป็นการปลูกพืชโดยที่รากแช่อยู่ในสารละลายโดยตรง สารละลายธาตุอาหารพืชจะไหลเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) ในรางปลูกผักขนาดมาตรฐานกว้าง 10 ซม. สูง 5 ซม. รางทำจากพลาสติกสองหน้าขาวและดำ หรือจาก PVC ขึ้นรูปเป็นรางสำเร็จ หรือทำจากโฟมขึ้นรูปเป็นรางติดกัน 3-5 ราง ต่อกันตามแนวยาวและบุภายในด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารละลาย โดยจะมีปั๊มดูดสารละลายให้ไหลผ่านรากพืชอย่างต่อเนื่องและเวียนกลับมายังถังสารละลาย ดังแสดงในภาพที่ 2.1 อัตราการไหลอยู่ในช่วง 1-2 ลิตร/นาที/ราง ระบบนี้จะเหมาะกับการปลูกผักสลัด ซึ่งไม่เหมาะสมกับการปลูกผักไทย เนื่องจากระยะปลูกห่างผักจะล้มง่าย ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูง แต่เป็นระบบที่มีการจัดการที่ง่าย ข้อดีของระบบ NFT คือ ไม่จำเป็นต้องมีเครื่องควบคุมการให้น้ำ เนื่องจากมีการให้น้ำอย่างต่อเนื่อง ระบบไม่ยุ่งยาก สามารถควบคุมชนิดและปริมาณธาตุอาหารตามที่พืชต้องการ เป็นระบบที่มีการใช้น้ำและธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด สามารถปลูกได้อย่างต่อเนื่อง เก็บเกี่ยวเร็ว สามารถเพาะผักรุ่นใหม่เพื่อเตรียมปลูกก่อนเก็บเกี่ยวรุ่นก่อน เมื่อเก็บเกี่ยวเสร็จสามารถย้ายปลูกได้ทันทีเป็นการประหยัดแรงงาน (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2550)



ภาพที่ 2.1 ระบบการปลูกพืชแบบ Nutrient film technique (NFT)

2.2 ผักสลัด

ผักสลัดเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Asteraceae (Compositae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* L. เป็นพืชพื้นเมืองของทวีปยุโรปและเอเชีย ปลูกกันมานานไม่ต่ำกว่า 2,500 ปี (Thompson. 1949) นิยมปลูกกันมากในระบบปลูกแบบไม่ใช้ดิน เนื่องจากผักสลัดที่ได้จากระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินจะสะอาด นอกจากนี้ผักสลัดยังได้รับความนิยมจากผู้บริโภคที่ใส่ใจในเรื่องของสุขภาพ และผักสลัดยังเป็นแหล่งของสารอาหารที่มีคุณค่าทั้งวิตามินและเกลือแร่ เช่น เบต้าคาโรทีน วิตามินซี เป็นต้น ซึ่งผู้บริโภคนิยมรับประทานเป็นผักสดและใช้จัดแต่งอาหารให้มีสีสันสวยงาม ความต้องการของผู้บริโภคมีตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในช่วงเทศกาลต่างๆ และยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต จึงนับได้ว่าผักสลัดเป็นผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง (สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์. 2538 ; อนุรักษ์ พ่วงพล. 2542 ; กรมส่งเสริมการเกษตร. 2550)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2550)

- ราก เป็นระบบรากแก้วที่แข็งแรงอวบอ้วน และเจริญอย่างรวดเร็ว รากแก้วสามารถหยั่งลึกลงไปในดินได้ถึง 5 ฟุต หรือมากกว่าแต่รากแก้วจะเสียหายในขณะที่ย้ายปลูก ดังนั้นรากที่เหลือจะเป็นรากแขนง ซึ่งแผ่กระจายอยู่ใต้ผิวดินประมาณ 1-2 ฟุต โดยปริมาณของรากจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มหนาแน่น ไม่ค่อยแพร่ออกไปมากนัก

- ลำต้น ในระยะแรกมักจะมองไม่ค่อยเห็น เนื่องจากใบมักจะปกคลุมไว้ จะเห็นชัดก็ต่อเมื่อระยะแทงช่อดอก ลักษณะลำต้นผักสลัดจะตั้งตรง สูงชะลูดขึ้นจนสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ลำต้นมีลักษณะอวบอ้วนและเป็นข้อสั้น แต่ละข้อจะเป็นที่เกิดของใบ

- ใบ แตกออกมาจากลำต้นโดยรอบ สีใบมีตั้งแต่เขียวอ่อน เขียวปนเหลือง จนถึงสีเขียวแก่ บางพันธุ์มีสีแดงหรือน้ำตาลปนอยู่ ทำให้มีสีแดง บรอนซ์ หรือน้ำตาลปนเขียว พันธุ์ที่ห่อเป็นหัวจะมีใบหนา เนื้อใบอ่อนนุ่ม ใบจะห่อหัวอัดกันแน่นคล้ายกะหล่ำปลี ใบที่ห่ออยู่ข้างในจะเป็นมัน บางชนิดมีใบม้วนงอเปราะมีเส้นใบเห็นได้ชัด ขอบใบมีลักษณะเป็นหยัก ขนาดและรูปร่างของใบจะแตกต่างกันตามชนิด

- ดอกและช่อดอก มีลักษณะเป็นช่อแบบที่เรียกว่า Panicle ประกอบด้วยกลุ่มของดอกที่อยู่เป็นกระจุกตรงยอด แต่ละกระจุกประกอบด้วยดอกย่อย 15-25 ดอกหรือมากกว่า ก้านช่อดอกจะยาวประมาณ 2 ฟุต ช่อดอกอันแรกจะเกิดที่ยอดอ่อน จากนั้นจะเกิดช่อดอกข้างตรงมุมใบขึ้นภายหลัง ช่อดอกที่เกิดจากส่วนยอดโดยตรงจะมีอายุมากที่สุด ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกสีเหลือง ตรงโคนเชื่อมติดกัน รังไข่มี 1 ห้อง เกสรตัวเมียมี 1 อัน มีลักษณะเป็น 2 แฉก เกสรตัวผู้ 5 อัน รวมกันเป็นยอดยาวห่อหุ้มก้านเกสรตัวเมียและยอดเกสรตัวเมียไว้

- เมล็ด เป็นชนิดเมล็ดเดียว (achene) ซึ่งเจริญมาจากรังไข่อันเดียว เมล็ดจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดบาง เปลือกเมล็ดจะไม่แตกเมื่อเมล็ดแห้ง เมล็ดมีลักษณะแบนยาว หัวท้ายแหลมเป็นรูปหอก มี

เส้นเล็กๆ ลาดยาวไปตามด้านยาวของเมล็ดที่ผิวเปลือกหุ้มเมล็ด เมล็ดมีสีเทาปนครีมความยาวของเมล็ดประมาณ 4 มิลลิเมตร และกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร

ผักสลัดที่นิยมปลูกเป็นการค้าในระบบ NFT และเป็นที่ต้องการของตลาดในปัจจุบันมีอยู่ประมาณ 6 ชนิดซึ่งเป็นสายพันธุ์จากต่างประเทศ ได้แก่ butterhead, cos, frillice, green oak, red oak และ red coral นอกจากนี้ยังมีพวก Herb อีก 2 ชนิดคือ Rocket และ Mizuna ผักสลัดจะเจริญเติบโตได้ดีในฤดูหนาวทำให้ผักล้นตลาด การปลูกผักสลัดในฤดูร้อนและฤดูฝนจะเจริญเติบโตไม่ดี ส่งผลให้ผักสลัดขาดตลาดในฤดูดังกล่าว (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2550) ซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะต้นและใบ ได้เป็น 3 ประเภทดังนี้ (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2550)

2.2.1 ผักสลัดห่อ (Head lettuce)

ลักษณะใบห่อเป็นหัว ซึ่งเกิดจากการที่ใบเรียงซ้อนกันหนามาก ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ

1) ชนิดห่อหัวแน่น (Crisp head) ลักษณะใบบาง กรอบ เปราะง่าย เห็นเส้นกลางใบชัดเจน ใบห่อเป็นหัวแน่นแข็งคล้ายกะหล่ำปลี เป็นชนิดที่นิยมกันมากในทางการค้าเพราะสามารถขนส่งได้สะดวก ผักสลัดชนิดนี้ ได้แก่ พันธุ์ เกรทเลค (Great lake), นิวยอร์ค (New york), อิมพีเรียล (Imperial), โปรกรีสส์ (Progress) เป็นต้น

2) ชนิดห่อหัวไม่แน่น (Butter head) ลักษณะห่อเป็นหัวหลวม ใบจะอ่อนนุ่มและผิวใบมัน ใบไม่กรอบเหมือนชนิดห่อหัวแน่น สีเหลืองอ่อนคล้ายเนย เป็นผักสลัดที่ชอบอากาศหนาวเย็น ไม่ทนทานต่ออากาศร้อน แต่อายุการเก็บเกี่ยวจะเร็วกว่าชนิดห่อหัวแน่น พันธุ์ที่นิยมได้แก่ พันธุ์บิ๊กบอสตัน (Big Boston), ไวท์ บอสตัน (White Boston) เป็นต้น

3) ชนิดห่อหัวหลวมค่อนข้างยาว เป็นผักสลัดชนิดที่ใบห่อเป็นรูปกลมยาวหรือรูปกรวย ลักษณะหัวคล้ายผักกาดขาวปลี ใบมีลักษณะยาวและแคบ ใบแข็ง นิยมกันมากในทวีปยุโรป แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ พันธุ์ที่มีหัวขนาดใหญ่ เช่น พันธุ์ปารีส ไวท์ (Paris White), ไวท์ ฮีท (White Heart) และพันธุ์ที่มีหัวขนาดเล็ก เช่น พันธุ์ ลิทเติ้ล เจม (Little Gem)

2.2.2 ผักสลัดใบ (Leaf lettuce)

เป็นผักสลัดที่ใบไม่ห่อเป็นหัว ซึ่งเป็นที่นิยมปลูกและบริโภคกันมากกว่าผักสลัดชนิดอื่น ผักสลัดประเภทนี้ใบจะกว้างใหญ่และหยิกเจริญเติบโตทางด้านบนและด้านข้าง ไม่ห่อเป็นหัว ต้นเป็นพุ่มเตี้ย ผักสลัดใบจะทนต่ออากาศร้อนได้ดีกว่าประเภทอื่นๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) ชนิดที่มีสีเขียวทั้งต้น ได้แก่ พันธุ์ Grand Rapids, Simpson's Curled, Boston Curled และ Slobott เป็นต้น

2) ชนิดที่มีสีน้ำตาลทั้งต้น ได้แก่ พันธุ์ Prize Head เป็นต้น

2.1.3 ผักสลัดหอมต้น (Stem lettuce)

เป็นผักสลัดที่ปลูกเพื่อใช้ลำต้นรับประทานเท่านั้น มีลักษณะลำต้นอวบ ลำต้นสูง ใบจะเกิดขึ้นต่อๆ กันไปจนถึงยอดหรือช่อดอก ใบจะมีลักษณะคล้ายผักสลัดใบ แต่ใบจะเล็ก หนาและสีเข้มกว่า มีทั้งชนิดกลมและยาว ไม่ห่อหัว โดยทั่วไปไม่ค่อยนิยมปลูกกัน ได้แก่ พันธุ์ Celtuce

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด

2.3.1 แสง

แสงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบของผักสลัด เพราะแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการสังเคราะห์แสงของพืช โดยมีคลอโรฟิลล์เป็นตัวรับแสงไปใช้เป็นพลังงานในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เป็นคาร์โบไฮเดรตและออกซิเจน แสงที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสงมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-700 นาโนเมตร คลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุในการสังเคราะห์จะดูดแสงที่ 600 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงของแสงสีแดง และ 430 นาโนเมตรซึ่งเป็นช่วงของแสงสีน้ำเงิน (ทัศน์วิไล วัฒนายน. 2548) คุณสมบัติของแสง 3 ประการที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ความยาวคลื่น ความเข้มแสง และระยะเวลาที่พืชได้รับแสง (Lo´pez Cruz *et al.* 2003) คุณสมบัติที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมากที่สุดคือ ความเข้มแสง ถ้ามากหรือน้อยเกินไป จะมีผลในการลดการสังเคราะห์แสงของพืช ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตน้อยลง สำหรับการปลูกพืชในประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนได้รับแสงที่มีความเข้มสูง การปลูกพืชกลางแจ้งจึงต้องมีการพรางแสงเพื่อลดความเข้มแสง นอกจากนี้แสงยังสัมพันธ์กับอุณหภูมิคือ เมื่อแสงมีความเข้มมากขึ้นอุณหภูมิก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย (ขนิษฐา พงษ์ปรีชา. 2549) โดยถ้าช่วงแสงยาวและอุณหภูมิสูงจะทำให้ช่อดอกเจริญเร็ว ผักมีรสชาติขม ปลายใบไหม้ ซึ่งเป็นอาการที่เกิดจากการขาดแคลเซียม ทำให้ผลผลิตคุณภาพต่ำลง (Schwarz. 1995 ; Jones. 1997) ในประเทศไทยถ้าปลูกผักสลัดในฤดูร้อนซึ่งมีความเข้มแสงและอุณหภูมิสูง มีผลให้ใบชะงักการเจริญเติบโตทำให้ใบสั้น นอกจากนี้แสงยังมีส่งผลให้อุณหภูมิในโรงเรือนสูงขึ้น (สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์. 2538 ; กรมส่งเสริมการเกษตร. 2550) แต่จากการทดลองปลูกผักคะน้าโดยให้ได้รับความเข้มแสงลดลง มีผลให้ความสูงของลำต้น เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณโคนต้น พื้นที่ใบต่อต้นสูงขึ้น และส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเพิ่มสูงขึ้น (วิรัตน์ ภูวิวัฒน์. 2542)

2.3.2 อุณหภูมิ

ผักสลัดเป็นพืชที่ต้องการแสงมากแต่ต้องการอุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไปจะเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 18-26 °C ในบริเวณเขตหนาวสามารถปลูกผักสลัดได้ดี โดยการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ราก (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2549 ; Van Der Boon *et al.* 1990) ส่วนในเขตร้อนอุณหภูมิสูงจะทำให้อัตราการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจ ถ้าอุณหภูมิ

สูงกว่า 40 °C อัตราการดูดกลับช้าลง เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำลายเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการดูดธาตุอาหารและไปยับยั้งการหายใจ (นงนุช วงศ์สินชวน. 2532) นอกจากนี้ยังส่งผลให้มีปัญหาการละลายตัวของออกซิเจน (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2550) ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดคือ 15-25 °C ในเวลากลางวัน และ5-10 °C ในเวลากลางคืน สำหรับอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารพืชควรอยู่ระหว่าง 18-22 °C (ดิเรก ทองอร่าม. 2547) จากการทดลองพบว่าการปลูกผักสลัดในฤดูร้อน การเจริญเติบโตจะชะลอลงในสัปดาห์ที่ 5 ของการปลูก แต่ในฤดูหนาวสามารถเจริญเติบโตได้อย่างต่อเนื่อง (วุฒิพงษ์ พิมพ์โครต. 2546) และจากการทดลองเปรียบเทียบการปลูกผักสลัดในโรงเรือนเปิดและโรงเรือนปิด พบว่าการเจริญเติบโตของผักสลัดในโรงเรือนปิดที่มีอุณหภูมิของอากาศเฉลี่ยต่ำกว่า จะมีการเจริญเติบโตของจำนวนใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ดีกว่าที่ปลูกในโรงเรือนเปิดที่มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงกว่า (ธีรศักดิ์ พงษาอุทิน. 2547)

2.3.3 สารละลายธาตุอาหารพืช

เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เพราะเป็นแหล่งที่ให้ธาตุอาหารแก่พืชในการเจริญเติบโต สารละลายธาตุอาหารพืชที่มีชนิดและปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ไม่เป็นพิษแก่พืช และมีสัดส่วนระหว่างธาตุอาหารที่เหมาะสมจะไม่ส่งผลให้เกิดการแข่งขันในการดูดใช้ธาตุอาหารประจุเดียวกันในพืช (ดิเรก ทองอร่าม. 2547 ; อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2550) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงปริมาณความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืช ถ้าค่า EC สูง แสดงว่าสารละลายธาตุอาหารพืชมีความเข้มข้นสูง พืชแต่ละชนิดต้องการค่า EC ที่ต่างกัน เช่น ผักสลัดต้องการ EC ตั้งแต่ 0.8-2.8 mS/cm และต้องทำการปรับค่า EC รวมถึงถ่ายสารละลายธาตุอาหารพืชตามความเหมาะสม (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2550)

2.3.4 ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว

อายุการเก็บเกี่ยวของผักสลัดประมาณ 40-50 วัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ หลังจากหว่านเมล็ดลงแปลง การเก็บควรเลือกเก็บขณะที่ใบยังอ่อน กรอบ ไม่เหนียวกระด้าง ห่อหัวแน่นไม่หลวม รูปร่างค่อนข้างกลมแบน ไม่ควรเก็บขณะต้นแก่เพราะผักจะมีรสขม ยืดตัวไปทางตั้ง และแทงช่อดอก ทำให้เสียคุณภาพ วิธีการเก็บเกี่ยวโดยใช้มีดตัดตรงโคนต้น แล้วตัดแต่งใบเสียทิ้งไป ชุบน้ำเพื่อล้างยางสีขาวออก และสลัดน้ำออกให้หมด นอกจากนี้ควรเก็บในเวลาเย็นและฝนไม่ตก เพราะถ้าเก็บในขณะฝนตกหรือน้ำขังอยู่ตามใบจะทำให้ผักสลัดเน่าเสียได้ง่าย (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2550)

2.3.5 ออกซิเจน

รากพืชที่ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอจะมีลักษณะยาว มีสีขาวและมีรากฝอยมาก แต่ถ้ารากพืชได้รับออกซิเจนน้อยจะทำให้การดูดแร่ธาตุลดลง รากเจริญเติบโตไม่ดีและมีรากน้อย (นงนุช วงศ์สินชวน. 2532 ; ดิเรก ทองอร่าม. 2547)

2.3.6 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ช่วง pH ที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 5.5-6.0 (มนูญ ศิรินุพงศ์. 2544) การจัดการค่า pH ในสารละลายธาตุอาหารพืชเป็นสิ่งสำคัญในการปลูกผักในระบบ NFT ถ้าไม่สามารถควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วง 5.8-6.2 ผักสลัดก็จะเจริญเติบได้ไม่ดี ถ้า pH ต่ำหรือสูงเกินไปธาตุอาหารบางธาตุจะไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ส่งผลให้พืชขาดธาตุนั้น อาการที่พบเสมอเมื่อค่า pH สูงเกินไปคือใบเหลือง เนื่องจากขาดธาตุเหล็ก หลังจากปลูกไปแล้วต้องปรับค่า pH ในสารละลายธาตุอาหารพืชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยปรับด้วย กรดไนตริกหรือกรดฟอสฟอริก ซึ่งปัญหาการควบคุม pH เป็นปัญหาที่พบบ่อยมากในการปลูกผักสลัดในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2550)

2.4 ปัญหาเกี่ยวกับการสะสมอุณหภูมิของสารละลายในระบบ NFT

ปัญหาที่สำคัญที่สุดของการปลูกพืชในระบบ NFT โดยเฉพาะในแถบร้อนคือ การสะสมอุณหภูมิของสารละลายในช่วงกลางวัน ซึ่งจะพบมากที่สุดในช่วงหน้าร้อน เนื่องจากอุณหภูมิกลางวันอาจสูงถึง 38 °C มีผลทำให้การละลายตัวของออกซิเจนลดลงการหายใจของรากจะมีปัญหา รากจะอ่อนแอ ดูดธาตุอาหารและน้ำได้น้อย และโรคพืชเข้าทำลายได้ง่ายโดยเฉพาะ Phytium ซึ่งอาการที่แสดงออกคือ พืชจะเหี่ยว ถ้าอาการรุนแรงรากจะเป็นสีน้ำตาล ถ้ามากขึ้นรากจะเป็นสีดำ ขาดออกจากต้น มีกลิ่นเหม็น และพืชจะตายในที่สุด นอกจากนี้จะมีการลุกลามไปต้นข้างเคียงอย่างรวดเร็ว และจะลามไปทั้งระบบปลูก ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหารพืชที่ปลูกในระบบ NFT ประกอบด้วย (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2550)

- อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญ การละลายของออกซิเจนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เช่น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 25 °C เป็น 30 °C จะทำให้ปริมาณออกซิเจนในสารละลายลดลงจาก 8.25 ppm เหลือเพียง 7.51 ppm การปลูกพืชในระบบ NFT โดยให้น้ำไหลผ่านรากบางๆ ปริมาณออกซิเจนในน้ำจะมีประมาณ 40-50% แต่เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 37 °C ปริมาณออกซิเจนจะเหลือเพียง 30-40% ซึ่งเป็นผลให้พืชชะงักการเจริญเติบโต (นิพนธ์ ไชยมงคล. 2550)
- ชนิดของพืช เช่น รากแตงกวาต้องการออกซิเจนมากกว่ารากมะเขือเทศประมาณ 2 เท่า
- ความเข้มแสง เมื่อแสงมีความเข้มมากขึ้นการระเหยน้ำจะมากตามไปด้วยมีผลให้กิจกรรมของรากเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีความต้องการออกซิเจนมากขึ้น และแสงยังมีผลต่ออุณหภูมิ

- ความหนาของสารละลายในราง NFT ยิ่งสารละลายมีความหนาเพิ่มขึ้นการละลายตัวของออกซิเจนจากอากาศลงในสารละลายจะน้อย ดังนั้นสารละลายในรางไม่ควรหนาเกิน 3 มม. คือจะต้องมีส่วนของรากอยู่พ้นผิวน้ำ

- ความยาวราง รางยิ่งยาวความแตกต่างของออกซิเจนระหว่างต้นราง และปลายรางยิ่งมากขึ้น

- ความลาดเอียงของราง รางมีความลาดเอียงมากขึ้น การละลายตัวของออกซิเจนจะสูงเนื่อง จากความหนาของสารละลายบางลง

วิธีที่จะปลูกผักสลัดในหน้าร้อนได้ต้องลดอุณหภูมิบริเวณปลูกพืช โดยการพรางแสงและพ่นน้ำให้ละอองเป็นฝอย (สเปรย์น้ำ) ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิขณะพ่นฝอย และอุณหภูมิของสารละลายได้ 3-5 °C หลักการพ่นน้ำต้องพ่นให้เป็นละอองน้ำเล็กที่สุด เนื่องจากจะลดอุณหภูมิได้มากที่สุด ไม่ควรพ่นน้ำต่อเนื่องตลอดเวลาเพราะจะสิ้นเปลือง และทำให้ใบพืชเปียกตลอดเวลาทำให้เกิดการระบาดของเชื้อที่ใบ ควรมีระบบตั้งเวลาและควบคุมอุณหภูมิ (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2550) ซึ่งการสเปรย์น้ำนิยมนำมาใช้กับการปลูกผักสลัดในระบบ NFT (ดิเรก ทองอร่าม. 2547)

2.5 ตาข่ายพรางแสง

การพรางแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการปลูกผักในระบบ NFT วัสดุที่นิยมใช้พรางแสงคือตาข่ายพรางแสง ซึ่งใช้ลดความร้อนหรือความแรงของแดด ข้อดีของการใช้ตาข่ายพรางแสงคือราคาถูกประหยัดโครงหลังคาและเสา ทำให้ต้นทุนการสร้างโรงเรือนลดลง สร้างได้รวดเร็วและรื้อถอนได้ง่าย เมื่อไม่ต้องการใช้หรือเมื่อต้องการเปลี่ยนใหม่ แสงแดดที่ผ่านตาข่ายพรางแสงลงมาจะเฉลี่ยเท่ากันทุกจุดของพื้นที่ ทำให้สามารถควบคุมความเข้มแสงแดดได้ถูกต้อง มีอายุการใช้งานนาน 5 ปีขึ้นไปทั้งนี้ขึ้นกับคุณภาพของตาข่ายพรางแสง ซึ่งในปัจจุบันมีหลายชนิด ทำจากวัสดุต่างกัน มีสีต่างกัน และราคาต่างกัน ตาข่ายพรางแสงสีดำที่มีขายอยู่ทั่วไป ราคาถูก มีเปอร์เซ็นต์การพรางแสงหลายอัตรา แต่แสงสีขาวจะผ่านได้น้อย ตาข่ายพรางแสงสีฟ้าจะทำให้แสงสีขาวส่องผ่านเข้าภายในโรงเรือนมากที่สุด ตาข่ายพรางแสงสีเขียว สามารถหาได้ทั่วไป แต่ไม่เหมาะกับการพรางแสงปลูกผัก เนื่องจากใบผักมีสีเขียว ผักจะดูดแสงสีอื่น และสะท้อนแสงสีเขียวออกมาเช่นเดียวกับตาข่ายพรางแสงซึ่งเป็นสีที่พืชไม่ต้องการ ตาข่ายพรางแสงสีเงินผลิตในประเทศไทยมีการสะท้อนแสงได้ดีกว่าสีดำ ตาข่ายพรางแสง Aluminet และ Red Cromatinet นำเข้าจากอิสราเอล จะมีการสะท้อนแสงได้ดีมาก แต่ราคาสูงมาก (ทัศน์วิไล วัฒนายน. 2548 ; อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2550) ซึ่ง Red Cromatinet เป็นพลาสติกพรางแสงที่คลื่นแสงสีแดงสามารถลอดผ่านได้มากและแสงที่ผ่านจะมีการกระจายตัวของแสงได้ดี ทำให้พืชมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ส่งเสริมการสร้างรากและลำต้น

ทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้พืชออกดอกและเก็บผลผลิตเร็วขึ้น ส่วน Aluminet ผลิตจากวัตถุดิบคุณภาพสูงผสมอลูมิเนียม ป้องกันแสงแดดและลดความร้อนได้ดี แสงกระจายได้ทั่วถึง อีกทั้งยังสามารถคายความร้อนหรือพลังงานเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิ ทำให้พืชมีอัตราการเจริญเติบโตสูง (Polysack plastic industries ltd. 2007) ในขณะที่สีของตาข่ายพรางแสงสามารถเปลี่ยนสีของแสงที่ผ่านเข้ามาไปยังรางปลูกพืช ดังนั้นการใช้ตาข่ายพรางแสงสีต่างๆจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น สีฟ้าของตาข่ายมีผลต่อการยับยั้งฮอร์โมนของพืช และสีเหลืองของตาข่ายมีผลต่อการกระตุ้นฮอร์โมนของพืช (ชาติประชา สอนกลิ่น. 2549)

2.6 ไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของพืช

2.6.1 หน้าที่ของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของพืช (ยงยุทธ โอสถสภา. 2545)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญ และจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมาก โดยเป็นส่วนประกอบของโปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมนพืช กรดนิวคลีอิก และสาร ประกอบไนโตรเจนอื่นๆ พืชสามารถดูดใช้ในรูปแอมโมเนียมและไนเตรท สำหรับยูเรียแม้พืชสามารถดูดใช้ได้โดยตรงแต่มีอยู่ในธรรมชาติน้อย โดยสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม คือ

2.6.1.1 โปรตีน (protein)

ประกอบด้วยกรดอะมิโนเรียงกันอย่างมีแบบแผน ตั้งแต่ 50-100 หน่วย และเชื่อมด้วยพันธะเพ็บไทด์ เป็นองค์ประกอบของไซโทพลาสซึม เยื่อ และเอนไซม์

2.6.1.2 กรดอะมิโน

มีไนโตรเจนอยู่ที่หมู่อะมิโน (amino group) เป็นโครงสร้างของโปรตีนโดยต่อเรียงกันอย่างมีแบบแผน และอยู่อิสระในเซลล์

2.6.1.3 ฮอร์โมนพืช

ฮอร์โมนที่พืชสังเคราะห์ขึ้นเองและมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ คือออกซินและไซโทไคนิน

2.6.1.4 กรดนิวคลีอิก

มีอยู่ 2 ชนิดคือ ribo nucleic acid (RNA) ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน และ deoxyribo nucleic acid (DNA) ทำหน้าที่เป็นศูนย์ข้อมูลพันธุกรรม

2.6.1.5 สารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ

เช่น อะดิโนซีนไตรฟอตเฟต (adenosine triphosphate, ATP) โคเอนไซม์

2.6.1.6 สารประกอบไนโตรเจนที่พืชสะสมหรือทำหน้าที่ปกป้องพืช

เช่น แอลคาลอยด์

2.6.2 แอมโมเนียม และไนเตรทต่อพืชที่ปลูกในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน

ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่ใช้ในสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะมี 2 รูป คือ แอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-) ถ้าพืชขาดธาตุอาหารในรูปไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ จะส่งผลให้คุณภาพของผลผลิตลดลง รากและลำต้นไม่แข็งแรง และมีอาการใบเหลืองเป็นต้น (ยงยุทธ โอสถสภา. 2545) สำหรับสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน จะนิยมให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่มีองค์ประกอบของไนเตรทเป็นหลัก ซึ่งส่วนมากจะมีปริมาณของไนเตรทอยู่ระหว่าง 80-100 % ของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทั้งหมด (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ และคณะ. 2545) แม้ว่าการให้ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมพืชสามารถนำไปใช้สังเคราะห์กรดอะมิโนและอไมด์ได้ทันทีก็ตาม ซึ่งในรูปไนเตรทจะต้องผ่านกระบวนการรีดิวส์ให้กลายเป็นแอมโมเนียมก่อน (ยงยุทธ โอสถสภา. 2545) แต่เนื่องจากการให้ปุ๋ยที่มีองค์ประกอบของแอมโมเนียมมากเกินไปจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Schwarz. 1995 ; Jones. 1997) ส่งผลให้พืชดูดใช้ โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมได้น้อยลง และอาจทำให้พืชขาดธาตุเหล่านี้ โดยเกิดอาการปลายใบอ่อนไหม้ (tip burn) ซึ่งเป็นอาการที่เกิดจากการขาดแคลเซียม (Jone. 1997) และทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต เกิดอาการคลอโรซิส (chlorosis) ที่ใบพืช และเป็นแผลที่ต้น นอกจากนี้จะทำคาร์โบไฮเดรตถูกใช้ในปริมาณที่มาก อาจเกิดการขาดคาร์โบไฮเดรต (ยงยุทธ โอสถสภา. 2545)

2.6.3 ไนเตรทกับการนำไปใช้ของพืช

ในดินที่มีการระบายอากาศดี มีความชื้น อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมอื่นๆที่เหมาะสม แอมโมเนียมจะถูกเปลี่ยนให้เป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ โดยกิจกรรมของพวกจุลินทร์ทรีย์ที่เรียกว่า กระบวนการ nitrification สารไนเตรทที่พืชดูดขึ้นไปส่วนใหญ่พืชนำไปใช้ในการสร้างสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด ส่วนที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้คือ ไนเตรทไอออนซึ่งจะสะสมอยู่ในเซลล์พืช หากสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการสะสมไนเตรท เช่น ในสภาพที่แสงน้อย อุณหภูมิสูงพืชจะดูดสารไนเตรทเข้าไปมาก พืชจะมีการกระตุ้นการสะสมไนเตรท เป็นการชดเชยแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ทดแทนความเข้มข้นของอินทรีย์สาร (คาร์โบไฮเดรต) ที่ลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการ สังเคราะห์แสงที่ลดลง (Seginer. 1998) ในขณะเดียวกัน ถ้าพืชสามารถเปลี่ยนไนเตรทเป็นสารอินทรีย์ (กรดอะมิโน) ได้น้อย จะลดเมตาบอลิซึ่มของเอนไซม์ไนเตรทรีดักเทสที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสารไนเตรท เป็นผลให้เกิดการสะสมไนเตรทในพืชมากขึ้น (Maynard. *et al*. 1976) หากการรีดักชั่นของไนเตรทมาเป็นไนไตรท์เกิดช้ากว่าการรีดักชั่นของไนไตรท์ไปเป็นแอมโมเนียม จะทำให้ไนเตรทสะสมในพืช (กุลชลี งามจี้. 2525)

2.7 การสะสมไนเตรทในผัก

ในการปลูกผักโดยทั่วไปนั้น มักจะใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณที่มาก และต่อเนื่องเป็นเวลานานเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด ทำให้เกิดปัญหาการสะสมไนเตรทในส่วนต่างๆของพืช โดยเฉพาะพืชผักกินใบ เช่น ผักสลัด (Maynard. *et al*. 1976)

2.7.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมไนเตรท

มีการศึกษาเพื่อหาปัจจัยหรือสาเหตุที่ทำให้มีการสะสมไนเตรทในผักอย่างกว้างขวาง ในทวีปยุโรป ประเทศสหรัฐอเมริกา รวมทั้งในประเทศไทย พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมไนเตรทในผัก ได้แก่ แสง อุณหภูมิ พันธุ์พืช อายุพืชและการให้ปุ๋ยไนโตรเจน โดยมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ไนเตรทรีดักเทส ทำให้ไนเตรทตกค้าง และสะสมอยู่ในพืช (วุฒิพงษ์ พิมพ์โครต. 2546 ; Schonbeck. 1988 ; Elia *et al*. 1998 ; Weimin *et al*. 1998 ; Brown *et al*. 1999 ; Muramoto. 1999) การปลูกผักสลัดในพีทโดยใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมจะมีปริมาณไนเตรทในใบเพียง 1 ใน 4 เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยไนเตรทเพียงอย่างเดียว (Scaife *et al*. 1986) การมีอินทรียวัตถุในดินสูงจะส่งเสริมการสะสมไนเตรทในพืช แต่การให้ระบบชลประทานให้แก่พืชพบว่า สามารถลดปริมาณไนเตรทที่สะสมในพืชได้ (Carter and Bosma. 1974) จากการทดลองปลูกผักสลัดโดยการเลือกใช้สารละลายธาตุอาหารพืชที่มีความเข้มข้นสูง มีแนวโน้มในการสะสมไนเตรทสูงกว่าการปลูกในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ (วุฒิพงษ์ พิมพ์โครต. 2546) ผักที่ใช้ใบและลำต้นเป็นอาหาร เช่น ผักโขม ผักคะน้าและผักสลัด มีปริมาณไนเตรทสะสมมากกว่าผักที่ใช้รากและหัวเป็นอาหาร เช่น แครอท หอมใหญ่ นอกจากนี้ส่วนต่างๆของพืช พบว่าก้านใบมีปริมาณไนเตรทมากที่สุด รวมถึงในพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์ก็มีการสะสมไนเตรทที่ต่างกัน (Peck *et al*. 1971 ; Barker and Maynard. 1972) ซึ่งอาจเนื่องมาจากเอนไซม์สำคัญบางตัวที่ร่วมในขบวนการเปลี่ยนไนเตรทจนกลายเป็นโปรตีน และไนเตรทรีดักเทสในพืชแต่ละชนิด มีกิจกรรมต่างกัน (Keeney. 1970) จากผลการสำรวจปริมาณสารไนเตรทตกค้างในผักสลัดที่ปลูกโดยไม่ใช้ดิน ซึ่งวางจำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าผักสลัดแต่ละชนิดและผักสลัดชนิดเดียวกันซึ่งปลูกในฤดูเดียวกันแต่ต่างผู้ผลิตจะมีปริมาณการสะสมไนเตรทต่างกัน (ธรรมศักดิ์ ทองเกตุและคณะ. 2545) นอกจากนี้ปริมาณไนเตรทในผักสลัดยังสัมพันธ์กับปริมาณน้ำกล่าวคือ สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช เช่น การขาดน้ำ อุณหภูมิสูง แสงแดดไม่เพียงพอ ส่งผลให้เกิดการสะสมไนเตรทได้ (Brown *et al*. 1999) สำหรับปัจจัยในเรื่องของแสงและอุณหภูมิ พบว่าในสภาพที่มีแสงแดดน้อยและอุณหภูมิสูงมีผลให้พืชนำปริมาณไนเตรทที่สะสมอยู่ในส่วนของต้นและใบไปใช้ได้ลดลง จึงทำให้เกิดการสะสม (วุฒิพงษ์ พิมพ์โครต. 2546 ; Maynard and Barker. 1972) ซึ่งในฤดูหนาวที่มีแสงน้อย ผักสลัดจะมีปริมาณไนเตรทสูงกว่าในฤดูร้อน (Van der Boon *et al*. 1990) แต่จากการทดลองปลูกผักสลัดในโรงเรือนในประเทศไทย พบว่าผักสลัดที่ปลูกในฤดูฝนจะมีปริมาณการ

สะสมไนเตรทมากกว่าฤดูหนาวเพราะว่าในประเทศไทยปริมาณแสงในฤดูฝนมีน้อยกว่าฤดูหนาวทำให้กิจกรรมของไนเตรทรีดักเทสต่ำ ปริมาณการสะสมไนเตรทในพืชจึงมีมาก (ณัฐกร อินทรวิชะ. 2549) นอกจากนี้เมื่อเปลี่ยนเวลาเก็บเกี่ยวผักจากเช้าเป็นเที่ยงหรือเย็น พบว่าปริมาณไนเตรทในผักสลัดลดลงเนื่องจากเมื่อพืชได้รับแสงมากขึ้นจะเกิด กระบวนการ reduction และ assimilation มากขึ้น ทำให้ไนเตรทที่สะสมในผักลดน้อยลง (Amr and Hadidi. 2001) และมีรายงานว่าผักสลัดที่ปลูกในสภาวะที่มีความเข้มแสงน้อยจะทำให้ผักมีการสะสมไนเตรทในเนื้อเยื่อใบสูง (Escobar *et al.* 2002) การเพิ่มความเข้มแสงหลังจากปลูกผักสลัดได้ 30 วัน สามารถช่วยให้ผักสลัดมีปริมาณไนเตรทสะสมลดลงได้ (Lo´pez Cruz *et al.* 2003) ปริมาณไนเตรทที่สะสมใน Butterhead ที่ปลูกในโรงเรือน จะมีปริมาณไนเตรทสูงกว่าในแปลงปลูกทั่วๆไป และปริมาณไนเตรทจะลดลงเมื่อปริมาณแสงเพิ่มขึ้น (Drew *et al.* 1996) การพรางแสงในการปลูกผักสลัดในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีผลต่อปริมาณไนเตรท ถ้าพรางแสงมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดการสะสมไนเตรทที่ใบมาก ดังนั้นควรมีการพรางแสงที่เหมาะสมเพื่อลดการสะสมไนเตรท เพิ่มความสูง และความกว้างทรงพุ่มของผัก (กิตติ บุญเลิศนิรันดร์. 2547 ; Carrasco and Burrage. 1992) อย่างไรก็ตามพบว่าสภาวะความเข้มแสงต่ำ และค่าการนำไฟฟ้าต่ำ (EC) อัตราการเจริญเติบโตของผักสลัดจะช้า สภาวะความเข้มแสงสูงกว่า 10 เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน และค่า EC สูง อัตราการเจริญเติบโตของผักสลัดจะเร็ว ส่วนสภาวะความเข้มแสงต่ำกว่า 10 เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน และค่า EC สูง ปริมาณการสะสมไนเตรทจะมาก แสดงว่าแสงและค่า EC มีผลต่อการสะสมไนเตรท และอัตราการเจริญเติบโตของผักสลัด (Gent. 2003) ในกระบวนการเจริญเติบโตของพืชเมื่อพืชได้รับไนเตรทจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นแอมโมเนียมและกรดอะมิโน (ดิเรก ทองอร่าม. 2547) ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงนี้จะมีแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้องกล่าวคือ ถ้ามีแสงแดดจัดหรือความเข้มแสงมาก และชั่วโมงแสงที่ยาวนาน จะทำให้กระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นไปตามปกติ ดังนั้นปัญหาการสะสมไนเตรทมักเกิดกับพืชที่พืชที่ได้รับการพรางแสง พืชที่ปลูกภายในโรงเรือนหรือที่มีแสงแดดน้อย ฟ้ามืดครึ้มติดต่อกันกัน 2-3 สัปดาห์ (กุลชลี งามจี้. 2525 ; Radojevic and Bashkin. 1999) สำหรับปัญหาการสะสมไนเตรทในผักในประเทศไทยนั้นไม่น่าจะมีหรือหากมีก็ไม่น่าอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เนื่องจากประเทศไทยไม่มีฤดูที่หนาวจัด จนมีหิมะหรือมีแสงแดดน้อย มีท้องฟ้ามืดครึ้มติดต่อกันนานเหมือนประเทศในเขตหนาว (ดิเรก ทองอร่าม. 2547)

2.7.2 ปริมาณไนเตรทในผักชนิดต่างๆ

ผักเป็นพืชที่มีการสะสมไนเตรทมากกว่าพืชชนิดอื่น เนื่องจากอายุเก็บเกี่ยวสั้น และต้องการปุ๋ยไนโตรเจนเป็นปริมาณมากจึงจะเจริญเติบได้ดี (Maynard and Barker. 1972) การปลูกผักสลัดในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ในฤดูหนาว ทางตะวันออกเฉียงเหนือของยุโรป พบว่ามีการสะสมไนเตรทได้มากกว่า 6,000 มก./กก.นน.สด (Van der Boon. 1990) ในประเทศบัลแกเรีย

พบปริมาณไนเตรทจำนวนมากที่สุดในผักจำพวกผักโขม หัวไชเท้า คื่นช่าย หัวบีท และผักสลัด (Yordanov *et al*. 2001) ซึ่งผักเหล่านี้ สามารถสะสมไนเตรทได้มากกว่า 2,500 มก./กก.นน.สด (Blom-Zandstra. 1989) ผลการศึกษาของประเทศกรีซ พบว่าผักที่มีไนเตรทสูงสุด ได้แก่ ผักโขม ผักชีฝรั่ง ผักสลัด หัวผักกาด หัวบีท turnip และ dill โดยมีปริมาณไนตรท 500 มก./กก.นน.สด ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่พบในยุโรปตะวันตกเฉียงเหนือ และค่ามาตรฐานที่ยุโรปกำหนด (Siomos and Dogras. 1999) ในเอเชียการวิจัยที่เมืองนานกิงประเทศจีน พบว่ามีการสะสมไนเตรทค่อนข้างสูงในผักบางชนิด เช่น ผักกาดหอมต้น (Stem lettuce) ขึ้นฉ่าย หัวผักกาด และPak-Choi (Weimin *et al*. 1998) ประเทศไทยมีการทดลองปลูกผักสลัดที่ระดับค่าการนำไฟฟ้า และองศ์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารพืชที่ต่างกัน พบว่าบัตเตอร์เฮดมีการสะสมไนเตรทสูงสุดคือมีค่า 3,996 มก./กก.นน.สด (ณัฐกร อินทรวิชะ. 2549) รายงานผลการสำรวจปริมาณการสะสมไนเตรทในวอเตอร์เคลส (Nasturtium offcinate) ในระบบ Deep Flow Technique พบว่ามีค่าเฉลี่ยไนเตรทอยู่ในช่วง 748-1,222 มก./กก.นน.สด (มนัชญา รัตนโชติ. 2546)

2.7.3 ค่ามาตรฐานไนเตรทในผัก

เนื่องจากอุณหภูมิและแสงมีผลต่อการสะสมไนเตรทในผักทำให้มีค่ามาตรฐานที่แตกต่างกันในแต่ละฤดู และแต่ละประเทศ ในแต่ละประเทศต่างๆได้มีการกำหนดมาตรฐานปริมาณไนเตรทที่มีในผัก เพื่อป้องกันอันตรายที่จะมีต่อสุขภาพของผู้บริโภค เช่น ปวยเหล็ง (Spinach) สหรัฐอเมริกา เนเธอร์แลนด์ และรัสเซีย กำหนดไว้ที่ 3,600 3,000 และ2,100 มก./กก.นน.สด ตามลำดับ ส่วนผักที่รับประทานใบ เนเธอร์แลนด์และออสเตรียกำหนดไว้ที่ 4,500 และ3,000 มก./กก.นน.สด ตามลำดับ (ดิเรก ทองอร่าม. 2547) สหภาพยุโรป (European Economic Community) ได้กำหนดความเข้มข้นของไนเตรทในผักสลัดอยู่ในช่วง 2,500-4,500 มก./กก.นน.สด โดยผักสลัดที่ปลูกในฤดูหนาวและฤดูร้อน ต้องไม่เกิน 4,500 และ 3,500 มก./กก.นน.สด ตามลำดับ (Muramoto. 1999 **;** Van der Schee and Speek. 2002 ; Gent. 2003) ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของไนเตรทในผักสลัดของแต่ละประเทศแสดงในตาราง 1 คณะกรรมการวิทยาศาสตร์เพื่ออาหารของสหภาพยุโรป (European Commission Scientific Committee for Food)ได้กำหนดค่าที่ผู้บริโภคสามารถบริโภคไนเตรทได้อย่างปลอดภัย (Acceptable Daily Intake หรือ ADI)อยู่ที่ 3.65 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักคนเป็นกิโลกรัม (ดิเรก ทองอร่าม. 2547)

2.7.4 อันตรายที่เกิดจากการสะสมไนเตรท

จากข้อมูลในยุโรปพบว่า 90 % ของไนเตรทที่ร่างกายได้รับมาจากการบริโภคผัก (Paviovic *et al*. 1998) การที่พืชได้รับไนเตรทในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้คุณภาพทางโภชนาการลดลง เนื่องจากไนเตรทสามารถถูกรีดิวส์กลายไปเป็นไนไตรต์ และอาจเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารไนโตรซามีน (nitrosamine) ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ทำให้เป็นอันตรายแก่ผู้บริโภคในระยะยาวได้ (ยง

ยุทธ โอสถสภา. 2545) นอกจากนี้อาจส่งผลเสียกับสุขภาพโดยเฉพาะในเด็กทารก เนื่องจากแบคทีเรียในลำไส้จะเปลี่ยนไนเตรทเป็นไนไตรต์แล้วจะเข้าจับกับฮีโมโกลบินเป็นเมทฮีโมโกลบิน ซึ่งทำให้ความสามารถในการทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนในเซลล์เม็ดเลือดแดงเพื่อไปเลี้ยงเซลล์ต่างๆ ลดลง ส่งผลให้เกิดโรคบลูเบบี้ (blue baby syndrome) หรืออาการเมทฮีโมโกลบินีเมีย (methemoglobinemia) และยังทำให้เกิดโรคแอนนิเมีย (anaemia) รวมทั้งทำให้ปริมาณวิตามิน A ที่ตับลดลง (ดิเรก ทองอร่าม. 2547 **;** WHO. 1995 **;** Cassens. 1997 ; Alaburda and Nishihara. 1998)

2.7.5 แนวทางการลดการสะสมไนเตรท

แนวทางการจัดการเพื่อลดการสะสมของไนเตรทในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (ยงยุทธ โอสถสภา. 2545 ; ดิเรก ทองอร่าม. 2547)

1) ลดความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชลงเหลือ 1 ใน 4 ก่อนการเก็บเกี่ยว 1 สัปดาห์
2) การให้พืชได้รับธาตุอาหารอื่นๆอย่างเพียงพอโดยเฉพาะโมลิบดีนั่มและกำมะถัน
3) การให้เกลือคลอไรด์แทนเกลือไนเตรท
4) การให้ไนโตรเจนแก่พืชในอัตราที่พอเหมาะ และไม่ให้เมื่อใกล้เก็บเกี่ยว
5) ให้พืชได้รับแสงเต็มที่ก่อนการเก็บเกี่ยว 1 สัปดาห์
6) การให้น้ำเปล่าแทนสารละลายธาตุอาหารพืชก่อนเก็บเกี่ยว 1 วัน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในยุโรป สามารถลดการสะสมไนเตรทได้โดยลดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชลงเหลือ 1 ใน 3 ในญี่ปุ่นนิยมให้น้ำเปล่าแทนสารละลายธาตุอาหารพืชก่อนเก็บเกี่ยว 2 วัน (ดิเรก ทองอร่าม. 2549) จากการทดลองปลูกผักสลัดในสารละลายธาตุอาหารพืช 3 สูตร คือ เบลเยี่ยม ออสเตรเลีย เนเธอร์แลนด์ โดยงดสารละลายธาตุอาหารพืชก่อนการเก็บเกี่ยว 2 วัน พบว่าปริมาณไนเตรทในผักสลัดที่ปลูกในสารละลายสูตรเบลเยี่ยมลดลง 12 % สูตรออสเตรเลียลดลง 21 % แต่สูตรเนเธอร์แลนด์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ณัฐกร อินทรวิชะ. 2549) การให้ยูเรีย และกรดอะมิโน เช่น ไกลซีน (Glycine) ไอโซลิวซีน (Isoleucine) โพลีน (Proline) แทนไนเตรท 20 % ในสารละลายธาตุอาหารพืช ก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิต 12 วัน พบว่าสามารถลดปริมาณไนเตรทตกค้างในใบและก้านใบของผักกาดขาว และผักสลัดที่ปลูกโดยไม่ใช้ดิน ซึ่งไกลซีนสามารถลดปริมาณไนเตรทตกค้างได้ดีที่สุด (Chen *et al*. 2002) การเปลี่ยนเวลาเก็บเกี่ยวผักจากเช้าเป็นบ่ายหรือเย็นเป็นวิธีการลดการสะสมไนเตรทอีกทาง ซึ่งสามารถลดปริมาณไนเตรทได้ 15-20 % เนื่องจากเมื่อพืชได้รับแสงมากขึ้นจะเกิด กระบวนการ reduction และ assimilation มากขึ้น ทำให้ไนเตรทที่สะสมในผักลดน้อยลง (Amr and Hadidi. 2001) นอกจากนี้ผู้บริโภคสามารถลดอันตรายจากไนเตรท โดยชะล้างผักก่อนถนอมอาหารและรับประทาน เนื่องจากไนเตรทสามารถละลายน้ำได้ดีจึงทำให้ปริมาณไนเตรทลดลง (กุลชลี งามจี้. 2525)

ตารางที่ 2.1 แสดงมาตรฐานความเข้มข้นของไนเตรทในผักสลัด

ประเทศ/หน่วยงาน	ระดับ	ปริมาณไนเตรท (มก./กก.นน.สด)
เยอรมัน	Guide	3,000
สวิสเซอร์แลนด์	Guide	3,500
เนเธอร์แลนด์	maximum	3,000 (S)
		4,500 (W)
ออสเตรีย	maximum	3,000 (S)
		4,000 (W)
รัสเซีย	maximum	2,000 (O)
		3,000 (G)
สหภาพยุโรป	maximum	3,500 (4 – 10)
		4,500 (11 – 3)
		2,500 (5 – 8)
EC & SCF	ADI	3.65 mg/kg น้ำหนักตัว
FAO	maximum	5 mg/kg น้ำหนักตัว
JECFA	ADI	0-3.7 mg/kg น้ำหนักตัว

ที่มา : European Commission. 1997 ; Muramoto. 1999

หมายเหตุ : S = ฤดูร้อน W = ฤดูหนาว O = ปลูกนอกโรงเรือน G = ปลูกในโรงเรือนกระจก

4 – 10 = 1 เมษายน – 31 ตุลาคม

11 – 3 = 1 พฤศจิกายน – 31 มีนาคม

5 – 8 = 1 พฤษภาคม -31 สิงหาคม

ADI = Acceptable daily intake

EC = The European Economic Community

SCF = Scientific Committee for Food

FAO = Food and Agricuture Organization

JECFA = The joint FAO/WHO Expert Community