

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พริกเป็นพืชในตระกูล solanaceae ซึ่งเป็นตระกูลเดียวกับมะเขือ มะเขือเทศ ยาสูบและมันฝรั่ง มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum* spp. ซึ่งมีรากศัพท์มาจาก Capsa ในภาษาลาตินแปลว่า ฝักมีกระเปาะ (สุชีลา, 2547) พริกมีหลาย species แต่ที่มีความสำคัญมี 2 species คือ *Capsicum annuum* L. ได้แก่กลุ่มของพริกชี้ฟ้า พริกหยวก พริกเหลือง และ *Capsicum frutescens* L. ได้แก่กลุ่มของพริกชี้หนู พริกเป็นพืชข้ามปีแต่ในการปลูกเป็นการค้านิยมปลูกเป็นพืชฤดูเดียว พริกส่วนใหญ่มีจำนวนโครโมโซม $2n = 24$ คู่ ลักษณะลำต้นของพริกมีการเจริญเติบโตโดยมีการแตกกิ่งแบบ dichotomous คือ กิ่งจะเจริญจากลำต้นเพียง 1 กิ่ง แล้วแตกเป็น 2 กิ่งและแตกเพิ่มเป็น 4 และ 8 เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ (จานุลักษณ์, 2535; นิพนธ์ และ รานี, 2536)

2.1 ลักษณะทั่วไปทางพฤกษศาสตร์ของพริก

ลำต้น พริกเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก ปลูกเป็นพืชฤดูเดียวหรือหลายฤดู ทรงต้นเป็นแบบ erect หรือ prostrate ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ลำต้นสูง 0.5-1.5 เมตร ในระยะที่ต้นยังเล็กอยู่ลำต้นมีลักษณะเป็นต้นเดี่ยวๆ แต่เมื่อลำต้นหลักเจริญเติบโตจนมีจำนวนข้อ 9-11 ข้อพริกก็จะเริ่มออกดอก และแตกกิ่งแขนงตรงข้อที่ออกดอกแบบ dichotomous คือแตกแขนงออกมาครั้งละ 2 กิ่งต่อข้อ พร้อมกันนั้นก็ยังมีการแตกกิ่งแขนงออกมาจากบริเวณโคนต้นจนคล้ายกับมีหลายต้นอยู่รวมกัน ในระยะแรกลำต้นและกิ่งมีลักษณะเป็นเหลี่ยม สีเขียวไม่มีเนื้อไม้ แต่เมื่อพริกมีอายุมากขึ้น ลำต้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล มีเนื้อไม้ ทำให้ลำต้นและกิ่งแข็งแรงขึ้นแต่ก็ยังคงความเปราะและหักได้ง่าย (Andrews, 1984; Nonnecke, 1989)

ใบ เป็นใบแบบเดี่ยวออกสลับกัน แผ่นใบแบน ปลายใบแหลมหรือกลมมนรูปร่างใบเป็นรูปหอก หรือรูปไข่ (Knott, 1967; Gill and Vear, 1980; Tindall, 1983) ใบมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.5-7.5 X 1.5-12.0 เซนติเมตร ก้านใบยาว 0.5-2.5 เซนติเมตร (Purseglove, 1977) ใบมีสีเขียวอ่อนจนถึงสีเขียวเข้มและสีม่วง

ราก เป็นระบบรากแก้วที่ยังลงไปในดินได้ลึกถึง 50 เซนติเมตร (Nonnecke, 1989) ส่วนรากแขนงก็สามารถแผ่กระจายออกไปในแนวราบซึ่งมีรัศมีกว้างเกิน 1 เมตร ถ้าหากรากแก้วถูกทำลายก็จะมีรากฝอยซึ่งสามารถกระจายออกไปได้ไกลถึง 1 เมตร และหยั่งลึกลงไปในดินได้เกินกว่า 1.2 เมตร (Nonnecke, 1989; Poulos, 1994)

ดอก เกิดบริเวณข้อตรงมุมใบและกิ่ง ปกติมักพบเกิดเป็นดอกเดี่ยว แต่พริกบางพันธุ์อาจมี 2-5 ดอกต่อข้อ ก้านดอกอาจชี้ขึ้นหรือห้อยลงขึ้นอยู่กับพันธุ์ ดอกพริกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) ซึ่งมีน้ำหวานสำหรับล่อแมลงแต่ดอกไม่มีกลิ่นหอม ดอกพริกประกอบด้วยกลีบเลี้ยง (calyx) สีเขียว 5 กลีบ ที่มีส่วนติดกันเป็นรูปประฆัง แต่ส่วนปลายแยกออกจากกัน กลีบดอก (corolla) มีสีขาว ขาวอมเขียว หรือ ม่วง จำนวน 5-7 กลีบ ปลายกลีบแยกออกจากกันโดยตลอด เกสรตัวผู้ (stamen) เชื่อมติดระหว่างอยู่กับโคนของชั้นกลีบดอกมีจำนวนเท่ากับกลีบดอก ที่ปลายมีอับละของ เกสรตัวผู้ (anther) เป็นกระเปาะสี่เหลี่ยม ม่วง น้ำเงิน หรือน้ำตาล ซึ่งภายในละของเกสรตัวผู้ (pollen) สีเขียว เหลือง หรือม่วงบรรจุอยู่ เกสรตัวเมีย (pistil) อาจมีก้านชูเกสรตัวเมีย (style) ที่ชูยอด เกสรตัวเมีย (stigma) ซึ่งมีรูปร่างเหมือนกระบองหัวมนห้อยอยู่ในระดับที่อาจต่ำกว่าหรือสูงกว่าอับละของเกสรตัวผู้ ส่วนฐานของเกสรตัวเมียคือรังไข่ (ovary) จะแบ่งออกเป็นช่องมี 2-4 ช่อง (locule) (Gill and Vear, 1980; Tindall, 1983; Poulos, 1994)

ผลเป็นแบบ pod-like berry ที่มีลักษณะเป็นกระเปาะ มีรูปร่างหลายแบบเช่น รูปเหลี่ยม รูปกลม รูปทรงกรวย และรูปหัวใจ ฐานข้อผลสั้นและหนา ก้านผลอาจสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับพันธุ์ ผลขณะที่ยังอ่อนอยู่มักชี้ขึ้น แต่เมื่อผลแก่ พันธุ์ที่มีก้านผลอ่อน ก็จะมีผลห้อยลง แต่บางพันธุ์ทั้งผลอ่อนและผลแก่จะชี้ขึ้น ผัชนะของผล (pericarp) อาจหนาหรือบางขึ้นอยู่กับพันธุ์ ภายในผลเป็นช่องกลวง มีผนังกันเป็นช่องๆ เรียกว่า locule แกนที่อยู่กลางผลเรียกว่า placenta ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีเมล็ดติดอยู่ และเป็นแหล่งที่พบว่ามีสารที่ก่อให้เกิดรสเผ็ดคือ capsaicin อยู่เป็นปริมาณมาก ผลพริกที่ยังอ่อนจะมีสีเขียว เหลือง ม่วง หรือน้ำตาล แต่เมื่อเป็นผลแก่จะมีสีแดง แดงอมส้ม เหลือง น้ำตาล หรือม่วง

เมล็ด มีลักษณะกลมแบน คล้ายรูปไต มีสีเหลือง น้ำตาลหรือดำ เปลือกหุ้มเมล็ดไม่มีขน พริกพันธุ์ที่มีผลขนาดใหญ่ จะมีเมล็ดขนาดใหญ่และมีน้ำหนักเมล็ดมากกว่าพันธุ์ที่มีผลขนาดเล็ก เมล็ดพริกมีขนาดตั้งแต่ 2.5-5 มิลลิเมตร และโดยเฉลี่ยเมล็ด 1,000 เมล็ด มีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 5-8 กรัม (Purseglove, 1977; Tindall, 1983; Poulos, 1994)

2.2 การจำแนกพริก

พริกซึ่งเป็นพันธุ์ปลูกจำแนกออกได้เป็น 5 species ดังต่อไปนี้ (Purseglove et al., 1981; Peirce, 1987; Rylski, 1987; Smith et al., 1987; Pickersgill, 1989; Poulos, 1994) คือ

C. annuum L. เป็นกลุ่มที่มีการปลูกกันมากที่สุด จัดเป็นไม้ล้มลุกหรือไม้พุ่ม มีความสูงประมาณ 0.5–1.5 เมตร ดอกสีขาว กลีบดอกติดกัน ขอบกลีบเลี้ยงเป็นรอยหยัก อับละของเกสรตัวผู้มีสีม่วง ก้านชูเกสรตัวผู้มีสีม่วงและเกสรตัวเมียมีสีเหลืองหรือม่วง ออกดอกตามข้อ ในแต่ละข้อมีดอกเพียงดอกเดียว ก้านดอกสั้น อาจชี้ขึ้นหรือห้อยลง ผลมีขนาดรูปร่างและสีแตกต่างตามพันธุ์

ขนาดของผลยาวตั้งแต่ 1-30 เซนติเมตร ผลอาจเรียวยาวเล็กจนถึงมีความกว้าง 10 เซนติเมตร ผลอ่อนมีสีเขียว เหลือง หรือม่วง ผลแก่มีสีแดง ส้ม เหลืองหรือน้ำตาล เมล็ดมีสีเหลืองอ่อน เส้นผ่าศูนย์กลาง 3-5 มิลลิเมตร พริกในกลุ่มนี้มีทั้งที่มีรสเผ็ดและไม่เผ็ด ได้แก่พริกขี้หนู พริกขี้ฟ้า และพริกหวาน

C. frutescens L. เป็นพริกที่ปลูกกันอย่างแพร่หลาย ทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่นทั่วโลก ต้นมีความสูงประมาณ 45 เซนติเมตร แต่ในเขตร้อนพริกกลุ่มนี้อาจเป็นไม้ยืนต้นอายุหลายปี บางพันธุ์มีความสูง 1.2-2.5 เซนติเมตร ดอกมีสีเขียวหรือสีเขียวมเหลือง เป็นมันสะท้อนแสง ดอกเรียวยาว กลีบเลี้ยงกุดสั้น ก้านดอกอาจตั้งขึ้นหรือห้อยลง ออกดอก 2-5 ดอกต่อข้อ ผลมีทั้งทรงกลมและรูปกรวย ปลายผลมีทั้งปลายแหลมและทู่ ผลกว้าง 0.6-3 เซนติเมตร ยาว 1-8 เซนติเมตร มีรสเผ็ดจัด ผลอ่อนมีสีเขียว หรือเหลือง ผลแก่มีสีแดง เหลือง หรือน้ำตาล ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 2.5-3 มิลลิเมตร เช่น พริกขี้หนูสวนและพริกขี้

C. chinense Jacq มีความคล้ายคลึงกันมากกับพริกกลุ่ม *C. frutescens* L. แต่แตกต่างกันที่พริกในกลุ่มนี้มีก้านดอกที่สั้นและหนากว่าก้านดอกโน้มลง กลีบดอกมีสีขาวหรือขาวอมเขียว อับละอองเกสรตัวผู้มีสีม่วง ขอบกลีบเลี้ยงหยักเล็กน้อย รอยต่อระหว่างก้านผลกับกลีบเลี้ยงเป็นร่องชัดเจน มีดอก 2-5 ดอกต่อข้อ ผลมีรูปร่างหลายแบบ ผลอาจยาวถึง 2 เซนติเมตร ผลอ่อนมีสีเขียวหรือเหลือง ผลแก่มีสีแดง ส้มอมเหลือง หรือน้ำตาล เมล็ดมีสีน้ำตาล

C. baccatum L. เป็นพริกที่พบมากในทวีปอเมริกาใต้ นิยมปลูกกันมากแถบชายฝั่งทะเลของประเทศเปรู ดอกสีขาวหรือขาวอมเขียว โคนกลีบดอกมีจุดสีเหลือง อับละอองเกสรตัวผู้มีสีขาว แต่เมื่อแตกออกจะมีสีน้ำตาล มี 1 ดอกต่อข้อ ขอบกลีบเลี้ยงมีรอยหยักชัดเจน ผลมีรูปร่างหลายแบบ แต่ส่วนมากมีรูปร่างพอม ผลยาวถึง 20 เซนติเมตร ผลอ่อนมีสีเขียวและเหลือง ผลแก่มีสีแดง ส้มอมเหลือง หรือน้ำตาล เมล็ดมีสีน้ำตาลอ่อน

C. pubescence Ruiz&Pavon กลีบดอกมีสีม่วง โคนกลีบดอกมีจุดสีขาวหรือเหลือง อับละอองเกสรตัวผู้มีสีม่วง ใบและลำต้นมีขนค่อนข้างมาก ผลแก่มีสีส้มหรือแดง มีรสเผ็ด เมล็ดมีสีดำ

2.3 สารแคปไซซิน (Capsaicin)

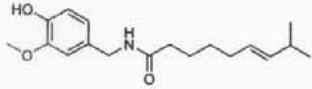
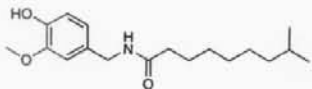
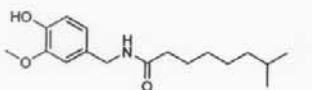
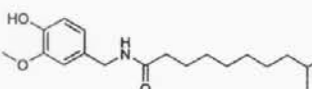
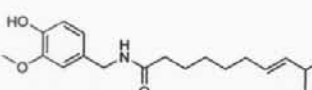
2.3.1 แคปไซซิน การสร้างและการสลายแคปไซซินในผลพริก

แคปไซซิน หรือ 8-methyl-n-vanillul-6-noneamide ($C_{18}H_{27}NO_3$) เป็นสารอัลคาลอยด์ ในผลพริก มีน้ำหนักโมเลกุล 305.41 มีจุดหลอมเหลวที่ 64.5 องศาเซลเซียส และ จุดเดือดที่ 210-220 องศาเซลเซียส เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในไขมัน น้ำมัน แอลกอฮอล์ และ อะซิโตน แคปไซซินเป็นสารที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มึน ทั้งนี้การที่รับประทานพริกแล้วรู้สึกเผ็ดร้อนนั้นเนื่องจากผลของสารแคปไซซินน้อยที่ทำให้เกิดอาการแสบร้อน แคปไซซินจัดอยู่ในกลุ่มของ

Capsaicinoid อันเป็นกลุ่มของสารที่ส่งผลให้เกิดความเผ็ด (ตารางที่ 2.1) ทั้งนี้หากวิเคราะห์ปริมาณสาร Capsaicinoid ที่มีอยู่ในผลพริกจะพบว่า capsaicin เป็นสารที่มีปริมาณมากที่สุด (69%) ตามด้วย dihydrocapsaicin (22%) นอกจากนั้นเป็นสารที่มีอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ nordihydrocapsaicin (7%) homodihydrocapsaicin (1%) และ homocapsaicin (1%) capsaicin และ dihydrocapsaicin เป็นสารที่ให้ความเผ็ดมากที่สุดทั้งคู่ ดังนั้นการวัดปริมาณสารแคปไซซินนอยด์และค่าความเผ็ดของผลพริกจึงดูจากสารทั้งสองชนิดนี้เป็นหลัก

การสร้างสารแคปไซซินเกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่บริเวณรก (placenta) นอกจากนั้นยังเกิดขึ้นบ้างบริเวณเซลล์ผิวรอบๆ ผิวของผล (pericarp) (Govindarajan, 1986) ระหว่างการเจริญและการสุกแก่ของผลโดยสารแคปไซซินเกิดจากการรวมตัวกันของ vanillylamine ซึ่งเป็นสารตัวกลางจาก phenyl propanoid pathway กับ 8-methyl nonenoic acid (ภาพที่ 2.1) ซึ่งเป็นกรดไขมัน โดยเอนไซม์แคปไซซินซินเทส (CS) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Prasad et al., 2006) ทั้งนี้ปริมาณสารแคปไซซินในรกกจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักผลโดยพบปริมาณสารแคปไซซินนอยด์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามการพัฒนาของผล (Iwai et al., 1979) ซึ่งในระยะเวลาที่พริกสุกแก่เต็มที่ (ผลสีแดง) มีปริมาณสารแคปไซซินนอยด์มากกว่าพริกที่ยังไม่สุกแก่เต็มที่ (ผลสีเขียว) (Ogbadu et al., 1989) Nunez-Palenius and Ochoa-Alejo (2005) ทำการศึกษาถึงสารตัวกลางที่ได้จากกระบวนการ phenyl propanoid pathway คือ Phenylalanine, cinnamic acid, *p*-coumaric acid, caffeic acid, ferulic acid, vanillin และ vanillylamine ต่อการสร้างสารแคปไซซินในกระบวนการเพาะเลี้ยงเซลล์ พบว่า vanillin และ vanillylamine มีผลต่อปริมาณสารแคปไซซินนอยด์มากที่สุด (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของสารในกลุ่ม capsaicinoid

Capsaicinoid name	Typical relative amount	Scoville heat units	Chemical structure
Capsaicin	69%	16,000,000	
Dihydrocapsaicin	22%	15,000,000	
Nordihydrocapsaicin	7%	9,100,000	
Homodihydrocapsaicin	1%	8,600,000	
Homocapsaicin	1%	8,600,000	

ที่มา : Wikipedia (2005)

Nunez-Palenius and Ochoa-Alejo (2005) ทำการศึกษาถึงสารตัวกลางที่ได้จากกระบวนการ phenyl propanoid pathway คือ Phenylalanine, cinnamic acid, *p*-coumaric acid, caffeic acid, ferulic acid, vanillin และ vanillylamine ต่อการสร้างสารแคปไซซินในกระบวนการเพาะเลี้ยงเซลล์ พบว่า vanillin และ vanillylamine มีผลต่อปริมาณสารแคปไซซินน้อยที่สุด (ตารางที่ 2.2) และปริมาณสารแคปไซซินในผลพริกและปริมาณความเผ็ดสอดคล้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ CS โดยในพันธุ์พริกที่เผ็ดมาก จะมีปริมาณสารแคปไซซิน และความเผ็ดสูง และมีกิจกรรมของเอนไซม์ CS ในรากสูงตามไปด้วย (ตารางที่ 2.3) ทั้งนี้ปริมาณเอนไซม์ CS เพิ่มขึ้นไปพร้อมๆ กับการเพิ่มขึ้นของสารแคปไซซิน (Prasad et al., 2006)

การสร้างสารแคปไซซินในผลพริกมีปริมาณสูงสุดเมื่อการพัฒนาของผลเจริญเต็มที่ หลังจากนั้นปริมาณสารแคปไซซินจะลดลง ซึ่งการลดลงของปริมาณสารแคปไซซินในผลพริกนั้น สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณสารแคปไซซินในผลพริก (Contreras-Padilla and Yahia., 1998)

ตารางที่ 2.2 ผลของ phenylalanine และ phenylpropanoids ต่อการสะสมของสาร capsaicinoid ในสภาพการเพาะเลี้ยงเซลล์ของพริก *Capsicum annuum* L.

Treatment (100mM)	Days of culture					
	3	6	9	12	15	18
Control	12.72 c	24.14 bc	14.38 c	9.54 c	8.92 b	14.12 c
Phenylalanine	10.97 c	20.96 bc	7.29 c	4.47 c	10.56 b	16.95 c
Cinnamic acid	8.84 c	5.85 c	9.20 c	4.78 c	5.16 b	5.97 c
p-Coumaric acid	52.24 b	130.31 a	28.07 c	98.63 b	102.61 a	22.33 c
Caffeic acid	28.63 bc	22.40 bc	23.71 c	24.20 c	39.38 b	17.74 c
Ferulic acid	21.46 bc	54.33 b	40.07 c	35.90 c	36.17 b	20.07 c
Vanillin	127.95 a	120.39 a	153.74 a	188.99 a	83.62 a	180.96 a
Vanillylamine	153.48 a	111.83 a	89.59 b	82.81 b	100.8 a	90.74 b

ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Turkey's test ($P < 0.01$)

ที่มา : Nunez-Palenius and Ochoa-Alejo (2005)

Ahmed et al. (1983) รายงานว่าความเผ็ดเป็นยีนเด่นและเป็นลักษณะยีนบวกเพิ่ม (additive gene) และความเผ็ดนั้นขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่าง genotype และผลกระทบร่วมกันระหว่าง genotype และสิ่งแวดล้อมมากกว่าผลจากสภาพแวดล้อมเพียงอย่างเดียวซึ่ง genotype ต่างกันความแปรปรวนภายใน genotype ก็มีความแตกต่างกันด้วย Yayah and Bosland (2000) สำหรับพันธุกรรมของพริกจากการศึกษาด้วยเทคโนโลยีชีวภาพ พบว่าลักษณะความเผ็ดของพริกเป็นลักษณะเชิงปริมาณซึ่งถูกควบคุมด้วยยีนหลายคู่และสายพันธุ์ที่แตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณสารแคปไซซินแตกต่างกันด้วย พรสวรรค์ และจันง (2525) ได้ศึกษาปริมาณสารแคปไซซินของพริกที่ขายในท้องตลาดประเทศไทยพบว่าปริมาณสารแคปไซซินอยู่ในช่วง 0.02-0.04 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) ต่อมา กรองแก้ว (2535) ได้ศึกษาการสกัด capsaicin ในพริก 4 ชนิด พบว่าพริกชี้หูสวนมีปริมาณสารแคปไซซิน สูงที่สุดรองลงมาคือพริกชี้หูเม็ดใหญ่ พริกชี้ฟ้า และพริกเหลืองตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับ สุชีลา และคณะ (2547) ที่ศึกษาปริมาณสารแคปไซซินใน พริกที่เป็นพันธุ์ในประเทศไทยนั้นพบว่า พริกชี้หูสวนมีปริมาณสารแคปไซซินมากที่สุด รองลงมาคือ พริกยอดสน

ตารางที่ 2.3 กิจกรรมของเอนไซม์แคปไซซินซินเทส (CS) ในพันธุ์พริกที่มีระดับความเผ็ดต่างกัน
ในระยะ 28 วันหลังดอกบาน

Genotype	Pungency (scoville heat units)	Capsaicin ($\mu\text{M/g}$)	CS specific activity in placental tissues, *units/mg protein/h
<i>C. Frutescens</i> (M-4)	583,650 $\pm$ 2453	72 $\pm$ 3.4	35.26 $\pm$ 2.21
<i>C. Frutescens</i> (AWz)	319,605 $\pm$ 1265	31 $\pm$ 2.5	25.44 $\pm$ 1.24
<i>C. annuum</i> (ArkaAbhir)	602 $\pm$ 21	0.1 $\pm$ 0.01	2.24 $\pm$ 0.25

*one unit of CS active refer to 1 nM capsaicin produced per mg protein per hour.

ที่มา : Prasad et al. (2006)

2.4 ผลของธาตุไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์จำนวนมากในต้นพืช ส่วนหนึ่งของสารเหล่านั้น ได้แก่ กรดอะมิโน โปรตีน กรดนิวคลีอิก โพลีเอมีน (polyamine) และคลอโรฟิลล์ พืชส่วนมากดูดซึมไนโตรเจนในรูปของไนเตรท (nitrate) และ แอมโมเนียม (ammonium) ที่อยู่ในสารละลายดิน เมื่อพืชดูดซึมไนโตรเจนเข้าไปในเนื้อเยื่อของราก และลำเลียงไปยังเนื้อเยื่อของใบ พืชจะเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ (nitrite) โดยเอนไซม์ไนเตรทรีดักเตส (nitrate reductase) ซึ่งเกิดภายในไซโตพลาสซึม จากนั้นไนไตรท์จะถูกลำเลียงเข้าไปภายในพลาสติก หรือคลอโรพลาสต์ และถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียมโดยเอนไซม์ไนไตรท์รีดักเตส (nitrite reductase) ในเซลล์อื่นไนเตรทเป็นรูปที่พืชดูดซึมไปใช้เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากแอมโมเนียมถูกออกซิไดส์โดยจุลินทรีย์ในดิน ให้เป็นไนไตรท์ และไนเตรทตามลำดับโดยกระบวนการ nitrification (Taiz and Zeiger, 1991; Lea, 1997) แอมโมเนียมที่อยู่ภายในพลาสติกหรือคลอโรพลาสต์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกลูตามีน (glutamine) และกลูตาเมต (glutamate) ซึ่งเกิดขึ้นเป็นวัฏจักร โดยเอนไซม์ glutamine synthetase (GS) และ glutamate synthase (GOGAT) กลูตามีนและกลูตาเมตที่ได้จากวัฏจักรนี้จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ asparagine และกรดอะมิโนอื่นๆ ใน aspartate family และกรดอะมิโนที่เป็น branched chain (Lea, 1997) ส่วนกรดอะมิโนที่อยู่ในกลุ่ม aromatic ถูกสังเคราะห์จากกระบวนการ Shikimic acid pathway (Hermann, 1995) โดยกรดอะมิโนที่ได้ชนิดต่างๆ จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ polypeptide โปรตีน หรือ เอนไซม์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการลำเลียงสารเข้าออกนอกเซลล์ และออร์กาเนลล์

เป็นองค์ประกอบของเซลล์เมมเบรน และก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายในเซลล์ และออร์แกเนลล์ (Campbell, 1990)

2.5 ผลของธาตุโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักอีกธาตุหนึ่งที่พืชต้องการในปริมาณมาก และมีความแตกต่างจากธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เพราะโพแทสเซียมไม่ได้ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างของเนื้อเยื่อพืช ซึ่งไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของโปรตีนและฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบกรดนิวคลีอิก แต่โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีในพืช กล่าวคือ โพแทสเซียมมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสถานะภาพของน้ำในดินพืช (water regime) ควบคุมการเปิดปิดของปากใบ ช่วยให้การสังเคราะห์ด้วยแสงและการลำเลียงอาหาร นอกจากนี้โพแทสเซียมยังมีบทบาทสำคัญต่อการสังเคราะห์โปรตีนและกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลาย ชนิด (Mengel and Kirkby, 1987; Marschner, 1995) โพแทสเซียมจะมีผลต่อการผลิตพืชโดยการเพิ่มการเจริญเติบโตของพืช และเพิ่มกระบวนการสังเคราะห์ (synthetic process) ให้มากขึ้นด้วย (Mengel and Kirby, 1987) พืชแต่ละชนิดจะต้องการโพแทสเซียมเพื่อการเจริญเติบโตตามปกติในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วพืชต้องการโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 2-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ในระยะการเจริญทางลำต้นและใบ (vegetative stage) ถ้าหากพืชได้รับโพแทสเซียมในปริมาณที่ไม่เพียงพอ จะทำให้การเจริญเติบโตลดลง โพแทสเซียมที่สะสมอยู่ในใบแก่และอวัยวะอื่นๆ จะเคลื่อนย้ายทางท่อลำเลียงอาหาร (phloem) ไปยังเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญเติบโต เช่น ใบอ่อน ยอด (Marschner, 1995) ดังนั้นการขาดโพแทสเซียมจะแสดงอาการที่ใบแก่ โดยพืชจะแสดงอาการใบเหลือง (chlorosis) และอาการตายของเนื้อเยื่อ (necrosis) โดยจะเริ่มจากขอบใบ (leaf margin) และปลายใบ (leaf tip) ในกรณีของธัญพืชอาการดังกล่าวจะเป็นรูปตัว V หัวออกซึ่งต่างจากการขาดไนโตรเจนซึ่งจะเป็นรูปตัว V หัวเข้า (Mengel and Kirby, 1987) พืชจะมีการเจริญเติบโตช้า การสร้างลิกนิน (lignin) ของท่อน้ำท่ออาหาร (vascular bundle) จะเกิดน้อย ลำต้นไม่แข็งแรงทำให้พืชล้มง่าย (ยงยุทธ, 2543) การขาดโพแทสเซียมจะมีผลทำให้เกิดการสลายตัวของ chloroplast และ mitochondria (Marschner, 1995) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้พืชมีสีเหลือง พืชที่ขาดโพแทสเซียมจะไม่ทนต่อสภาพการขาดน้ำ (water stress) และมักเป็นโรคร่าย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงด้านกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด และปริมาณของอินทรีย์สาร ซึ่งทำให้พืชอ่อนแอต่อโรค (Marschner, 1995) การสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดลง ส่วนการหายใจจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการขาดโพแทสเซียมมีผลกระทบต่อการควบคุมการเปิดปิดของปากใบ ทำให้การแพร่กระจายของ CO₂

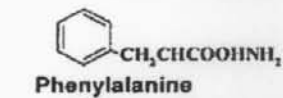
การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง การเคลื่อนย้ายน้ำตาลในท่อลำเลียงอาหารมีน้อยเกิดการสะสมน้ำตาลที่ใบ (สมบุญ, 2536)

2.6 ผลกระทบของแร่ธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและปริมาณสารแคปไซซิน

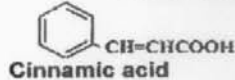
การขาดธาตุไนโตรเจนทำให้พริกมีการเจริญเติบโตช้า กิ่งสั้น ขนาดเล็กเรียวและมีจำนวนใบไม่มาก ใบมีขนาดเล็กและผิดรูปร่าง สีของใบจะค่อยๆเปลี่ยนไปจากสีเขียวอ่อนไปจนถึงสีเขียวอมเหลืองซึ่งจะร่วงก่อนวัย ผลขนาดเล็กเรียวและผลด่าง การเจริญเติบโตของพืชถูกยับยั้งลงเนื่องจากการขาดโพแทสเซียม จำนวนใบลดลงอย่างมาก ขนาดเล็กลงและสีกลายเป็นสีเหลือง เกิดแผลเน่าขนาดเล็กพัฒนาตามเส้นใบแล้วเกิดการร่วงของใบในระยะต่อมา ใบมีวันที่มีจุดเน่าและขอบใบไหม้เนื่องจากการขาดโพแทสเซียม (สัมฤทธิ์, 2538) การเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนมีผลต่อผลผลิตที่เพิ่มขึ้น แต่โพแทสเซียมและปฏิกิริยา ไนโตรเจน/โพแทสเซียม ไม่มีผลกระทบทางสถิติ และความต้องการของไนโตรเจนในการปลูกพริก Bell pepper ที่ University California Davis (UCD) และ West Side Field Station ในสภาพการให้น้ำแบบหยด พบว่าทั้งสองพื้นที่ให้ผลที่เหมือนกันคือ ไนโตรเจนที่ระดับ 252 กก./เฮกตาร์ ให้ผลผลิตและขนาดผลดีที่สุด (Hartz, 1993) Dufault (1994) ได้ศึกษาการให้อัตราไนโตรเจนในต้นกล้าพริก Bell pepper ทำการศึกษาข้อมูลที่พืชอายุ 38 วันหลังจากเพาะเมล็ด พบว่าระดับไนโตรเจนที่เหมาะสมคือ 225 มิลลิกรัม/ลิตร ฟอสฟอรัส 45 มิลลิกรัม/ลิตร และพบว่าระดับของไนโตรเจนมีผลต่อน้ำหนักสดต้น, น้ำหนักแห้งต้น, น้ำหนักแห้งราก แต่ส่วนของความสูงต้นกล้า และ จำนวนของใบ มีผลจากอิทธิพลของโพแทสเซียมมากกว่าไนโตรเจน และระดับของไนโตรเจนที่มีผลต่อการเจริญเติบโตหลังจากย้ายปลูก พบว่าไนโตรเจนที่ระดับ 200 มิลลิกรัม/ลิตร และ ฟอสฟอรัส 60 มิลลิกรัม/ลิตร ให้การเจริญเติบโตที่ดี และยังมีอายุของการบานของดอกเร็วที่สุดด้วย Bar-Tal (2001) พบว่าในการปลูกพริก Bell pepper การให้ไนโตรเจนที่ 115 มิลลิกรัม/ลิตร ให้คุณภาพและผลผลิตดีที่สุด (Schon, 1994) ปลูกพริกพันธุ์ Midal ในวัสดุปลูกคือ Rockwool พบว่าไนโตรเจนที่ระดับ 175 มิลลิกรัม/ลิตรให้การเจริญเติบโตของพืชที่ดีกว่าไนโตรเจนในระดับ 60, 90 และ 120 มิลลิกรัม/ลิตร และไนโตรเจนระดับ 175 มิลลิกรัม/ลิตร ให้ผลผลิตและน้ำหนักผลมากกว่า และ Estrada et al., (1999) พบว่าพริก Padron ที่ไม่ได้รับธาตุอาหารและได้รับธาตุอาหาร 2 ระยะ คือ ระยะการเจริญเติบโตทางกิ่งและใบ (13-40-13) และระยะออกดอก (15-11-15) ในอัตรา 0.1 กรัม/ครั้ง/สัปดาห์ มีปริมาณสาร capsaicinoid สูงขึ้น การศึกษาของ

Proposed Capsaicinoid Biosynthetic Pathway

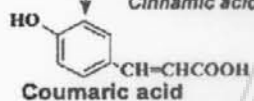
Phenyl Propanoid Pathway



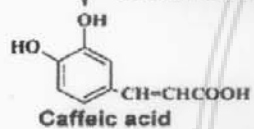
Phenylalanine ammonia lyase (PAL)



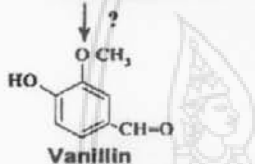
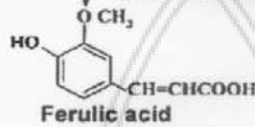
Cinnamic acid 4-hydroxylase (Ca4H)



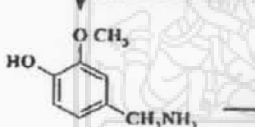
Coumaric acid 3-hydroxylase (Ca3H)



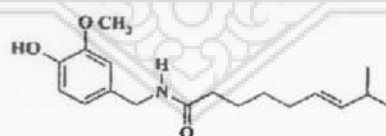
Caffeic acid O-methyl transferase (CoMT)



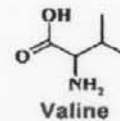
Amino transferase (AMT)



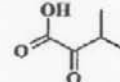
Capsaicin synthase (CS)



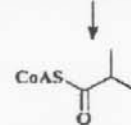
Valine Pathway



Branched chain amino acid transferase (BCAT)

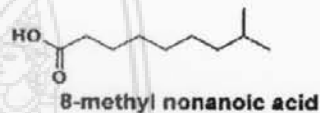


α-Keto isovalerate



Isobutyryl CoA

3xMalonyl CoA



8-methyl nonanoic acid dehydrogenase (8-MNAD)



8-methyl-6-nonenic acid

ภาพที่ 2.1 กระบวนการสังเคราะห์ Capsaicin. PAL, phenylalanine ammonia lyase;

Ca4H, cinnamic acid 4 hydroxylase; Ca3H, coumaric acid 3 hydroxylase; CoMT, caffeic acid O methyltransferase; pAMT, putative amino transferase; CS, capsaicin synthase; KAS, keto acyl synthase. (Prasad et al., 2006)

Johnson and Decoteau (1996) ที่ศึกษาถึงอิทธิพลของไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่มีผลต่อระดับของสารcapsaicinoid ในพริก Jalapeno พบว่าอัตราไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นทำให้พืชเจริญได้ดี และมีปริมาณของcapsaicinoid สูงที่สุดอยู่ที่ระดับ ระดับ 210 และ 295 มิลลิกรัม/ลิตร และโพแทสเซียมที่ 234 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และปริมาณของ dihydrocapsaicin จะเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ไนโตรเจน และปริมาณของโพแทสเซียมไม่มีผลต่อปริมาณสาร capsaicin ต่อมา Medina-Lara et al., (2008) ศึกษาถึงอิทธิพลของไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่มีผลต่อระดับของสาร capsaicinod ในพริก habanero พบว่าอัตราไนโตรเจนที่ทำให้พืชเจริญได้ดีและมีปริมาณของcapsaicinoid สูงที่สุดอยู่ที่ ระดับ 210 มิลลิกรัม/ลิตร และโพแทสเซียมที่ 351 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

2.7 การใช้ประโยชน์จากพริก

พริกเป็นส่วนประกอบอาหารที่จำเป็นในทุกๆ บ้านของชาวโลกในเขตร้อน พริกได้รับความชื่นชอบในกลิ่นฉุนเผ็ด ร้อน รสเครื่องเทศ นอกจากนี้ยังมีสีของเม็ดพริกเพิ่มสีสันลงไปในการชวนให้น่ารับประทาน ในแง่ของคุณค่าทางโภชนาการพบว่าพริกมีวิตามิน C มากกว่าส้มถึง 2 เท่า เมื่อวิเคราะห์เนื้อผลในจำนวนที่เท่ากัน นอกจากนี้พริกยังเป็นแหล่ง กรดแอสคอร์บิกแอซิด (Ascorbic acid) ซึ่งช่วยขยายเส้นโลหิตในลำไส้และกระเพาะอาหารเพื่อให้การดูดซึมอาหารได้ดีขึ้น พริกยังเป็นแหล่งของเบตาแคโรทีน (β -carotene) นอกจาก Ascorbic acid แล้วพริกยังมีสารสำคัญอีก 2 ชนิด คือ แคปไซซิน (Capsaicin) และ โอเลโอเรซิน (Oleoresin) ทั้ง Ascorbic acid และ β -carotene ล้วนมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ซึ่งเชื่อว่าสามารถลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งและยังช่วยลดความแก่ และการบริโภคพริกยังช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอล (Cholesterol) ในเส้นเลือดลงได้สาร Capsaicin ช่วยป้องกันมิให้ตับสร้างคอเลสเตอรอลชนิดไม่ดี (LDL-Low Density Lipoprotein) ในขณะที่เดียวกันก็ส่งเสริมให้มีการสร้างคอเลสเตอรอลชนิดดี (HDL-High Density Lipoprotein) มากขึ้น ทำให้ปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ในกระแสเลือดต่ำลง ส่งผลดีต่อสุขภาพ และพริกช่วยเสริมสร้างสุขภาพและอารมณ์ให้ดีขึ้น เนื่องจากสาร Capsaicin มีส่วนในการส่งสัญญาณให้ต่อมใต้สมองสร้างสารเอนดอร์ฟิน (Endorphin มาจากคำว่า Endogenous morphine) ขึ้น สาร Endorphin เป็นเปปไทด์ (Peptide) ขนาดเล็กมีคุณสมบัติคล้ายมอร์ฟีน (Morphine) คือ บรรเทาอาการเจ็บปวด ในขณะเดียวกัน Endorphin ช่วยทำให้อารมณ์ดีขึ้น และจากการทดลองหา Capsaicin บริเวณผิวหนังพบว่า Capsaicin จะเคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่ผิวหนังแล้วไปออกฤทธิ์ต่อเซลล์ประสาทและจะไปลดหรือชะลอการหลั่ง Neuropeptide Substance P จากเซลล์ประสาทรับความรู้สึกส่วนปลาย ส่งผลให้สมองส่วนกลางรับรู้การเจ็บปวดได้ช้าลงจึงช่วยบรรเทา

อาการปวดได้ และยังช่วยให้การไหลเวียนของเลือดเพิ่มขึ้น (ธนวัฒน์, 2549) และมีการผลิตสเปิร์มป้องกันตัวโดยใช้พริกเป็นส่วนประกอบสำคัญสเปิร์มดังกล่าวนี้ไม่ก่อให้เกิดอันตรายถึงชีวิต แต่การฉีดเข้าตาโดยตรงจะมีผลทำให้ตามองไม่เห็นเป็นเวลาสองสามนาที่ ซึ่งนานพอที่จะทำให้เกิดการแก้ไขสถานการณ์ต่างๆ ได้ (สัมพันธ์, 2546)

ปัจจุบันมีมีการศึกษาการนำสารสกัดจากพริกมาป้องกันโรคนิวคาสเซิลและด้านทานการเจริญของเชื้อ *Samoneiia enteritidis* ในไก่กระທทั้งนี้ได้มีการนำพริกมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์เพื่อลดการใช้สารปฏิชีวนะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการนำมาใช้เลี้ยงไก่ และสุกร (นวลจันทร์ และคณะ, 2547; ชวนพิศ, 2547)

