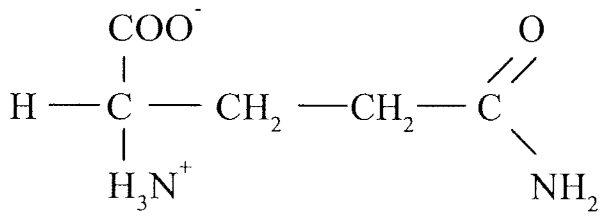
บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 กลูตามีน (Glutamine)

กลูตามีนเป็นกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Non-essential amino acid) ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxylic group, -COOH) หมู่อะมิโน (Amino group, NH_2) อะตอมไฮโดรเจน และหมู่ R (Side chain) ต่ออยู่กับอะตอมของคาร์บอนที่ตำแหน่งแอลฟา (α-carbon) มีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในภาพที่ 2.1 กลูตามีนเป็นกรดอะมิโนอิสระที่มีอยู่ทั่วไปในน้ำเลือดของสัตว์พบประมาณ 30-35% ของกรดอะมิโนทั้งหมดในพลาสมา (พัชรีและคณะ, 2551; Bartell and Batal, 2007)



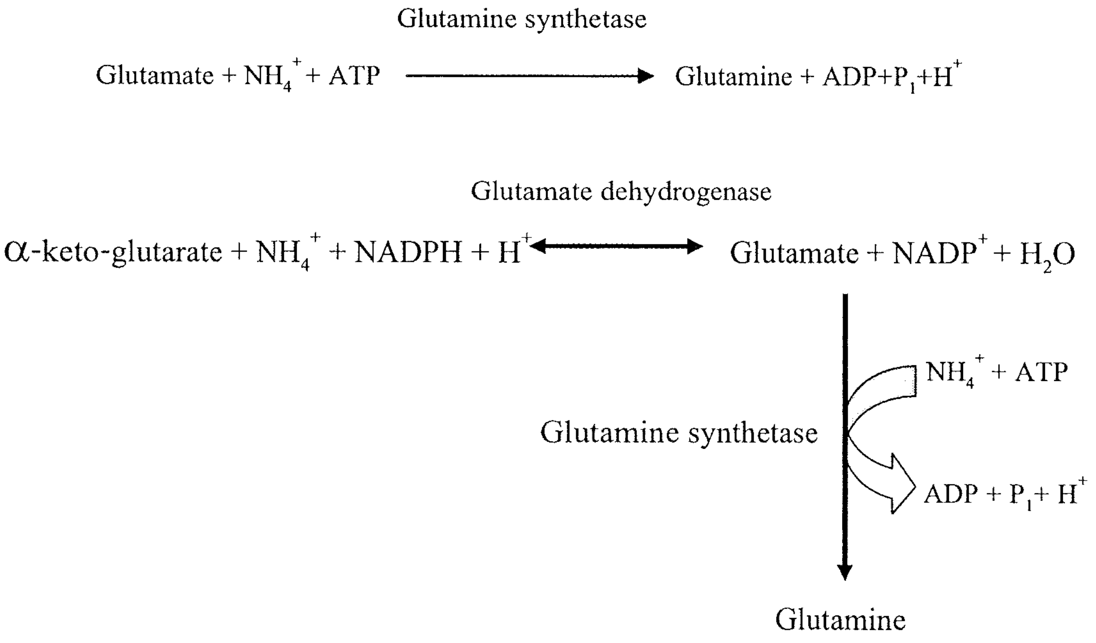
ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของกลูตามีน (พัชรี และคณะ, 2551)

กรดอะมิโนกลูตามีน มีวิถีการสังเคราะห์ที่คล้ายกับการสังเคราะห์กลูตาเมท (Glutamate) และโพรลีน (Proline) โดยจะใช้โครงคาร์บอนจากสารตั้งต้นที่มีโครงสร้างคล้ายแอลฟาคีโตแอซิดของกรดอะมิโน ซึ่งเป็นสารกึ่งกลางในวัฏจักรเครบส์หรือไกลโคไลซิส จากนั้นจะมีการเติมหมู่อะมิโนเข้าไปได้ผลผลิตเป็นกรดอะมิโน โดยอาศัยเอนไซม์ที่ต้องการไพริด็อกซัลฟอสเฟตเป็นโคเอนไซม์ ซึ่งกลูตาเมทจะถูกสังเคราะห์จากสารแอลฟาคีโตแอซิด กลูตาเรท และแอมโมเนีย โดยการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์กลูตาเมทไฮโดรจีเนสซึ่งอยู่ในเมทริกซ์ของไมโตคอนเดรีย

$$NH_4^+ + \alpha\text{ - Ketoglutarate} + \text{NADPH} \xrightarrow{\text{Glutamate dehydrogenase}} \text{Glutamate} + \text{NADP}^+ + H_2O$$

ปฏิกิริยาข้างต้นนี้เป็นปฏิกริยาที่สำคัญและเป็นพื้นฐานในการสังเคราะห์กรดอะมิโนทุกชนิด เพราะกลูตาเมทที่ได้จะทำหน้าที่เป็นตัวให้หมู่อะมิโนในกระบวนการสังเคราะห์

กรดอะมิโนชนิดอื่น โดยใช้ปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายหมู่อะมิโน (พัชรี และคณะ, 2551) กลูตามีนสังเคราะห์จากกลูตาเมท โดยเอ็นไซม์กลูตามีนซินทีเทส (Glutamine synthetase)

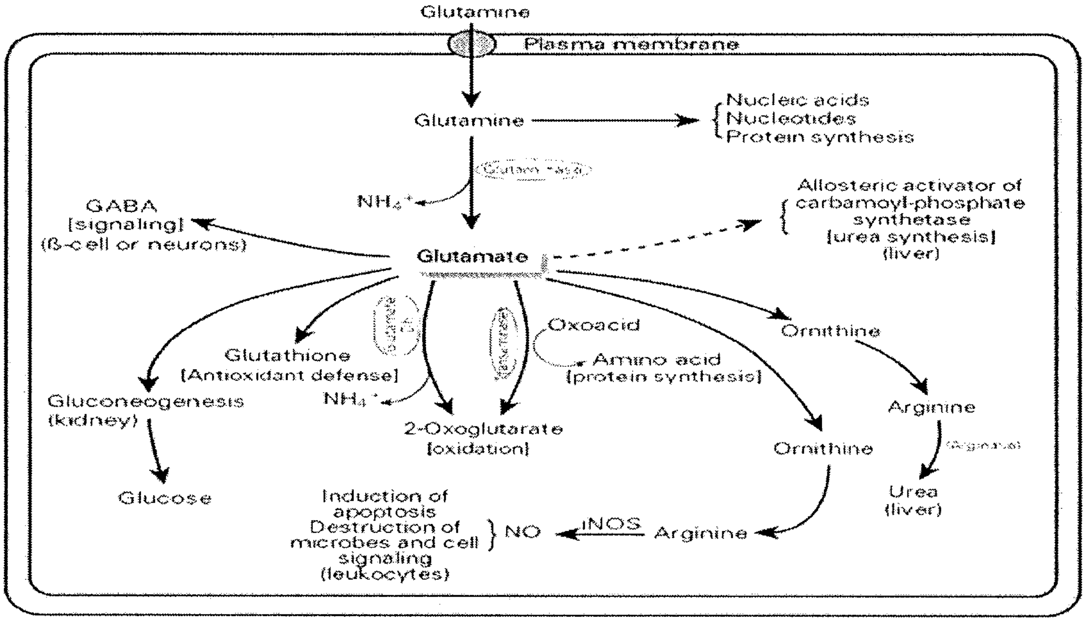


***ภาพที่* 2.2** แสดงวิถีการสังเคราะห์กรดอะมิโนกลูตามีน (Morse, 1999)

2.1.1 กระบวนการเมแทบอลิซึมของกลูตามีน

โดยทั่วไปในเซลล์สิ่งมีชีวิตสามารถสังเคราะห์กลูตามีนได้จากกลูตาเมทในกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกาย เพื่อให้ได้กลูตามีนจะต้องอาศัยการทำงานของเอ็นไซม์กลูตามีนซินทีเทสในการเร่งปฏิกิริยาจากกลูตาเมทและแอมโมเนีย ซึ่งภายในไมโตคอนเดรียกลูตามีนจะถูกกระตุ้นโดยเอ็นไซม์กลูตามิเนส (Glutaminase) ให้เปลี่ยนกลูตาเมทและแอมโมเนียเพื่อใช้ในกระบวนการต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.3 โดยจะเกิดขึ้นมากที่สุดในกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นอวัยวะสำคัญในการสังเคราะห์กลูตามีน และอวัยวะที่ใช้ประโยชน์จากกลูตามีนมากที่สุด คือลำไส้เล็กส่วนเจจูนัม (Miller, 1999) กลูตามีนพบปริมาณมากในกล้ามเนื้อ ตับ สมอง และเยื่อบุกระเพาะอาหาร โดยพบในเซลล์กล้ามเนื้อปริมาณสูงถึง 60% ของปริมาณกลูตามีนที่พบในร่างกาย ในเวลาที่ร่างกายได้รับความเครียดจากการเผาผลาญพลังงาน กลูตามีนจะถูกปลดปล่อยให้มีการหมุนเวียนในเนื้อเยื่อเพื่อปรับตัวให้ร่างกายมีการตอบสนองต่อความเครียดให้ดีขึ้น (Miller, 1999) การออกซิไดซ์คาร์บอนของกลูตามีนจะเกิดขึ้นในวัฏจักรของไตรคาร์บอกซิลิก (Tricarboxylic acid) ผลผลิตสุดท้าย

ที่ได้ คือ อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (Adenosine triphosphate; ATP) โดยกลูตามีนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกลูตาเมท อะลานีน ซิตรูลีน และโพรลีน (Sornsuvit, 2007)

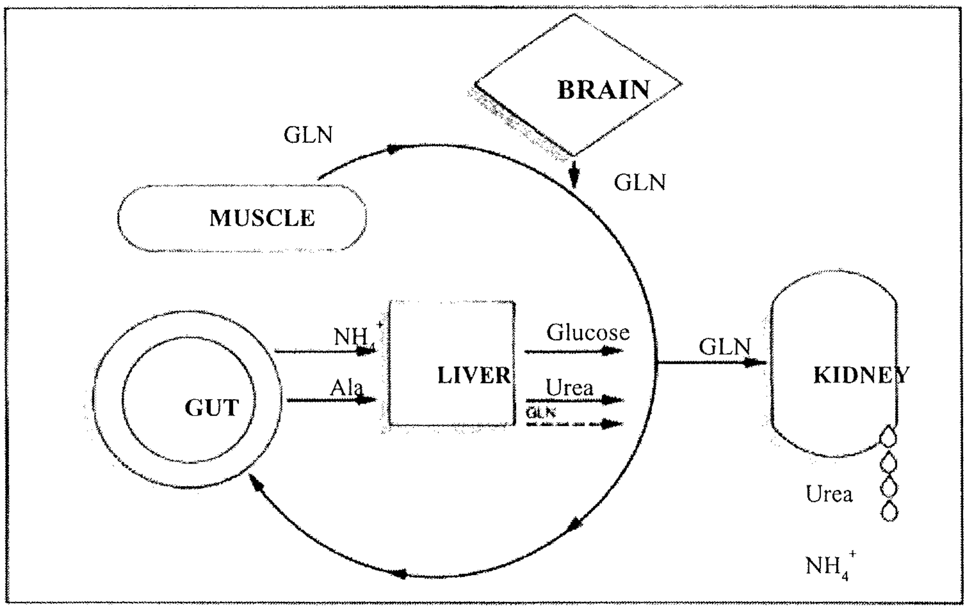


ภาพที่ 2.3 แสดงวิถีเมแทบอลิซึมของกลูตามีนในร่างกาย (Sornsuvit, 2007)

2.1.2 หน้าที่และประโยชน์ของกลูตามีนในร่างกาย

กลูตามีนเป็นกรดอะมิโนอิสระที่มีอยู่ทั่วไปในน้ำเลือดของสัตว์ มีความสามารถในการทำงานโดยการเคลื่อนย้ายแลกเปลี่ยนไนโตรเจนในเนื้อเยื่อ และมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึม ซึ่งวิถีการขนส่งกลูตามีนในร่างกายได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.4 กลูตามีนประกอบด้วยแอมโมเนีย 2 กลุ่ม กลุ่มแรกได้จากสารตั้งต้นกลูตาเมท และอีกกลุ่มมาจากแอมโมเนียอิสระในกระแสเลือด กลูตามีนมีหน้าที่คล้ายกับไนโตรเจนชัตเทิล (Nitrogen shuttle) ซึ่งทำหน้าที่ในการปกป้องร่างกายจากระดับแอมโมเนียที่สูงเกินไป นอกจากนี้ยังเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์โปรตีน พิวรีน ไพริมิดีน นิโคตินาไมด์อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ (Nicotinamide adenine dinucleotide; NAD^+) และนิวคลีโอไทด์ โดยทั่วไปแล้วลำไส้เล็กเป็นอวัยวะหลักของสัตว์ที่ใช้ประโยชน์จากกลูตามีน โดยจะมีการดูดซึมที่ลำไส้เล็ก และเปลี่ยนกลูตามีนกลายเป็นซิทรูลีน (Citruline) เพื่อใช้ในการสังเคราะห์อาร์จินีน นอกจากนั้นยังเป็นกรดอะมิโนตัวหนึ่งที่มีความสำคัญต่อร่างกายในกรณีได้รับความเครียดจากกระบวนการเมแทบอลิซึม การบาดเจ็บ การติดเชื้อในร่างกาย การควบคุมสมดุลกรด-ด่าง ควบคุมการขับกรดในไต ป้องกันการเกิดภาวะที่กระเพาะมีสภาพเป็นกรด และป้องกันร่างกายจากการเกิดสารพิษ กลูตามีนเป็นกรดอะมิโนกลุ่มที่ไม่จำเป็นแต่มี

ความสำคัญเป็นอย่างมาก ส่วนใหญ่จะถูกสังเคราะห์และเก็บไว้ในกล้ามเนื้อลายซึ่งมีส่วนสำคัญในการสร้างพลังงาน จำเป็นในการผลิตกลูโคส ไกลโคเจนและยังสามารถเป็นแหล่งพลังงานของเอนเทอร์โรไซท์และลิมโฟไซท์ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นสารอาหารของระบบภูมิคุ้มกัน (Yi et al., 2005; Bartell and Batal, 2007) นอกจากนี้กลูตามีนยังเป็นสารตั้งต้นในการให้อะตอมของไนโตรเจนเพื่อใช้ในการสังเคราะห์กลูตามีนเอง และมีบทบาทสำคัญในการควบคุมความสมดุลกรด-ด่าง การเกิดแอมโมเนียระดับสูงที่ไต มีส่วนสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน ลดการเสื่อมสภาพของโปรตีนในกล้ามเนื้อโดยการกระตุ้นการสังเคราะห์ของไกลโคเจน (Sornsuvit, 2007)



ภาพที่ 2.4 แสดงวิถีการขนส่งกลูตามีนในร่างกาย (Dharmananda, 2008)

มีงานวิจัยแสดงให้เห็นว่ากรดอะมิโนในอาหาร สามารถลดการเสื่อมสภาพของเซลล์ในลำไส้ได้ โดยเฉพาะกลูตามีนสามารถใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของเนื้อเยื่อในลำไส้ และมีประโยชน์ในการกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มจำนวนของเซลล์ โดยจะไปส่งเสริมกิจกรรมการทำงานของเอ็นไซม์ออนิทีนดีคาร์บอกซิเลส (Ornithine decarboxylase) มีผลในการส่งเสริมพื้นที่การดูดซึมของเนื้อเยื่อในลำไส้ และยังเป็นสารตั้งต้นในการสร้างโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มอวัยวะ เช่น ทูเมอร์เนโครซีสแฟคเตอร์ (Tumor necrosis factor) และอินเตอร์ลิวคินชนิดที่ 1 (Interleukin-1) นอกจากนั้นกลูตามีนยังจำเป็นในการสร้างฟอสโฟไลปิดเพื่อให้เยื่อหุ้มเซลล์มีความแข็งแรง และทนต่อการถูกพิโนไซโตซิส (Pinocytosis) หรือฟาโกไซโตซิส (Phagocytosis) ตามปกติลิมโฟไซท์ และแมคโครฟาจต้องการกลูตามีนเพื่อเป็นสารอาหาร โดยกลูตามีนมีผลในการกระตุ้นการเพิ่มจำนวนเซลล์ลิมโฟไซท์ และทำให้อัตราส่วนของ CD4/CD8

เพิ่มขึ้นสำหรับการสร้างภูมิต้านทานของลำไส้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความปกติของเยื่อบุลำไส้ที่ทำหน้าที่ป้องกันเชื้อโรค ซึ่งต้องอาศัยการทำหน้าที่ของทีเซลล์ซีครีทอรีอิมมูโนโกลบูลินชนิดเอ (T-cell secretory IgA) และแมคโครฟาจ (Kandil et al., 1995; Reeds and Burrin, 2001)

จากทดลองเสริมกลูตามีนในอาหารหนู พบว่ากลูตามีนมีบทบาทสัมพันธ์กับการทำงานของเซลล์ต่างๆ ในลำไส้เล็ก โดยสามารถเพิ่มการแลกเปลี่ยนโซเดียมไอออนและไฮโดรเจนไอออนที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ และเพิ่มการทำงานของออนิทีนดีคาร์บอกซิเลส นอกจากนั้นยังสามารถยกระดับการถอดรหัสทางพันธุกรรม โดยไปเพิ่มการทำงานของโปรตีนไคเนส (Protein kinase) ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นกระบวนการไมโตจีเนซิส (Mitogenesis) อีกทั้งยังมีผลต่อการเพิ่มจำนวนของเซลล์เอนเทอโรไซท์ในลำไส้และเซลล์ภูมิคุ้มกัน เช่น ลิมโฟไซท์ (Lymphocyte) นิวโทรฟิล (Nutrophil) การเพิ่มจำนวนของทีลิมโฟไซท์ (T-lymphocyte) และบีลิมโฟไซท์ (B-lymphocyte) และการแบ่งเซลล์ของแมคโครฟาจ นอกจากนั้นเซลล์สิ่งมีชีวิตยังต้องการกลูตามีนในการเป็นสารตั้งต้นของกรดนิวคลีโอไทด์ ซึ่งหน้าที่ของกลูตามีนได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และยังพบว่าในระบบทางเดินอาหารจะมีการใช้ประโยชน์จากกลูตามีนในปริมาณมากเมื่อเทียบกับอวัยวะส่วนอื่นๆ ในร่างกาย (Calder and Yaqoob, 1999; Miller, 1999)

ตารางที่ 2.1 แสดงหน้าที่ของกลูตามีนต่อการทำงานของเซลล์ และภูมิคุ้มกันในร่างกาย

Regulation of cell functions	
	Precursor of purine and pyrimidine
	Precursor of glutathione
	Interferes with L-arginine and oxide metabolism
	Regulates cell size by osmosignaling
	Stimulates Hsp formation
	Stimulates AMP-activated protein kinase pathway
Regulation of lymphocyte function	
	Stimulates Con-A- and PHA-induced proliferation
	Activates the expression of CD25, CD71, CD45RO
	Stimulates interferon α secretion
	Stimulates lymphokine-activated killer-cells
	Inhibits apoptosis
	Stimulates intestinal immunity (GALT)
	Increases proportion of natural killer cells in spleen
Regulation of monocyte function	
	Stimulates RNA synthesis
	Increases IL-1 secretion
	Stimulates phagocytosis of opsonized *E. coli* and oxidized erythrocytes
	Stimulates antigen presentation
	Increases expression of surface antigens
	Influences differentiation
	Improves antioxidant defenses

ที่มา: Roth (2008)

2.2 การเสริมกลูตามีนในอาหารไก่เนื้อ

กลูตามีนเป็นกรดอะมิโนที่มีบทบาทสำคัญหลายด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบทบาทในแง่ของการพัฒนาเซลล์ในระบบทางเดินอาหาร การกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน และสมรรถนะการเจริญเติบโต แต่ยังมีงานวิจัยส่วนน้อยที่ทดสอบเสริมกลูตามีนในอาหารสุกรและสัตว์ปีก อีกทั้งผลการทดลองที่ได้ยังมีข้อแย้งกันหลายประเด็น เช่น บางรายงานพบว่าการเสริมกลูตามีนสามารถเพิ่มการพัฒนาของเซลล์ต่างๆ ในระบบทางเดินอาหารแต่ไม่มีผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่ (Bartell and Batal, 2007; Fischer da Silva et al., 2007; Sakamoto et al., 2007) แต่บางรายงานพบว่ากลูตามีนสามารถเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโตได้ (Yi et al., 2005) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากความแตกต่างในส่วนของระดับกลูตามีนที่เสริม ระยะเวลาที่เสริม และระยะเวลาที่ทดลองซึ่งส่วนมากสิ้นสุดการทดลองที่ไก่อายุ 21 วัน ซึ่งอาจไม่สามารถบ่งบอกผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตได้ดีเท่าที่ควร

2.2.1 ผลของการเสริมกลูตามีนต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ

จากการรวบรวมเอกสารผลของการเสริมกลูตามีน ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 พบว่าการเสริมกลูตามีนในอาหารที่ระดับ 1% สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่เนื้อได้ (Soltan, 2009; Yi et al., 2005) อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างดังกล่าวในบางงานทดลอง (Murakami et al., 2007; Bartell and Batal, 2007; Maiorka et al., 2000) นอกจากนี้การเสริมกลูตามีนในระดับที่สูงขึ้น คือ 4% พบว่าส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต (Bartell and Batal, 2007) ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าการได้รับกลูตามีนในระดับที่สูงเกินไปมีผลทำให้เกิดพิษจากกระบวนการเมแทบอลิซึมได้ สำหรับงานทดลองที่ศึกษาวิจัยการเสริมกลูตามีนในสัตว์ชนิดอื่น เช่น ไก่งวงและสุกร พบว่ากลูตามีนสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารของไก่งวงในช่วงสัปดาห์แรก (Yi et al., 2001) และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารในลูกสุกรหย่านมได้ (Kitt et al., 2002) อีกทั้งกลูตามีนยังสามารถเพิ่มความสูงของวิลไลในสัตว์ปีก (Yi et al., 2001) และลูกสุกรหย่านม (Kitt et al., 2002) รวมถึงการเพิ่มจำนวนเซลล์ของชั้นเยื่อเมือกที่ลำไส้เล็ก และป้องกันการเข้าทำลายแบคทีเรียที่ผนังลำไส้ได้ดี โดยเฉพาะในช่วงที่สัตว์เกิดความเครียดซึ่งเป็นการง่ายต่อแบคทีเรียที่จะเข้าทำลายผนังเซลล์ ผ่านเข้าสู่กระแสเลือด และมีการติดเชื้อเกิดขึ้น (Johnson et al., 2006) ซึ่งการใช้กลูตามีนในอาหารไก่เนื้อพบว่าโดยส่วนใหญ่มีการเสริมกลูตามีนร่วมกับสารอื่น เช่น ไวตามินอี (Sakamoto et al., 2007) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกลูตามีนให้สูงขึ้น

ตารางที่ 2.2 ผลของการเสริมกลูตามีนต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ

Reference	Age (days)	Level	Weight gain (g)	FCR
Soltan (2009)	0-42	Control	2,099^{b}	1.85
		0.5%	2,162^{b}	1.82
		1.0%	2,273^{a}	1.75
		1.5%	2,082^{b}	1.83
		2.0%	2,054^{b}	1.83
Bartell and Batal (2007)	0-21	Control	706^{ab}	0.59
		1%	771^{a}	0.61
		4%	634^{b}	0.58
Bartell and Batal (2007)	0-21	Control	739^{b}	0.63
		1% Gln for 4 d	742^{b}	0.63
		1% Gln for 7 d	775^{ab}	0.65
		1% Gln for 14 d	791^{a}	0.67
		1% Gln for 21 d	805^{a}	0.65
Maiorka et al. (2000)	0-28	Control	1,069	1.42
		1%	1,089	1.41
Murakami et al. (2007)	0-21	Control	832	1.37
		1% (1-7 d)	843	1.37
		1% (1-14 d)	824	1.39
Yi et al. (2005)	0-28	Control	1,041^{c}	1.58^{bc}
		1%	1,156^{b}	1.61^{c}
		1% + vaccination	1,249^{a}	1.55^{a}

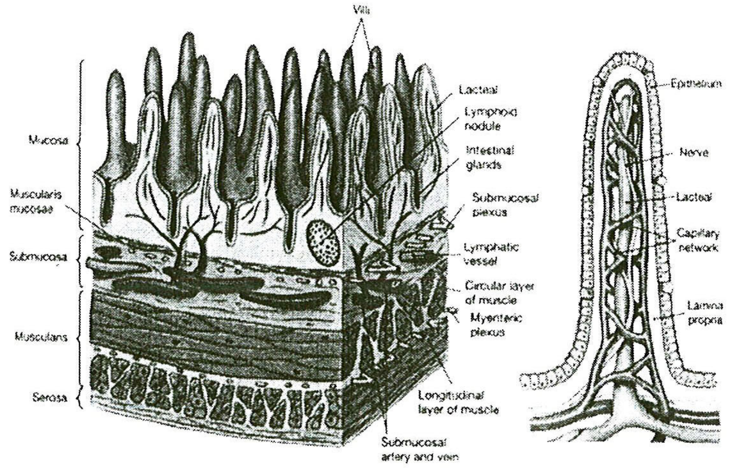
$^{a-c}$ Means with different superscripts in a column in each references are significantly different ($P<0.05$)

2.2.2 ผลของการเสริมกลูตามีนต่อการพัฒนาระบบทางเดินอาหารของไก่เนื้อ

โครงสร้างของลำไส้เล็กประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 4 ชั้น ได้แก่ ชั้นเยื่อหุ้มทางเดินอาหาร (Serosa) เป็นชั้นเยื่อเมือกที่อยู่ภายนอกสุดมีหน้าที่ปกคลุมลำไส้เอาไว้ ชั้นกล้ามเนื้อเรียบ (Muscuraris) ประกอบด้วย 2 ชั้น คือ ชั้นนอกเป็นชั้นที่กล้ามเนื้อเรียงตัวตามแนวยาวของลำไส้ และชั้นในเป็นชั้นที่กล้ามเนื้อเรียงตัวเป็นวงกลมล้อมรอบลำไส้เอาไว้ โดยระหว่างชั้นกล้ามเนื้อมีร่างแหประสาทอยู่ตรงกลาง ชั้นใต้เยื่อเมือก (Submucosa) เป็นชั้นของเนื้อเยื่อประสาน มีเส้นเลือดปมประสาทและหลอดน้ำเหลืองอยู่ในชั้นนี้ ชั้นเยื่อเมือก (Mucosa) เป็นชั้นที่มีส่วนสำคัญที่สุดของระบบย่อย และการดูดซึมสารอาหาร ดังแสดงในภาพที่ 2.5 ซึ่งลำไส้เล็กสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ลำไส้เล็กส่วนต้น (Duodenum) เป็นส่วนที่ต่อจากกระเพาะอาหาร และมีการย่อยอาหารมากที่สุด ต่อมาคือลำไส้เล็กส่วนกลาง (Jejunum) เป็นลำไส้เล็กส่วนที่ยาวที่สุด และมีการดูดซึมมากที่สุด และลำไส้เล็กส่วนปลาย (Ileum) เป็นลำไส้เล็กส่วนสุดท้าย ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับลำไส้ใหญ่

วิลไล (Villi) เป็นเนื้อเยื่อที่ยื่นออกมาจากชั้นเยื่อบุเมือก ปกคลุมด้วยเนื้อเยื่อบุผิวที่ประกอบด้วยเซลล์รูปร่างหลายเหลี่ยมเรียงกันหลายชั้น (Stratified squamous epithelium) และชั้นเยื่อบุผิวในลำไส้ (Simple columnar epithelium) มีอายุประมาณ 3-5 วันแล้วจะหลุดออกไป

คริป (Crypt) เป็นบริเวณฐานของวิลไล ในส่วนนี้มีต่อมที่ทำหน้าที่สร้างสารคัดหลั่ง เช่น ฮอร์โมน น้ำย่อย และเมือกต่าง ๆ เพื่อทำหน้าที่ป้องกันผนังลำไส้ รวมทั้งเป็นบริเวณที่มีการแบ่งเซลล์เพื่อทดแทนเซลล์ที่หลุดออกจากปลายวิลไล



ภาพที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของผนังลำไส้เล็ก (Frederick et al., 1997)

ในไก่เนื้อวิลไลบริเวณลำไส้เล็กส่วนดูโอดีนัมจะพัฒนาอย่างสมบูรณ์ภายใน 7 วันหลังจากฟักไข่ แต่วิลไลส่วนเจจูนัมและไอเลียมจะพัฒนาอย่างสมบูรณ์เมื่ออายุประมาณ 14 วันหลังการฟักไข่ วิลไลที่มีความยาวมากจะมีพื้นที่ในการดูดซึมสารอาหารมากกว่าวิลไลที่มีขนาดสั้น ดังนั้นในการเลี้ยงไก่เนื้อ หากสามารถกระตุ้นการพัฒนาวิลไลให้มีความสมบูรณ์ได้เร็ว ไก่ก็จะสามารถดูดซึมสารอาหารได้มาก ส่งผลต่อเนื่องถึงการเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร ผลของการเสริมกลูตามีนต่อความยาวของวิลลไลในลำไส้เล็กของไก่เนื้อได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 โดย Bartell and Batal (2007) รายงานว่าการเสริมกลูตามีนที่ระดับ 1 และ 4% สามารถเพิ่มความสูงของวิลไลในลำไส้เล็กส่วนดูโอดีนัม เจจูนัม และไอเลียมได้

2.2.3 ผลของการเสริมกลูตามีนต่อการตอบสนองต่อภูมิคุ้มกัน

กลูตามีนมีบทบาทในการสร้างฟอสโฟไลปิด เพื่อทำให้เซลล์เมมเบรนแข็งแรง และมีความสามารถทนต่อการถูกกลืนกินจากเชื้อโรค โดยปกติลิมโฟไซท์และแมคโครฟาจจะใช้กลูตามีนเป็นแหล่งพลังงานหลักในการเพิ่มจำนวนเซลล์ ซึ่งมีผลต่อการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน นอกจากนั้นกลูตามีนยังมีผลต่อการเพิ่มจำนวนของเซลล์เอนเทอร์โรไซท์ในลำไส้โดย Calder and Yaqoob (1999) รายงานว่า การเสริมกลูตามีนในอัตราสูงมีผลต่อการเพิ่มการทำงานของลิมโฟไซท์และการสร้างไซโตไคน์ (Cytokine) โดยทั่วไปแล้วอิมมูโนโกลบูลินชนิดเอ (IgA) ทำหน้าที่ช่วยปกป้องพื้นผิวลำไส้ไม่ให้เชื้อแบคทีเรียเกาะติดผนังลำไส้ และก่อให้เกิดโรค แต่เมื่ออิมมูโนโกลบูลินชนิดเอภายในทางเดินอาหารมีปริมาณลดลง จะทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์ได้ง่าย และมีผลทำให้การดูดซึมอาหารด้อยประสิทธิภาพลง (Carstensen et al., 2005) แต่ในส่วนของแกมมาอินเตอร์ฟีรอน (IFN-γ) เป็นไซโตไคน์ที่มีฤทธิ์ขัดขวางการเพิ่มจำนวนของไวรัสในเซลล์ของร่างกาย โดยอินเตอร์ลิวคินชนิดที่ 2 (Interleukin-2) มีความสามารถในการทำให้ที่ลิมโฟไซท์แบ่งตัวและมีชีวิตอยู่ได้ (สุทธิพันธ์ และคณะ, 2542) จากตารางที่ 2.4 แสดงผลการเสริมกลูตามีนต่อการตอบสนองต่อภูมิคุ้มกัน Bartell and Batal (2007) รายงานว่าการเสริมกลูตามีนในอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 1% สามารถเพิ่มอิมมูโนโกลบูลินชนิดเอ และชนิดจี (IgG) ในซีรัม และอิมมูโนโกลบูลินชนิดเอในลำไส้ (Intestinal IgA) ได้ ($P<0.05$) ส่วน Johnson et al. (2006) พบว่าการเสริมกลูตามีนที่ระดับ 4.3% ในอาหารลูกสุกรหย่านม มีผลต่อการเพิ่มสัดส่วนของแกมมาอินเตอร์ฟีรอนต่ออินเตอร์ลิวคินชนิดที่ 4 (IFN-γ/IL-4) ได้ ($P<0.05$)

ตารางที่ 2.3 ผลของการเสริมกลูตามีนต่อความยาววิลไลในลำไส้เล็กของไก่เนื้อ

Reference	Level	Villi height (μm)		
		Dudenum	Jejunum	Ileum
Soltan (2009)	Control	890.7[b]	456.5[b]	-
	0.5%	992.7[ab]	620.5[b]	-
	1.0%	1023.1[a]	730.4[a]	-
	1.5%	1047.1[a]	746.6[a]	-
	2.0%	1089.5[a]	785.4[a]	-
Bartell and Batal (2007)	Control	738.6[b]	447.0[c]	-
	1%	907.6[a]	749.6[b]	-
	4%	936.6[a]	783.7[a]	-
Murakami et al. (2007)	10% vitamin E	888.4	552.1	339.9
	1% Gln+10% vitamine E	919.7	527.2	369.4
	500 % vitamine E	803.9	454.6	384.2
	1%Gln+500% vitamine E	855.3	493.2	382.5
Yi et al. (2005)	Control	792.0	-	-
	1% Gln	724.0	-	-
	1% Gln+vaccination	709.0	-	-

[a-c] Means with different superscripts in a column in each references are significantly different ($P<0.05$)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 10 ส.ค. 2556
เลขทะเบียน 209291
เลขเรียกหนังสือ

ตารางที่ 2.4 ผลของการเสริมกลูตามีนต่อการตอบสนองต่อภูมิคุ้มกัน

References	Animal	Level	Serum IgA	Serum IgG	Intestinal IgA
Bartell and Batal	Chickens		(ng/ml)	(ng/ml)	(ng/ml)
(2007)		Day 7	0.63[b]	1.24[b]	-
		Control	0.99[a]	1.33[a]	-
		1%			
		Day 14	0.90	1.57[b]	-
		Control	1.25	1.89[a]	-
		1%			
		Day 21	1.29	2.29[b]	1.91[b]
		Control	1.43	2.59[a]	2.83[a]
		1%			
Johnson et al. (2006)			% of total cells		
		Day 35			
		Control	5	-	40
		4.3%	4	-	42
			IFN-γ (pg/ml)	IL-2 (pg/ml)	IFN-γ/IL-4
Johnson et al. (2006)	Weaned	Day 35[2]			
	pigs[1]	Control	364	735	1.4[b]
		4.3%	587	532	5.5[a]

[a, b] Means with different superscripts in a column in each references are significantly different ($P<0.05$)

[1] weaned at 21 days old

[2] days after weaned