การตรวจเอกสาร

มันสำปะหลัง

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังมีชื่อสามัญว่า Cassava, Mandioca, Manioc, Tapioca และ Yucca (Alves, 2002) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz. (เจริญศักดิ์, 2532 และดนัย, 2537) มันสำปะหลังได้รับการจัดหมวดหมู่ทางพฤกษศาสตร์ ให้อยู่ในสกุลเดียวกับยางพารา และละหุ่ง ดังนี้ (Lancaster *et al*., 1982)

Order	: Geraniales
Class	: Dicotyledonae
Family	: Euphorbiaceae
Genus	: Manihot
Species	: Esculenta

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มยืนต้น ที่มีอายุอยู่ได้หลายปี ลักษณะลำต้นและความสูงของต้นมันสำปะหลังแตกต่างกันตามสายพันธุ์และสภาพแวดล้อม ลำต้นสามารถสูงได้ถึง 4 เมตร เป็นพืชที่เหมาะสมกับเขตร้อนชื้น (tropical zone) ไม่สามารถเจริญได้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 ˚C พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 29 ˚C และอุณหภูมิสูงที่สุดที่มันสำปะหลังสามารถเจริญเติบโตได้คือ 34–38 ˚C ปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสมคือ 100-150 เซนติเมตรต่อปี มันสำปะหลังสามารถปรับตัวในสภาวะแห้งแล้งได้ดีและสามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำได้ (Onwueme and Charles, 1994)

การขยายพันธุ์ทำได้โดยใช้ท่อนพันธุ์ปักชำ ใบมีลักษณะเป็นแฉก ๆ 5-9 แฉก สีเขียวเข้ม มีระบบรากเป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) ซึ่งเป็นแหล่งสะสมอาหารของมันสำปะหลัง เมื่ออายุประมาณ 2 เดือน มันสำปะหลังจะเริ่มมีการสะสมแป้งเก็บไว้ที่ราก ทำให้รากมีขนาดโตขึ้น เรียกว่าหัวมัน (tuber) (เจริญศักดิ์, 2532)

โดยทั่วไปแม้ว่ามันสำปะหลังจะเป็นพืชยืนต้น แต่เกษตรกรมักจะเก็บส่วนของหัวพืชเมื่ออายุได้ประมาณ 1 ปี ซึ่งระยะนี้ต้นจะมีความสูงประมาณ 2-3 มันสำปะหลังมีหัวมันอยู่ประมาณ 5-20 หัวต่อต้น ซึ่งจำนวนหัวมันจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ พื้นที่ปลูก และการดูแลรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใส่ปุ๋ยและน้ำ มันสำปะหลังเป็นพืชที่ทนทานต่อโรคพืชและแมลงได้ดี การปลูกและดูแลรักษาทำได้ง่าย สามารถปรับตัวได้ดีในดินที่มี ความสมบูรณ์ต่ำ สามารถปลูกในดินทุกชนิด และยังทนต่อสภาพดินเป็นกรดจัด แต่ไม่สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตในดินที่เป็นด่าง (มีค่า pH มากกว่า 8 ขึ้นไป) มันสำปะหลังเป็นพืชวันสั้น หากช่วงแสงของวันเกิน 10-12 ชั่วโมง จะมีผลทำให้ผลผลิตของมันสำปะหลังลดลง การปลูกมันสำปะหลังติดต่อกันหลายปีโดยไม่มีการใส่ปุ๋ยบำรุงดินอย่างถูกต้อง จะมีผลทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงอย่างรวดเร็ว ตลอดจนโครงสร้างของดินถูกทำลายด้วย (เจริญศักดิ์, 2532 และ ดนัย, 2537)

สารพิษไซยาโนจีนิค กลูโคไซด์ (Cyanogenic glucoside)

ทุกส่วนของมันสำปะหลัง ยกเว้นเมล็ด มีสารพิษไซยาโนจีนิค กลูโคไซด์ (cyanogenic glucosides) ซึ่งเมื่อสลายตัวโดยการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในต้นพืชเองจะให้กรดไฮโดรไซยานิค (hydrocyanic acid; HCN) ที่เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ ปริมาณและความเข้มข้นของสารพิษดังกล่าวขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ สิ่งแวดล้อม และอายุของพืช ในหัวมันสำปะหลัง สารพิษไซยาโนจีนิค กลูโคไซด์จะอยู่ในของเหลวสีขาวข้นใต้เปลือก เมื่อหัวมันถูกตัด สับ หรือหั่นจะมีน้ำยางสีขาวไหลออกมา สารพิษไซยาโนจีนิค กลูโคไซด์ในมันสำปะหลังประกอบด้วยสารพิษ 2 ชนิด (Nartey, 1973) ดังนี้

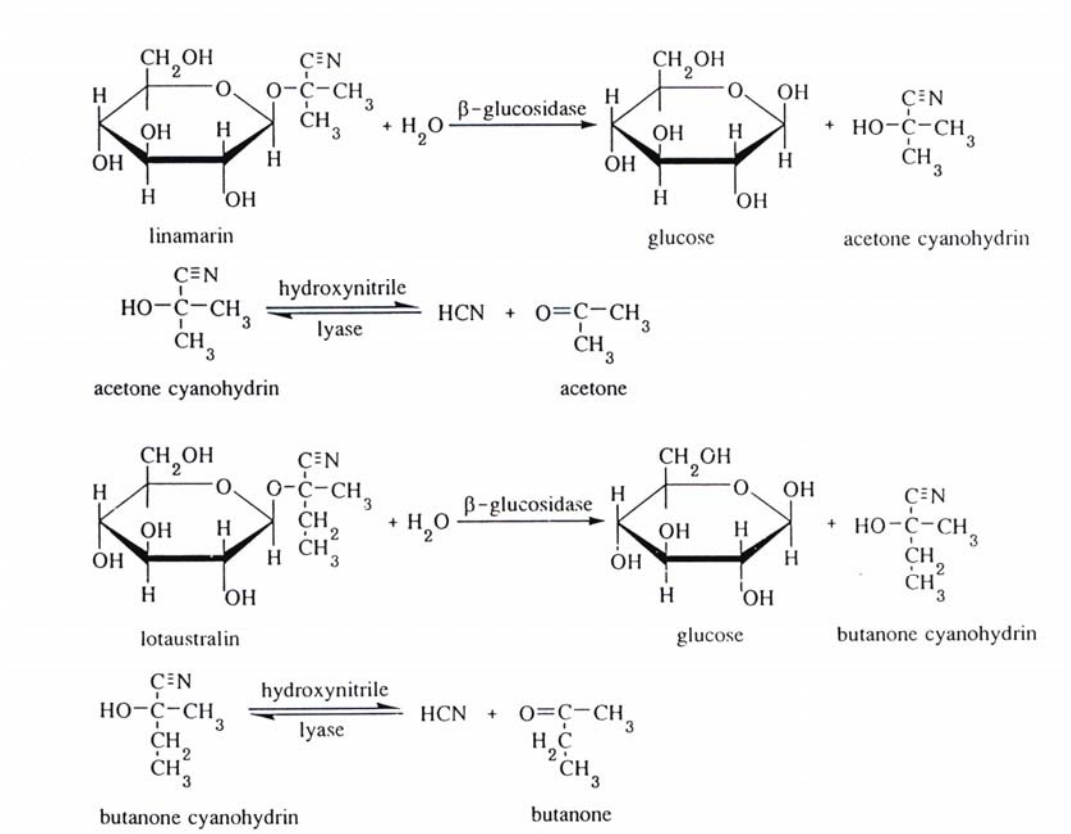
1. ลินามาริน (linamarin)

มีปริมาณมากที่สุด คือ 93 เปอร์เซ็นต์ของกรดไฮโดรไซยานิคทั้งหมด มีชื่อทางเคมีว่า 2–hydroxyl isobutyronitrile-β-D-glycoside เป็นไกลโคไซด์ของอะซีโตน ไซยาโนไฮดริน (acetone cyanodrin) ซึ่งสังเคราะห์ได้จากกรดอะมิโนวาลีน (valine)

2. โลทอสตราลิน (lotoustralin)

พบในปริมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไฮโดรไซยานิคทั้งหมด มีชื่อทางเคมีว่า 2-hydroxy-2-methylbutyronitrile-β-D-glycoside เป็นไกลโคไซด์ของเมทิลเอทิลคีโตน ไซยาโนไฮดริน (methylethylketone cyanohydrin) ซึ่งสังเคราะห์ได้จากกรดอะมิโนไอโซลิวซีน (isoleucine)

สารพิษไซยาโนจีนิค กลูโคไซด์นี้อยู่ในเนื้อเยื่อของพืช เมื่อเนื้อเยื่อถูกทำลาย เช่น การบด สับ หรือถูกเคี้ยว สารประกอบนี้จะเกิดการสลายตัว โดยกระบวนการไฮโดรไลซีส (hydrolysis) ด้วยกิจกรรมของเอนไซม์ลินามาเรส (linamarase) และเอนไซม์ออกซีไนตริเลส (oxynitriase) หรือไฮดรอกซีไนไตรล์ไลเอส (hydroxynitrile lyase) ที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อของต้นพืช เอนไซม์กลุ่มนี้จะสลายลินามาริน ได้เป็นสารอะซีโตนไซยาโนไฮดริน (acetone cyanohydrin) ซึ่งเป็นสารที่ไม่คงตัว จะเกิดการสลายตัวเองและปลดปล่อยกรดไฮโดรไซยานิคออกมา (Nartey, 1973 และ เจริญศักดิ์, 2532) แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การสลายตัวของสารพิษลินามารินและลอทอสตราลิน
ที่มา: Conn (1994)

การปลดปล่อยกรดไฮโดรไซยานิคออกมาจากส่วนต่างๆ ของพืช เรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการไซยาโนเจเนซีส (cyanogenesis) ในธรรมชาติการสร้างกรดไฮโดรไซยานิคของพืช เป็นการป้องกันตัวเองจากการถูกทำลายจากสัตว์และแมลง (Nartey, 1973) สารไซยาโนจีนิค กลูโคไซด์จะมีอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลัง เช่น ใบ ลำต้น และหัว เป็นต้น โดยพบอยู่ในส่วนของแวคิวโอล (vacuoles) ส่วนเอนไซม์ลินามาเรสพบอยู่ในไซโตซอล (cytosal) (Cheeke and Shull, 1985) การสลายตัวของสารพิษนี้พบว่าปฏิกิริยาของเอนไซม์จะสูงในใบอ่อนและส่วนเปลือก

ของหัวมันสำปะหลัง ในส่วนเนื้อของหัวมันสำปะหลังจะเกิดปฏิกิริยาช้ามาก ซึ่งในสภาพการเจริญเติบโตตามปกติจะไม่พบกรดไฮโดรไซยานิคที่ปล่อยออกมา แต่จะพบเมื่อส่วนของเนื้อเยื่อถูกทำลายหรือถูกบดขยี้ส่วนต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นการเร่งให้เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยากับสารไซยาโนเจนิคกลูโคไซด์ และปลดปล่อยกรดไฮโดรไซยานิคออกมา (พิชัย, 2528)

เจริญศักดิ์ (2532) กล่าวว่า หัวมันสำปะหลังมีกรดไฮโดรไซยานิคที่ส่วนเปลือกมากกว่าส่วนเนื้อมันประมาณ 5–10 เท่า ส่วนใบอ่อนมีมากกว่าใบแก่และเนื้อมัน ดังแสดงในตารางที่ 1 ปริมาณความเข้มข้นกรดไฮโดรไซยานิคจะแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมในการปลูก สายพันธุ์ และวิธีการวิเคราะห์ สารไซยาโนจีนิค กลูโคไซด์ จะสร้างขึ้นจากส่วนของใบมันสำปะหลังแล้วจึงลำเลียงไปเก็บยังส่วนต่างๆ ของมันสำปะหลัง

ตารางที่ 1 ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

ส่วนของพืช	ไกลโคไซด์		ลินามาเรส
	มก. HCN/กก. น้ำหนักสด	มก. HCN/กก. น้ำหนักแห้ง	มก. HCN/กก. น้ำหนักสด
ยอดอ่อน	490	1,360	730
ใบแก่	380	1,055	100
ก้านใบ	150	417	380
เปลือกลำต้น	535	1,486	81.5
เปลือกหัว	640	1,778	270
เนื้อหัว	140	390	9
มันเส้น	-	30	-
มันเม็ด	-	13.5	-

ที่มา: สาโรช และ เยาวมาลย์ (2531)

เมื่อสัตว์ได้รับสารพิษกรดไฮโดรไซยานิค และดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย กรดไฮโดรไซยานิคจะทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ไซโตโครม ออกซิเดส (cytochrome oxidase) ในขบวนการขนส่งอิเลคตรอน (electron transport system) ทำให้ฮีโมโกลบินไม่สามารถส่งออกซิเจนให้กับกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอนได้ จึงไม่สามารถสร้าง ATP ได้ ทำให้เนื้อเยื่อขาดพลังงาน สมองขาดออกซิเจน เซลล์

เหล่านั้นก็จะตายลงในที่สุด (อนุชา, 2544 และ สกล, 2547) กรดไฮโดรไซยานิคเป็นสารพิษที่สลายตัวได้ง่าย ทำให้มีการสลายตัวไปบางส่วนก่อนที่สัตว์จะกินเข้าไปจึงทำให้ความเป็นพิษลดน้อยลง

สาโรช และ เยาวมาลย์ (2531) พบว่าการตากชิ้นมัน 6 แดด จะสามารถลดระดับสารพิษกรดไฮโดรไซยานิค จาก 111.63 มก./กก. ลงเหลือ 22.97 มก./กก. (ตารางที่ 2) และระหว่างการเก็บรักษาชิ้นมันเส้นไว้จะทำให้สารพิษลดระดับลง โดยการเก็บรักษาชิ้นมันไว้ 5 วัน จะสามารถลดระดับสารพิษจาก 87.14 มก./กก. เหลือ 36.25 มก./กก. (ตารางที่ 3) และการนำมันเส้นไปผลิตเป็นมันอัดเม็ดโดยผ่านการอัดเม็ดด้วยไอน้ำจะลดระดับสารพิษลงเหลือ 11.82 มก./กก.

ตารางที่ 2 ผลของระยะเวลาการตากมันสำปะหลังต่อระดับไซยาไนต์ (HCN) ในมันเส้น

จำนวนวัน	ระดับไซยาไนต์ (มก./กก.)
0	111.83
1	111.96
2	110.96
3	109.96
4	90.72
5	52.22
6	22.97

ที่มา: สาโรช และ เยาวมาลย์ (2531)

ตารางที่ 3 ผลของระยะเวลาเก็บมันสำปะหลังต่อระดับไซยาไนต์ (HCN) ในมันเส้น

จำนวนวัน	ระดับไซยาไนต์ (มก./กก.)
0	87.14
1	56.76
2	40.11
3	29.52
4	31.46
5	36.25

ที่มา: สาโรช และ เยาวมาลย์ (2531)

นอกจากนี้ในร่างกายของสัตว์ทั่วไปสามารถเปลี่ยนกรดไฮโดรไซยานิคเป็นสารอื่นที่ไม่เป็นพิษได้ โดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์โรดานีส (rhodanese) ซึ่งมักพบมากที่ตับ ไต และต่อมไทรอยด์ กรดไฮโดรไซยานิคจะรวมตัวกับสารประกอบไธโอซัลเฟต (thiosulfate) ด้วยการทำงานของเอนไซม์โรดานีส ได้สารประกอบไธโอไซยาเนต (thiocyanate) ที่มีพิษน้อยกว่ากรดไฮโดร-ไซยานิคประมาณ 200 เท่า และจะถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ ตามปฏิกิริยาเคมีดังนี้ (พิชัย, 2528; เจริญศักดิ์, 2532)

$$\underset{\text{(กรดไฮโดรไซยานิค)}}{HCN} + \underset{\text{(โซเดียมไธโอซัลเฟต)}}{Na_2S_2O_3} \xrightarrow{\text{rhodanese}} \underset{\text{(ไธโอไซยาเนต)}}{HSCN} + \underset{\text{(โซเดียมคาร์บอร์เนต)}}{Na_2CO_3}$$

ปลาดุกลูกผสม

ประวัติและลักษณะบางประการของปลาดุกลูกผสม

ปลาดุกจัดอยู่ในตระกลูแคลริไอดี (Family Clariidae) ลักษณะทั่วไปเป็นปลาไม่มีเกล็ด รูปร่างเรียวยาว ลำตัวมีสีค่อนข้างเหลืองจนถึงสีเทาปนดำ ครีบหลังยาว ไม่มีกระโดง ครีบท้องยาวเกือบถึงโคนหาง มีอวัยวะช่วยในการหายใจ ปลาดุกที่พบในประเทศไทยมีอยู่ 5 ชนิด แต่ชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในปัจจุบัน คือ ปลาดุกอุย ปลาดุกด้าน และปลาดุกบิ๊กอุย (อุทัยรัตน์, 2544) การเลี้ยงปลาดุกในประเทศไทยมีการพัฒนาการเลี้ยงจากการเลี้ยงเพื่อบริโภคในครัวเรือน เป็นการเลี้ยงในเชิงเศรษฐกิจมากขึ้นในปัจจุบัน ปลาดุกเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย สามารถเลี้ยงได้ทั้งในบ่อดิน บ่อซีเมนต์ และในกระชัง เป็นปลากินพืชกึ่งกินเนื้อที่มีลักษณะเหมือนกับปลากินเนื้อมากกว่า อัตราการเติบโตเร็ว ระยะเวลาเลี้ยงสั้น สามารถเลี้ยงได้หลายรุ่นภายใน 1 ปี ให้ผลผลิตต่อพื้นที่การเลี้ยงสูง มีความทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ทนต่อโรคและพยาธิได้ดี มีความทนทานต่อการขนส่งในระยะทางไกล ๆ ได้ และจำหน่ายง่ายเนื่องจากเป็นที่นิยมรับประทานและเป็นที่ต้องการของตลาดมาก (มงคล, 2548)

ปลาดุกบิ๊กอุยเป็นปลาลูกผสมที่เกิดจากแม่พันธุ์ปลาดุกอุยผสมกับพ่อพันธุ์ปลาดุกยักษ์ โดยปลาดุกยักษ์มีถิ่นกำเนิดที่แอฟริกา มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Clarias gariepinus* (African sharpteeth catfish) เป็นปลาในตระกูลเดียวกับปลาดุกอุย เป็นปลาที่มีขนาดใหญ่ กินอาหารได้ทุกชนิด ทนทานต่อโรคและสภาพแวดล้อมได้ดี แต่ข้อเสียคือเนื้อมีสีซีดและมีลักษณะเหลว ไม่น่ารับประทาน ซึ่งกรมประมงได้ให้ชื่อว่าปลาดุกเทศ ส่วนปลาดุกอุยซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Clarias macrocephalus* เป็นปลาพื้นถิ่นของประเทศไทย อาศัยอยู่ตามแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วทุกภาคของประเทศ (อุทัยรัตน์, 2544) โดยชอบอาศัยอยู่บริเวณพื้นโคลน ไม่ชอบน้ำใส อยู่ได้ทั้งในน้ำนิ่งและน้ำไหล อาศัยอยู่ตามลำคลอง หนอง บึง และแหล่งน้ำจืดทั่ว ๆ ไป ปลาดุกอุยมีเนื้อที่มีรสชาติดี แต่โตช้า ต้องใช้เวลาเลี้ยงนาน (ประมาณ 6–8 เดือน) การปรับปรุงพันธุ์ปลาดุกจึงได้นำเอาปลาดุกอุยเพศเมียผสมกับปลาดุกเทศเพศผู้ เพื่อให้ได้ลูกผสมที่โตเร็ว ทนทานต่อโรคสูง และรสชาติคล้ายปลาดุกอุยมาก และช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงสั้นลงประมาณ 3–4 เดือน ได้ปลาขนาด 3–4 ตัวต่อกิโลกรัม ลูกปลาที่เกิดจากคู่ผสมนี้ กรมประมงให้ชื่อว่า ปลาดุกอุย-เทศ แต่เกษตรกรทั่วไปเรียกว่า บิ๊กอุย

ลักษณะทั่วไปของปลาดุกบิ๊กอุยมีลักษณะทางกายวิภาคร่วมระหว่างปลาดุกอุยและปลาดุกยักษ์ กระโหลกที่ท้ายทอยแหลมเป็น 3 หยัก มีปากต่ำ มีฟันที่เพดานปากเหมือนปลาดุกอุย ลำไส้ยาวเพียง 0.8 เท่าของลำตัว มีนิสัยการกินอาหารคล้ายปลาดุกอุย คือ เป็นปลาที่กินได้ทั้งพืชและสัตว์ แต่ชอบกินสัตว์มากกว่าพืช นอกจากนี้ยังมีลักษณะโตเร็ว เนื้อมีรสชาติดี เนื้อเป็นสีเหลือง และไม่เหลวเหมือนปลาดุกอุย จึงเป็นที่นิยมของคนไทย ส่วนการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างปลาดุกอุยเพศผู้กับปลาดุกเทศเพศเมีย ลูกที่ได้ไม่แข็งแรงและเหลือรอดน้อย ในปัจจุบันปลาดุกลูกผสมอุย-เทศหรือบิ๊กอุยเป็นที่นิยมเลี้ยงทั่วไป เนื่องจากเลี้ยงง่าย มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว ทนต่อโรคและสภาพแวดล้อมได้ดี ทั้งมีรสชาติดีและราคาถูก เป็นที่นิยมบริโภคของประชาชนทั่วไป (เวียง, 2542)

ระบบทางเดินอาหาร

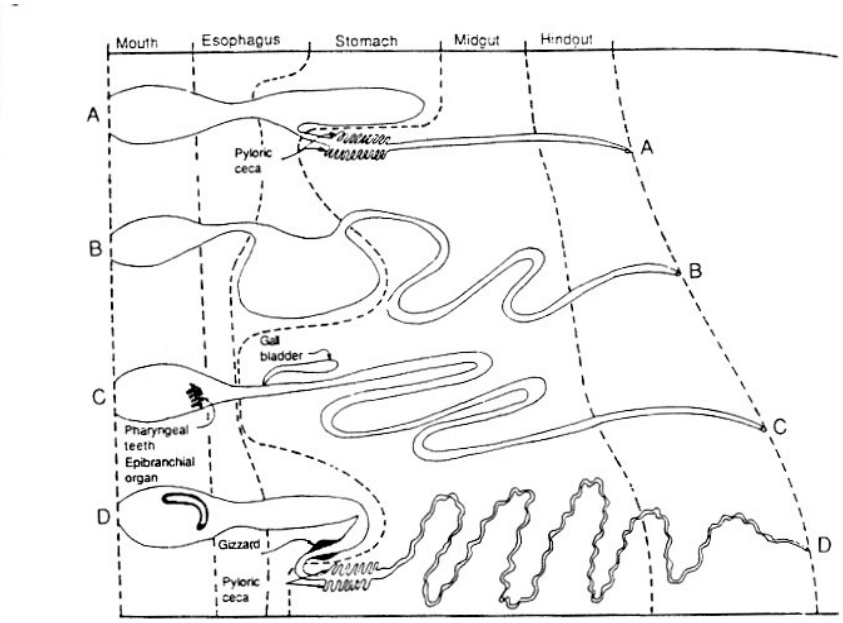
กายวิภาคและสรีรวิทยาของระบบทางเดินอาหารของสัตว์น้ำประเภทปลา ทั้งปลากินพืชและปลากินเนื้อ จะมีความคล้ายคลึงกับสัตว์เลี้ยงทั่วไป แต่จะมีความแตกต่างกันบ้าง เช่น ระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยและเคลื่อนย้ายอาหารภายในท่อทางเดินอาหาร และมีความต้องการโภชนะที่แตกต่างกัน ระบบการย่อยอาหารของปลาแต่ละชนิด จะมีความแตกต่างกันบ้างทั้งทางด้านกายวิภาคและสรีรวิทยา แต่อย่างไรก็ตาม ระบบการย่อยอาหารจะประกอบด้วยส่วนสำคัญเหมือนกัน ได้แก่ ระบบท่อทางเดินอาหาร (digestive tract) (ภาพที่2) อวัยวะช่วยย่อยอาหาร (accessory gland) ซึ่งได้แก่ ตับ ตับอ่อน และถุงน้ำดี และเอนไซม์ย่อยอาหาร (digestive enzyme) (วีรพงศ์, 2536)

การย่อยอาหารในสัตว์น้ำคล้ายคลึงกับสัตว์ชั้นสูงทั่วไป ประกอบด้วยกระบวนการย่อย 3 กระบวนการ คือ กระบวนการย่อยด้วยวิธีกลเพื่อลดขนาดของอาหารให้เล็กลง (mechanical degradation) กระบวนการย่อยอาหารทางเคมีและทางชีวภาพ (chemical and enzymatic digestion) เช่น กรดเกลือ และน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหาร และสุดท้ายคือกระบวนการหมัก (fermentation) ด้วยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ส่วนปลาย (เวียง, 2542)

ปลาดุกลูกผสมจัดเป็นปลากินเนื้อ มีระบบทางเดินอาหารที่มีส่วนของกระเพาะอาหารเป็นถุง (มานพ และคณะ, 2533) ในกระบวนการย่อยอาหารมีน้ำย่อยทำหน้าที่ย่อยอาหารให้มีขนาดเล็กลง สามารถซึมผ่านผนังเซลล์ของลำไส้ ซึ่งโปรตีนจะถูกย่อยเป็นกรดอะมิโน ไขมันถูกย่อยเป็นกรดไขมันและกลีเซอร์ไรด์ คาร์โบไฮเดรตถูกย่อยเป็นน้ำตาล การย่อยอาหารของปลาเกิดขึ้นที่กระเพาะอาหารและลำไส้เท่านั้นเนื่องจากมีน้ำย่อยอยู่หลายชนิด มีเพียงปลาบางชนิดเท่านั้นที่อาจมีการย่อยอาหารที่ปากและคอหอย (วีรพงศ์, 2536) น้ำย่อยโปรตีนพบที่กระเพาะอาหารและลำไส้ ที่กระเพาะ

อาหารพบน้ำย่อยเปบซินจะทำงานได้ดีที่ pH เป็นกรด น้ำย่อยโปรตีนที่พบในลำไส้มีหลายชนิด ส่วนใหญ่หลั่งมาจากผนังลำไส้และตับอ่อน ได้แก่ ทริปซิน (trypsin) ไคโมทริปซิน (chymotrypsin) คาร์บอกซีเปบติเดส (carboxy peptidase) ซึ่งลำไส้ปลามี pH อยู่ในช่วง 7-9 เมื่อเริ่มการย่อยอาหาร pH จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับปลาที่ไม่มีกระเพาะอาหารไม่มีการหลั่งกรดออกมา การย่อยโปรตีนเกิดขึ้นที่ลำไส้เท่านั้น เพราะฉะนั้นปลาที่มีกระเพาะจะย่อยโปรตีนได้ดี นอกจากนี้พบว่าปลาที่มีกระเพาะอาหารส่วนใหญ่มีอัตราการย่อยอาหารช้ากว่าปลาที่ไม่มีกระเพาะอาหาร (กลุ่มวิจัยอาหารสัตว์น้ำ, 2534)

น้ำย่อยไขมันจะพบที่ส่วนกระเพาะอาหาร ไพโรลิกซีก้า (pyroric ceca) ตับอ่อน และลำไส้ น้ำย่อยที่พบส่วนใหญ่ คือ ไลเปส (lipase) ที่ทำการย่อยไตรกลีเซอไรด์ให้แตกตัวได้เป็นกรดไขมัน และน้ำย่อยเอสเทอเรส (esterase) ที่ย่อยเอสเทอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย น้ำย่อยไลเปสทำงานร่วมกับน้ำดี ซึ่งมีกรดโคลิก (cholic acid) และกรดทอโรเซนโนเดสออกซิโคลิก (traurochenodesoxycholic acid) โดยทำให้ไขมันมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ทำให้น้ำย่อยสามารถย่อยไขมันได้ง่ายขึ้น ประสิทธิภาพการทำงานของน้ำย่อยไขมันในกระเพาะอาหารจึงต่ำกว่าที่ลำไส้ (วีรพงศ์, 2536) นอกจากนี้กระเพาะอาหารยังมีสภาพ ความเป็นกรดสูงมาก กระเพาะอาหารจึงมีหน้าที่เพียงบดผสมไขมันแล้วส่งมาที่ลำไส้ให้ทำการย่อย การย่อยคาร์โบไฮเดรตในทางเดินอาหารของปลาเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา อะไมเลส (α-amylase) ปลาแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารที่แตกต่างกันมาก ปลากินพืช และปลากินทั้งพืชและเนื้อ มีน้ำย่อยแอลฟาอะไมเลสที่หลั่งมาจากผนังลำไส้ ตับอ่อน ตับ และไพโรริคซีก้า แต่ปลากินเนื้อส่วนใหญ่ จะหลั่งออกมาจากตับอ่อนเพียงอย่างเดียวและหลั่งออกมาในปริมาณที่น้อยกว่า จึงทำให้ปลากินเนื้อมีประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตไม่ดี การย่อยแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตของปลากินเนื้อจึงทำได้ในปริมาณจำกัด (วีรพงศ์, 2536 และ เวียง, 2542)



ภาพที่ 2 ระบบท่อทางเดินอาหารของปลาชนิดต่าง ๆ

A = ปลาเรนโบว์ เทร้าซ์ (ปลากินเนื้อมีกระเพาะอาหารรูปตัววาย)

B = ปลาดุก (ปลากินพืชและเนื้อ แต่ส่วนใหญ่จะกินเนื้อ และมีกระเพาะอาหารเป็นถุง)

C = ปลาไน (ปลากินพืชและเนื้อ แต่ส่วนใหญ่จะกินพืช และไม่มีกระเพาะอาหาร)

D = ปลานวลจันทร์ (ปลากินแพลงก์ตอนพืช มีกระเพาะอาหารเป็นท่อ)

ที่มา: วีรพงศ์ (2536)

ความต้องการโภชนะของปลา

เวียง (2542) กล่าวว่า อาหารที่สัตว์น้ำกินเข้าไป หลังจากถูกย่อยเป็นสารอาหารหรือโภชนะชนิดต่างๆ ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง จะดูดซึมและขนส่งไปยังเซลล์เป้าหมายต่างๆ ในร่างกายเพื่อให้สัตว์ได้นำไปใช้ประโยชน์ในการดำรงชีวิตประจำวัน การเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ โภชนะแต่ละประเภทจะมีบทบาทที่แตกต่างกันไป ความต้องการโภชนะในอาหารปลาจะมีความแตกต่างกันตามชนิด อายุ การให้ผลผลิต ตัวอย่างเช่น ความต้องการโปรตีนในปลากลุ่มปลาดุกแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณความต้องการโปรตีนในอาหารของปลาในกลุ่มปลาดุก (เปอร์เซ็นต์)

อายุ	ตระกูลปลาดุก	Channal catfish
วัยอ่อน (1-2 สัปดาห์)	36–40	40–45
ปลาเล็ก (2-6 สัปดาห์)	25–36	36
ปลาใหญ่ (มากกว่า 6 สัปดาห์ขึ้นไป)	26–34	32
พ่อแม่พันธุ์	28–32	-

ที่มา: อรพินท์ (2544)

จากลักษณะทางกายวิภาคและสรีรวิทยาของปลาชนิดต่าง ๆ จะส่งผลต่อพฤติกรรมการกินอาหาร การย่อยอาหาร รวมทั้งความต้องการโภชนะของปลาที่แตกต่างกัน เวียง (2542) กล่าวว่า จากรายงานการทดลองศึกษาปริมาณความต้องการโภชนะของปลาหลายประเภท ยังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัดถึงค่าปริมาณความต้องการโภชนะในแต่ละชนิด เพราะมีปัจจัยต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องเช่น อายุ น้ำหนัก และสายพันธุ์ปลา เป็นต้น ดังนั้นข้อมูลความต้องการโภชนะต่างๆ จึงมีหลากหลายทั้งจากการศึกษาวิจัยของผู้วิจัยและการรวมรวมข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 5–7

ตารางที่ 5 ปริมาณความต้องการโภชนะ ของปลาดุกลูกผสม (เปอร์เซ็นต์)

โภชนะ	**ที่มา**				
	ประเสริฐ และ คณะ (2525)	**ประเสริฐ และ อุทัย (2530)**	**อิทธิพร (2532)**	**วีรพงศ์ (2536)**	**เวียง (2542)**
โปรตีน	26-34	25-35	25-32	25-35	33-36
คาร์โบไฮเดรต	20	20-40	30-40	30-40	35-40
ไขมัน	6-7	6	1.5-4	10-15	6-8
เยื่อใย	≤ 8	≤ 8	≤ 8	≤ 8	≤ 8

ตารางที่ 6 ชนิดและปริมาณของแร่ธาตุที่แนะนำให้เติมในอาหารปลาดุก

แร่ธาตุ	ปริมาณที่แนะนำให้เติม (มก.) ในอาหาร (1 กก.)		
	1	**2**	**3**
แร่ธาตุหลัก :			
แคลเซียม	5,000	1,000	-
ฟอสฟอรัส	5,000	600	-
แมกนีเซียม	500	80	-
โซเดียม	-	25	165
โพแทสเซียม	-	300	45
คลอรีน	-	350	-
กำมะถัน	-	90	-
แร่ธาตุรอง :			
แมงกานีส	25	10	25
ไอโอดีน	5	0.6	5
ทองแดง	3	0.8	5
สังกะสี	150	7.8	20
เหล็ก	44	10	30
โคบอลต์	0.05	0.07	0.05
ซีลีเนียม	-	0.008	0.3
โมลิบดีนัม	-	0.35	-

ที่มา: 1-ปลาดุก (มะลิ, 2530)

2-ปลาดุกด้าน (Butthep *et al.,* 1985)

3-ปลาดุกลูกผสม (วิมลและคณะ, 2539)

ตารางที่ 7 ระดับที่เหมาะสมของวิตามินละลายน้ำในอาหารปลาดุก

วิตามิน	ระดับวิตามิน (มก./อาหาร 1 กก.)		
	1	**2**	**3**
บี1	20	20	-
บี2	20	20	5
บี6	20	20	5
กรดแพนโทเธนิก	50	50	-
กรดโฟลิก	5	5	-
ไนอะซิน	100	100	-
ซี	100	100	1,000

ที่มา: เวียง (2542)

1-ปลาดุกด้านขนาด 4-5 กรัม

2-ปลาดุกด้านขนาด 4-5 กรัม

3-ปลาดุกอุยขนาด 0.18 และ 6.7 กรัม

การย่อยคาร์โบไฮเดรต และบทบาทสำคัญของคาร์โบไฮเดรต

ความแตกต่างอย่างหนึ่งในทางโภชนศาสตร์ระหว่างปลาและสัตว์บกโดยทั่วไป คือความต้องการพลังงาน ซึ่งปลามักมีความต้องการพลังงานต่ำกว่าสัตว์บกทั่วไป เหตุผลหนึ่งคือปลาต้องการใช้พลังงานในการเคลื่อนไหวน้อยกว่าสัตว์บก เพราะในน้ำมีแรงกระทำของน้ำช่วยพยุงร่างกายของปลา ช่วยรักษาตำแหน่งและการเคลื่อนไหว ในขณะที่สัตว์บกทั่วไปต้องการพลังงานในการทำงานของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกายมากกว่า เพื่อให้สัตว์สามารถพยุงร่างกายอยู่ได้ตามปกติ เหตุผลอีกประการคือความแตกต่างของวิธีการขับถ่ายของเสียจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของสารอาหารโปรตีนที่มีของเสียเป็นสารประกอบไนโตรเจน ในสัตว์บกที่เป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะขับถ่ายไนโตรเจนออกจากร่างกายในรูปของยูเรีย และในสัตว์ปีกขับถ่ายในรูปของกรดยูริก ซึ่งมีการใช้พลังงานในการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียเป็นสารประกอบเหล่านี้ แต่ในปลาการขับถ่ายไนโตรเจนซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีนเป็นการขับถ่ายในรูปของแอมโมเนียออกมาโดยตรง จึงไม่สูญเสียพลังงานในส่วนนี้ (Goldstein and Forster, 1970)

ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งพลังงานของสัตว์โดยทั่วไป แต่ไขมันจะเป็นแหล่งของพลังงานที่สำคัญอย่างมากของปลา ซึ่งตรงกันข้ามกับสัตว์บกและสัตว์ปีกที่แหล่งของพลังงานหลักมาจากคาร์โบไฮเดรต (Kaushik *et al*., 1989) ปลากินเนื้อ เช่น ปลาแซลมอน ปลาเรนโบว์เทร้าซ์ จะมีข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ได้จากแป้ง แต่ถ้าแป้งในอาหารผ่านกระบวนการทำให้สุกก่อน เช่น ผ่านการอัดเม็ดพอง (extrusion) จะช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ของแป้งได้มากขึ้น

ปลากินเนื้อ เช่น ปลาในกลุ่มปลาดุก ก็มีปัญหาเรื่องการใช้ประโยชน์ได้ของคาร์โบไฮเดรตในอาหารได้ค่อนข้างต่ำเช่นกัน เนื่องจากปลาในกลุ่มนี้มีการทำงานของเอนไซม์แอลฟา – อะไมเลส (α – amylase) ในลำไส้เล็กที่ต่ำมาก ประกอบกับมีลำไส้ที่สั้น ดังนั้นระดับการใช้และชนิดของแป้ง รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแป้ง จะมีผลต่อความสามารถในการนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานของปลากินเนื้อด้วย

การย่อยคาร์โบไฮเดรตในสัตว์น้ำเกิดขึ้นในลำไส้เล็ก เมื่ออาหารที่อยู่ในสภาพเหลว (chyme) ซึ่งเกิดจากการคลุกเคล้าระหว่างอาหารกับเมือกและน้ำย่อยในกระเพาะถูกส่งผ่านเข้าลำไส้ตอนต้น อาหารเหลวนี้จะกระตุ้นให้ต่อมในผนังเยื่อเมือกของลำไส้ผลิตฮอร์โมนหลายชนิดเพื่อกระตุ้นต่อให้ต่อมในตับอ่อนและลำไส้ผลิตเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรต (ตารางที่ 8) ฮอร์โมนที่กระตุ้นให้ตับอ่อนผลิตน้ำย่อยเพื่อย่อยคาร์โบไฮเดรตคือ ฮอร์โมนซีครีติน (secretin) และฮอร์โมนแพนครีโอไซมิน (pancreozymin) ส่วนฮอร์โมนที่กระตุ้นให้ต่อมในผนังเยื่อเมือกของลำไส้ผลิตเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรตคื อฮอร์โมนเอนเตอโรครินิน (enterocrinin) (อิทธิพร, 2532)

เอนไซม์ที่ย่อยแป้งให้เป็นกลูโคสและมอลโตสในปลาได้แก่ เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เอนไซม์ดังกล่าวของปลากินพืชและปลากินทั้งพืชและเนื้อจะได้มาจากการหลั่งของผนังลำไส้ ผนังกระเพาะอาหาร และตับอ่อน ในขณะที่ปลากินเนื้อ เช่น ปลาดุก เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสจะหลั่งออกมาจากตับอ่อนแหล่งเดียวเท่านั้น จึงทำให้ปลากินเนื้อมีประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตไม่ดี เพราะหลั่งเอนไซม์ออกมาในปริมาณที่น้อยกว่าปลากินพืช

เอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรตที่พบในกระเพาะอาหารและลำไส้ นอกจากเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสแล้ว ยังมีเอนไซม์ย่อยคาร์บไฮเดรตชนิดอื่นๆ ได้แก่ กลูโคซิเดส (glucosidase) มอลเตส (maltase) ซูเครส (sucrase) แลคเตส (lactase) และ เซลลูเลส (cellulase) ซึ่งมีหน้าที่ในการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่มีความสลับซับซ้อนแตกต่างกันไป ในกรณีของเอนไซม์เซลลูเลส ปลาไม่สามารถผลิตและหลั่งออกมาได้เอง แต่จะได้เอนไซม์เซลลูเลสจากจุลินทรีย์ในลำไส้ของปลา (Halver, 1989)

ตารางที่ 8 การย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยเอนไซม์จากแหล่งต่างๆ

แหล่งผลิตเอนไซม์	สิ่งกระตุ้น	ชนิดของเอนไซม์ที่ผลิต	คาร์โบไฮเดรตที่ถูกย่อย	ผลผลิตจากการย่อย
ตับอ่อน	ฮอร์โมนซีครีติน และแพนครีโอไซมินจากผนังเยื่อเมือกในลำไส้	อะไมเลส	แป้ง ไกลโคเจน	โอลิโกแซคคาไรด์ มอลโตไตรโอส มอลโตส
ลำไส้	ฮอร์โมนเอนเตอโรครินินจากผนังเยื่อเมือกในลำไส้	ซูเครส แลกเตส มอลเตส ไอโซมอลเตส	ซูโครส แลกโตส มอลโตส ไอโซมอลโตส โอลิโกแซคคาไรด์	กลูโคสและฟรุกโตส กลูโคสและกาแลกโตส กลูโคส กลูโคส

ที่มา: เวียง (2542)

วีรพงศ์ (2536) กล่าวว่า คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานแก่สิ่งมีชีวิตที่มีราคาถูกที่สุด หาได้โดยง่าย และสัตว์น้ำสามารถนำไปใช้ได้เลยในทันทีหรือจะเก็บไว้ในรูปของไขมันเพื่อเป็นพลังงานสำรองก็ได้ เมื่อเวลาที่ร่างกายขาดคาร์โบไฮเดรต ก็จะเปลี่ยนรูปจากไขมันกลับมาใช้เป็นพลังงานได้ ทำให้มีการศึกษาถึงการทดแทนโปรตีนบางส่วนด้วยคาร์โบไฮเดรต (protein sparing action) โดยการลดโปรตีนในสูตรอาหารลงบางส่วนแล้วเพิ่มคาร์โบไฮเดรตเข้าไป เพื่อให้ปลามีการเจริญเติบโตเท่าเดิม เมื่อปลาได้รับแหล่งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตอย่างเพียงพอจะไม่นำโปรตีนมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน ทำให้ปลานำโปรตีนที่ได้จากอาหารไปใช้ประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต (คือการสังเคราะห์โปรตีน) มากกว่านำมาเป็นแหล่งพลังงาน จากหลักการทดแทนแหล่งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตจะทำให้ต้นทุนอาหารปลาลดลง ด้วยการนำวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต เช่น มันสำปะหลัง หรือข้าวโพด ปลายข้าว รำ มาใช้ในสูตรอาหารเพื่อลดปริมาณการใช้ปลาป่น ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญและมีราคาแพง

อย่างไรก็ตาม แนวทางดังกล่าวสามารถใช้ได้ผลดีเฉพาะกับกลุ่มปลากินพืช และปลากินพืชและกินเนื้อเท่านั้น เนื่องจากมีเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรตอยู่ในปริมาณมาก ทำให้สามารถผสมคาร์โบไฮเดรตในสูตรอาหารได้มาก แต่ระดับของคาร์โบไฮเดรตที่ปลาแต่ละชนิดจะใช้ได้อย่างมี

ประสิทธิภาพจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด ลักษณะทางกายภาพ เช่น ความเป็นแป้งอ่อนหรือแป้งแข็ง รวมทั้งการผ่านกระบวนการทำให้สุกของคาร์โบไฮเดรตด้วย

แป้งชนิดเดียวกันถ้าทำให้สุกจะสามารถใช้ประกอบสูตรอาหารปลาได้ในปริมาณที่สูงกว่าแป้งดิบ จากงานวิจัยของ Bergot and Brecque (1989) เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การย่อยแป้งข้าวโพดดิบและแป้งข้าวโพดสุก ในปลาเรนโบว์ เทร้าท์ โดยให้อาหารในอัตรา 1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวปลาต่อวัน พบว่าปลามีสัมประสิทธิ์การย่อยแป้งสุกได้มากกว่าแป้งดิบ โดยมีสัมประสิทธิ์การย่อยแป้งข้าวโพดดิบเป็น 38 และ 55 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สัมประสิทธิ์การย่อยแป้งข้าวโพดสุกมีค่าเป็น 87 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ที่การให้อาหาร 1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวปลาต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นชัดเจนว่าประสิทธิภาพการย่อยแป้งของปลาจะเพิ่มขึ้นเมื่อแป้งนั้นผ่านการทำให้สุก

Fu (2005) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์ได้ของแป้งชนิดต่างๆ คือ แป้งข้าวโพดดิบ แป้งข้าวโพดสุก และน้ำตาลกลูโคส ในปลาดุก พบว่าที่ระดับแป้ง 150 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร การเจริญเติบโตของปลาดุกที่ได้แป้งต่างชนิดกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อเพิ่มระดับของแป้งชนิดต่าง ๆ เป็น 300 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร พบว่าอาหารจากแป้งข้าวโพดสุกให้การเจริญเติบโตของปลาดีกว่าอาหารจากแป้งข้าวโพดดิบ ในส่วนของระดับกลูโคสที่ 300 กรัมต่อกิโลกรัมจะแสดงผลทางลบต่อสมรรถภาพการผลิตของปลา งานวิจัยเรื่องการย่อยได้ของแป้งในปลาซิลเวอร์เพิร์ซ (Sillver perch) ซึ่งท้องถิ่นของประเทศออสเตรเลีย เมื่อนำแป้งชนิดต่างๆ ที่ผ่านกระบวนการทำให้สุก (gelatinization ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์) ทั้งแป้งสาลี แป้งข้าวโพด และแป้งมันฝรั่ง มาทำอาหารเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านกระบวนการทำให้สุก พบว่าแป้งสุกมีค่าการย่อยได้สูงกว่าแป้งดิบ 30 เปอร์เซนต์ (Stone *et al*., 2003)

ในทางปฏิบัติพบว่า คาร์โบไฮเดรตมีความสำคัญอย่างมากต่อการเลี้ยงปลา เพราะเป็นแหล่งพลังงานที่มีราคาถูกที่สุด จะช่วยลดต้นทุนอาหารปลาให้ต่ำลง ปลาที่ได้รับพลังงานต่ำกว่าความต้องการจะมีการเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากการขาดพลังงานมีผลทำให้ปลาต้องนำเอาโปรตีนหรือไขมันที่สะสมในร่างกายมาเผาผลาญให้เกิดพลังงาน แทนที่จะใช้เพื่อการเจริญเติบโตอย่างเดียว แต่ถ้าได้รับพลังงานมากเกินไป ก็อาจทำให้พลังงานถูกสะสมในรูปไขมันในเนื้อเยื่อตามส่วนต่างๆ ของร่างกายหรือเปลี่ยนเป็นไกลโคเจนที่ตับ ซึ่งเป็นผลให้คุณภาพซากเปลี่ยนไป อีกทั้งยังทำให้การเจริญเติบโตของปลาลดลงด้วย เพราะปลาจะกินอาหารลดลง ถ้าอาหารมีพลังงานมากเกินไป (ประเสริฐ และคณะ, 2525 และ Lovell, 1991) นอกจากนี้ปริมาณของแป้งที่มากเกินไปในอาหารจะ

ทำให้ปลาย่อยโปรตีนในอาหารได้น้อยลง เพราะแป้งส่วนที่ไม่ถูกย่อยจะเคลื่อนที่ผ่านท่อทางเดินอาหารอย่างรวดเร็วและนำโปรตีนบางส่วนออกไปด้วย เป็นผลให้ปลาไม่สามารถนำโปรตีนไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ (Shiau and Lin, 2001)

ระบบภูมิคุ้มกันของปลากระดูกแข็ง

ในสัตว์ชั้นสูงทั่วไป การแบ่งประเภทของภูมิคุ้มกันของร่างกายตามลักษณะการทำงานต่อสิ่งแปลกปลอมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ภูมิคุ้มกันชนิดไม่เฉพาะเจาะจง (non-specific immunity)
2. ภูมิคุ้มกันชนิดเฉพาะเจาะจง (specific immunity)

โดยปกติการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันไม่เฉพาะเจาะจงจะมีประสิทธิภาพการต่อต้านแอนติเจนได้ไม่ดีเท่ากับระบบภูมิคุ้มกันแบบเฉพาะเจาะจง สัตว์น้ำ เช่น ปลา ซึ่งถือว่าเป็นสัตว์มีกระดูกสัตว์หลังเช่นกัน แต่การพัฒนาของระบบภูมิคุ้มกันจะแตกต่างจากสัตว์บกและสัตว์เลือดอุ่นทั่วไป เช่น สุกร และสัตว์ปีก โดยระบบภูมิคุ้มกันทั่วไปจะมีการทำงานร่วมกันทั้งสารน้ำ (humoral immunity) และเซลล์ในภูมิคุ้มกัน (cell–mediated immunity) แต่ในสัตว์น้ำโดยเฉพาะปลาจะเป็นเซลล์ในภูมิคุ้มกันเป็นหลัก ที่มีบทบาทอย่างสูงในการต่อสู้กับสิ่งแปลกปลอมหรือแอนติเจนที่จะเข้าสู่ร่างกาย ระบบการป้องกันสิ่งแปลกปลอมของร่างกายสัตว์ จะเริ่มจากระบบการป้องกันของร่างกาย (body defenses) ในส่วนของพื้นผิวสัมผัสต่าง (surface barriers) ทั้งทางกายภาพและสารเคมี เช่น ผิวหนัง สารคัดหลั่งต่าง ๆ ในระบบทางเดินหายใจ ระบบทางเดินอาหาร แต่ในปลาจะมีส่วนของเหงือกซึ่งเป็นอวัยวะสำคัญในการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในน้ำที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมตลอด เวลา (Iwama and Nakanishi, 1996)โดยมีกระบวนการ phagocytosis เป็นกระบวนการแรกที่ช่วยป้องกันสิ่งแปลกปลอมไม่ให้เข้าสู่ตัวปลาโดยเฉพาะในระยะที่ระบบภูมิคุ้มกันยังพัฒนาไม่เต็มที่ (Mannnig and Mughal 1985)

อวัยวะน้ำเหลือง (lymphoid organ) ของปลากระดูกแข็งประกอบด้วย ต่อมไธมัส พบอยู่ในบริเวณผนังด้านบนส่วนปลายของคอหอยบริเวณช่องกระพุ้งแก้มใกล้โคนครีบหู ประกอบด้วยเซลล์ lymphocyte ที่กำลังพัฒนาจำนวนมาก ไตส่วนหน้าประกอบด้วย haemopoietic tissue ที่มีเซลล์ lymphocyte, macrophage และ plasma cell ซึ่งมีหน้าที่สำคัญในการสร้างแอนติบอดี และม้ามมี macrophage มีหน้าที่สำคัญในการทำลายเม็ดเลือดแดง และเก็บสะสมเหล็กเพื่อนำกลับไปสร้าง

เม็ดเลือด การพัฒนาของอวัยวะน้ำเหลืองในปลาพิจารณาจากการพบเซลล์ lymphocyte ในอวัยวะดังกล่าว โดยพบว่าในปลาส่วนใหญ่ มีการพัฒนาต่อมไธมัส เป็นอวัยวะแรก ถัดมาเป็นไตส่วนหน้าและม้ามตามลำดับ โดยการพัฒนาต่อมไธมัสและไตส่วนหน้าจะมีความสัมพันธ์กับ ขนาด น้ำหนักตัว มากกว่าอายุ และมีความแตกต่างกันในปลาแต่ละชนิด (Ellis, 1988)

เซลล์ในระบบภูมิคุ้มกัน (cell–mediated immunity) ของปลากระดูกแข็งประกอบด้วยเซลล์หลายชนิด เช่น lymphocyte, plasma cell, macrophage, basophil, eosinophil และ neutrophil เป็นต้น (Anderson, 1974) โดยจะมี monocyte หรือ macrophage และ neutrophils เป็นหลัก ส่วน eosinophils และ basophils พบน้อยมาก monocyte หรือ macrophage ของปลาพบในช่องลำตัว (body cavity) เหงือก ม้าม และ endothelial cells ในไตซึ่งเป็น lymphoid organ ของปลา แต่ไม่พบในตับเหมือนสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และยังพบ natural cytotoxic cell (NCC) ซึ่งทำหน้าที่ต่าง ๆ เหมือนกับ natural killer cell ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมด้วย (Iwama and Nakanishi. 1996)

การสร้างแอนติบอดีของปลาจะแตกต่างจากสัตว์เลือดอุ่นในแง่อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแอนติบอดี และชนิดของแอนติบอดี สารน้ำในระบบภูมิคุ้มกันของปลา (humoral immunity) มีทั้ง คอมพลีเมนต์ (complement) และ อิมมูโนโกลบูลิน (immunoglobulin) ที่พบได้ในซีรัมและในของเหลวในตัวปลา การทำงานเหมือนกับสัตว์เลี้ยงทั่วไป อิมมูโนโกลบูลินของสัตว์ชั้นสูงจะมี 5 ชนิด คือ IgG, IgM, IgE, IgA และ IgD แต่ในปลาจะพบมีเพียง IgM เท่านั้นและเป็น tetramer คือมี 4 แขน (4 domain) แตกต่างจาก IgM ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ที่เป็น pentamer คือมี 5 แขน (5 domain) ดังนั้นประสิทธิภาพการทำงานของ IgM ในปลาจะด้อยกว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Tizard. 2004)

มีรายงานจากการศึกษาพบว่าปลาสามารถสร้างแอนติบอดีที่เยื่อเมือกบริเวณทางเดินอาหาร (Davidson *et al*., 1993) และเหงือก (Davidson *et al*., 1997) และสามารถตรวจพบแอนติบอดีได้ในเมือกบริเวณเหงือก (Lumsden *et al*., 1995) และผิวหนัง (Rombout *et al*., 1993) ส่วนแอนติบอดีในทางเดินอาหารนั้นมักตรวจไม่พบ อาจเป็นเพราะว่าแอนติบอดีของปลาไม่ทนต่อน้ำย่อยที่ย่อยโปรตีนในทางเดินอาหาร ซึ่งแตกต่างจาก secretory IgA ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม บทบาทของแอนติบอดีในการป้องกันการเกาะของแบคทีเรียในทางเดินอาหารจึงไม่พบในปลา (Lumsden *et al*., 1995)

ลิมโฟซัยท์ (lymphocytes) เป็นเซลล์ที่สำคัญที่สุดในระบบภูมิคุ้มกัน นอกจากจะพบลิมโฟซัยท์ในกระแสเลือดแล้วยังพบได้ในอวัยวะน้ำเหลืองต่างๆ เช่น ม้าม ต่อมน้ำเหลือง ต่อมไทมัส (thymus gland) และเพเยอร์สแพทซ์ (peyer’s patches) ที่บริเวณลำไส้ เป็นต้น (สุทธิพันธ์และคณะ,

2537) เมื่อแอนติเจนเข้าไปในร่างกาย ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายจะตอบสนองต่อแอนติเจนนั้นผ่านการทำงานของลิมโฟซัยท์ที่พบว่ามีหลายชนิด แต่ชนิดที่สำคัญมี 2 ชนิด คือ เซลล์ลิมโฟซัยท์ชนิด ที (T Cells) และเซลล์ลิมโฟซัยท์ ชนิดบี (B Cells) (Laurel *et al*., 1995)

ลิมโฟซัยท์ชนิดที หรือเซลล์ที (T-cells) สร้างจากเซลล์ต้นแบบ (stem cell) ในถุงไข่แดง ตับ ม้าม หรือไขกระดูก ขณะเจริญและพัฒนาจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นต้นกำเนิดของเซลล์ที เรียกว่า พรีเซลล์ที (Precursor T-cells; Pre T-cells) แล้วจะผ่านไปยังต่อมไทมัส ต่อมน้ำเหลือง ม้าม และต่อมน้ำเหลืองขนาดเล็กในที่ต่างๆ เพื่อทำหน้าที่รับผิดชอบในการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันชนิดพึ่งเซลล์ (Cell Mediated Immune Response; CMIR)

เซลล์ทีในร่างกายยังแบ่งได้หลายชนิดตามหน้าที่ดังนี้ (Roitte, 1984)

1.1 เซลล์ทีควบคุม (regulatory cell T-cell) มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย คือควบคุมทั้งเซลล์ทีและเซลล์บีให้ทำงานเป็นไปตามปกติไม่มากหรือน้อยเกินไป ซึ่งเซลล์ทีควบคุมนี้มี 2 ชนิด คือเซลล์ทีผู้ช่วย (helper T-cells; Th) เป็นลิมโฟซัยท์ที่มีหน้าที่ช่วยบี-ลิมโฟซัยท์ และที-ลิมโฟซัยท์ให้มีการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันต่อสิ่งแปลกปลอมได้ดียิ่งขึ้น อีกชนิดหนึ่งคือ เซลล์ที ยับยั้ง (suppressor T-cells; Ts) เป็นที-ลิมโฟซัยท์ที่ไปกดหรือลดการทำงานของบี-ลิมโฟซัยท์ และที-ลิมโฟซัยท์ชนิดอื่นไม่ให้ทำหน้าที่มากเกินไป

1.2 เซลล์ทีทำลาย (cytotoxic หรือ Killer หรือ Effector T-cells) เป็นเซลล์ที ที่สามารถทำลายสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย ทำลายเซลล์เนื้องอกหรือเซลล์มะเร็ง

1.3 เซลล์ทีสร้างลิมโฟไคน์ (lymphokine producing T-cells) สามารถปล่อยและสร้างลิมโฟไคน์ซึ่งเป็นสารที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันชนิดพึ่งเซลล์ (Cell Mediated Immune Respones; CMIR)

1.4 เซลล์ทีจดจำ (memory T-lymphocyte) มีหน้าที่จดจำสิ่งแปลกปลอมชนิดต่างๆที่เคยเข้าสู่ร่างกายมาแล้ว เซลล์ที่เคยรู้จักแอนติเจนมาแล้วเรียกว่า สเปชิฟิคัลลี เซนซิไทซ์ ลิมโฟซัยท์ (Specifically Sensitized Lymphocyte; SSL)

ลิมโฟซัยท์ชนิดบี หรือเซลล์บี (B – cells) สร้างจากเซลล์ต้นแบบ (stem cell) ในไขกระดูก จะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นต้นกำเนิดของเซลล์บี เรียกว่า พรีเซลล์บี (Precursor B-cell, pre B-cells) หลังจากนั้นจะเดินทางไปยังเนื้อเยื่อน้ำเหลือง (lymphoid tissue) ซึ่งในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมได้แก่ ส่วนของไขกระดูก (bone marrow) ตับในตัวอ่อน (fetal liver) และเนื้อเยื่อน้ำเหลือง (lymphoid tissue) บริเวณทางเดินอาหาร เมื่อพัฒนาและเจริญเติบโตเต็มที่เป็นเซลล์บี ก็จะออกจากไขกระดูกเข้าสู่ระบบเลือดและระบบน้ำเหลืองต่อไป (ฤทัย และคณะ, 2539) เซลล์บีเป็นแหล่งผลิตแอนติบอดี ซึ่งแต่ละเซลล์จะสร้างแอนติบอดีต่างชนิดกัน โดยแอนติบอดีที่สร้างนี้สามารถจับกับสิ่งแปลกปลอมเรียกขบวนการนี้ว่า humoral antibody response (Roitte, 1984)

การแยกชนิดเซลล์ ทำได้ด้วยการแยกชนิดความแตกต่างของโปรตีนบนผิวเซลล์ที่แตกต่างกัน ในปัจจุบันการจำแนกชนิดของเซลล์อาศัยการจำแนกจากชนิดของโปรตีนโมเลกุลที่อยู่บนผิวเซลล์ (surface molecule) โปรตีนเหล่านี้ถือว่าเป็นเครื่องบ่งชี้ชนิดของเซลล์ เนื่องจากมีการค้นพบโมเลกุลบนผิวเซลล์ต่าง ๆ มากมาย จึงได้มีการตกลงจัดระบบเรียก surface molecule เหล่านี้เป็นระบบเดียวกันโดยใช้คำว่า CD (cluster of differentiation) นำหน้าและตามด้วยลำดับตัวเลขตามเวลาที่มีการค้นพบ เรียงกันตั้งแต่ CD1, CD2, CD3,.. ไปเรื่อย ๆ ในปัจจุบันมีการค้นพบ surface molecule มากกกว่า 250 ชนิด surface molecule บางชนิดจะพบอยู่บนผิวเซลล์เพียงชนิดเดียว ในกรณีนี้จึงสามารถใช้ surface molecule เหล่านี้มาใช้ระบุเป็นตัวบ่งชี้ จึงอาจเรียกโมเลกุลดังกล่าวว่า cellular marker ได้ด้วย เช่น maker ของ เซลล์ลิมโฟซัยท์ชนิด บี คือ CD21 และ CD19 สำหรับ maker ของ helper T-cells คือ CD4 และ maker ของ เซลล์ทีทำลาย (cytotoxic T lymphocyte: CTL) คือ CD8 ส่วน CD3 เป็น marker ที่อยู่บนทีเซลล์ทุกชนิด(สันนิภา, 2549)

ระบบภูมิคุ้มกันประกอบขึ้นจากเครือข่ายการทำงานของเซลล์ชนิดต่าง ๆ ที่มีการติดต่อสื่อสารกันโดยการส่งสัญญาณ ซึ่งอาจจะประกอบไปด้วยโมเลกุลของโปรตีนที่ปล่อยออกจากเซลล์ เช่น ไซโตคายน์ (cytokine) หรือ เคโมคายน์ (chemokine) (สันนิภา, 2549: Tizard, 2004) ไซโตคายน์มีหลายชนิด เช่น อินเตอร์ลิวคิน (interleukins: IL) เป็นสารส่งสัญญาณสื่อสารระหว่างลิมโฟซัยท์ด้วยกันเอง หรือ อินเตอร์เฟอร์ลอน (interferons: IFN) จะมีการหลั่งเมื่อมีการติดเชื้อไวรัสในร่างกาย เป็นต้น ซึ่งการหลั่งไซโตคายน์ออกมานั้นเซลล์เป้าหมายต้องมีตัวรับสัญญาณ (receptor) ที่ส่งออกมาจากเซลล์ต่าง ๆ เพื่อรับคำสั่งและปฏิบัติตามคำสั่งหรือสัญญาณที่ได้รับ ตัวอย่างเช่น การหลั่ง IL ชนิดต่าง ๆ (IL-1, IL-2 เป็นต้น) เซลล์เป้าหมายจำเป็นต้องมีตัวรับสัญญาณที่จะสามารถรับสัญญาณนั้นๆ ได้อย่างจำเพาะเจาะจง เช่น เซลล์เป้าหมายจะต้องมีการสร้าง IL-2 receptor เพื่อจำเพาะต่อการจับกับ IL-2 เป็นต้น (Tizard, 2004)

กลูตาไธโอน (glutathione)

กลูตาไธโอน (γ-glutamylcysteinylglycine; GSH) เป็นกลุ่มของไธออล ไตรเปปไทด์ (thiols tripeptide) โดยมีกรดอะมิโนยึดเหนี่ยวกัน 3 ตัว คือ กลูตาเมท (glutamate) ซีสเตอีน (cysteine) และไกลซีน (glycine) มีหมู่ซัลไฮดริล (-SH) อยู่ที่ตำแหน่งของ cysteine ซึ่งยึดเหนี่ยวโดยพันธะโควาเลนซ์ GSH เป็นสารโมเลกุลต่ำ ภายในเซลล์มีปริมาณ 0.5 – 10 มิลลิโมล /ลิตร พบมากในส่วนของ cytosol (85–90%) ส่วนที่เหลือพบใน organelles ต่าง ๆ ภายในเซลล์ เช่น mitochondria, peroxisome (Griffith, 1999; Lu, 2000; Jones, 2002; Wu *et al*, 2003 ; Leggatt *et al*, 2006) ส่วน GSH ภายนอกเซลล์พบในปริมาณเพียงเล็กน้อยประมาณ 2–20 มิลลิโมล /ลิตร ในพลาสมา เนื่องจาก GSH สามารถถูกออกซิไดซ์ไปเป็น กลูตาไธโอน ไดซัลไฟด์ (GSSG) โดยสารกลุ่ม electrophilic เช่น free radical, oxygen และ nitrogen โดยทันที (Griffith, 1999 and Jones, 2002)

กลูตาไธโอนสามารถช่วยลดความเสียหาย ของเซลล์ที่เกิดจากสภาวะขาดโปรตีนในอาหาร สภาวะ oxidative stress และสภาวะการเกิดโรคต่าง ๆ ซึ่งสภาวะ oxidative stress สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดโรคต่างๆได้ง่าย รวมถึงการติดเชื้อจากไวรัสด้วย (Sies, 1999) สัดส่วนของ GSH:GSSG เป็นตัวบ่งชี้ถึงอัตราของ redox สารพิษในเซลล์ ซึ่งหมายถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ แต่อัตราการ redox นั้นนอกจากขึ้นอยู่กับ GSH:GSSG แล้วยังขึ้นอยู่กับ redox couples อื่นๆ เช่น $NADPH/NADP^+$ (Sies, 1999; Jones, 2002 ; Wu *et al* , 2003)

กลูตาไธโอนมีบทบาทในการกำจัดอนุมูลอิสระ เช่น superoxide anion, hydroxyl radical, lipid peroxyl radical และ lipid hydroperoxide เป็นต้น สารกลุ่มอนุมูลอิสระจะมีสภาวะการมีประจุทั้งเป็นกลาง เป็นบวก หรือลบก็ได้ ทำให้โมเลกุลเหล่านี้ไม่มีความเสถียร จึงว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่น เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ซึ่งเป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องไม่สิ้นสุด (Halliwell and Gutteridge, 1999) อนุมูลอิสระสามารถทำให้เกิดออกซิเดชั่นของชั้นไขมัน (lipid oxidation) ซึ่งจะทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้คุณสมบัติการเลือกผ่าน และการสื่อสารของเซลล์ (signal transduction) สูญเสียการทำงานเหล่านี้ไป นอกจากนี้ยังสามารถก่อให้เกิดโปรตีนออกซิเดชั่น (protein oxidation) ทำให้เกิดการทำลายของโปรตีนที่เนื้อเยื่อเซลล์ ทำลายโมเลกุลของ DNA ทำให้เกิดการตายของเซลล์ (apoptosis) ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์และเนื้องอกหรือมะเร็งได้ (Murray *et al*., 1996)

ในร่างกายมีอนุมูลอิสระเป็นปริมาณมากซึ่งอนุมูลอิสระมีผลต่อการก่อให้เกิดโรคและการถูกทำลายของเนื้อเยื่อต่าง ๆ เช่น เนื้อเยื่อปอด หัวใจ หลอดเลือดหัวใจ ไต ตับ ระบบทางเดินอาหาร เลือด ตา ผิวหนัง กล้ามเนื้อ และสมอง (Heim *et al*., 2003) ดังนั้นในสัตว์ทุกชนิดจึงมีกลไกการกำจัดสารอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ แต่หากเกิดภาวะที่ทำให้เกิดความเครียดสูงจะมีสารอนุมูลอิสระในปริมาณมากเกินความสามารถของร่างกายในการกำจัด ส่งผลให้ร่างกายอ่อนแอ หากให้สัตว์ได้รับสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ จะทำให้สัตว์มีสุขภาพที่ดีขึ้น (นวลจันทร์และคณะ, 2548) โดยสารเหล่านี้จะไปช่วยเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ต้านการเกิดออกซิเดชั่น คือ superoxide dismutase, catalase และ glutathione peroxidase (Reddy and Lokesh, 1994)

ระบบการต้านอนุมูลอิสระระดับเซลล์ (cellular antioxidant) ที่สำคัญคือระบบเอนไซม์ที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อร่างกายที่เรียกว่า endogenous antioxidant enzyme ซึ่งสารหลายชนิด เช่น glutathione (GSH) และสารพวก thiols ที่พบตามเนื้อเยื่อ สารพวก heam protein สารที่เป็น coenzyme Q รวมทั้งสารกลุ่มพวก bilirubin และ urate และกลุ่มของสารที่พบในอาหาร เช่น วิตามินต่างๆ (Liu *et al*., 1993)

สารในกลุ่มของ endogenous antioxidant มีความต้องการพลังงานเพื่อรักษาสถานะในการต้านอนุมูลอิสระไว้ และต้องการเอนไซม์ในการเข้าช่วยในการเกิดปฏิกิริยา เช่น เอนไซม์ glutathione reductase (GR) ทำหน้าที่ในการรักษาระดับของ GSH ในเนื้อเยื่อร่างกาย โดยการรับอะตอมไฮโดรเจนจาก NADPH และ FAD เพื่อเปลี่ยนจาก GSSG กลับไป เป็น GSH ดังเดิม ส่วนเอนไซม์ glutathione peroxidases (GPH-Px) ทำงานร่วมกับเอนไซม์ phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase (PHGPX) ทำหน้าที่ในการ reduce สารพวก peroxide ที่ผนังเยื่อหุ้มเซลล์ให้เปลี่ยนเป็นน้ำและแอลกอฮอล์ ส่วนเอนไซม์ superoxide dismutase ทำหน้าที่ในการเปลี่ยน superoxide anion radical เป็น peroxide และ ออกซิเจน จากนั้น peroxide เปลี่ยนเป็นน้ำโดยเอนไซม์ catalase (Liu *et al*., 1993)

ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ระดับของ GSH จะมีความสัมพันธ์กับสารต้านอนุมูลอิสระอื่น ๆ และสารกลุ่มไธออนอื่น ๆ แต่ในปลา ระดับของ GSH และการทำงานของเอ็นไซม์ในกลุ่มที่เกี่ยวข้องจะมีความสัมพันธ์ที่น้อยกว่า (Leggatt *et al*., 2006) และยังพบว่าการหมุนเวียน (turn-over) ของ GSH ในปลาจะต่ำกว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม อาจเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ปลาสามารถกำจัดสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทางเหงือกได้ (Wilhelm-Filho *et al*., 1994)

อีกเหตุผลหนึ่งคือ อัตราการเกิดเมแทบอลอซึมของปลาต่ำกว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เพราะกระบวนการเมแทบอลอซึมที่สูงขึ้นจำเป็นต้องมีการใช้ออกซิเจนในไมโตคอนเดรียมากขึ้น เป็นผลให้เนื้อเยื่อและเซลล์ต่าง ๆ รับเอาออกซิเจนเข้าสู่เซลล์ในปริมาณที่มากขึ้นด้วย ส่งผลให้มีการผลิตสารกลุ่ม reactive oxygen species (ROS) เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากขึ้น (Davidson and Schiestl, 2001) ดังนั้นกระบวนการเมตาบอลิสมของปลาที่มีอัตราการเกิด ROS ต่ำ จึงทำให้ความต้องการใช้ GSH ลดลง ทำให้การตรวจหาระดับ GSH และการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในปลามีระดับต่ำ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Leggatt *et al*., 2006)

อย่างไรก็ตามระดับของ GSH และ GSSG ในเซลล์หรือเนื้อเยื่อของปลาก็มีความจำเป็น เนื่องจากในเนื้อเยื่อปลามีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโดยเฉพาะใน cell membrane มีองค์ประกอบของ n-3 HUFA (highly unsaturated fatty acid) เป็นจำนวนมาก ทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิด lipid peroxidation มากกว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ดังนั้นระบบการป้องกันการเกิดออกซิเดชันหรือกำจัดอนุมูลอิสระในร่างกายเพื่อกำจัด lipid hydroperoxide ที่เกิดขึ้นในร่างกายของปลาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง (Bell and Cowey, 1990)

มันสำปะหลังกับระบบภูมิคุ้มกันและสุขภาพของสัตว์

งานวิจัยการใช้มันสำปะหลังในอาหารสัตว์ทั้งสุกร และสัตว์ปีกแสดงให้เห็นว่า สัตว์ที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรมันสำปะหลังมักมีสุขภาพที่ดีขึ้น มีความทนต่อการเกิดโรคสูงขึ้นและสามารถลดการใช้ยาปฏิชีวะให้น้อยลงหรือไม่จำเป็นต้องใช้อีกต่อไป

พาพร และคณะ (2546) รายงานผลของการใช้อาหารสูตรข้าวโพดและสูตรมันสำปะหลังในอาหารที่มีการเสริมยาปฏิชีวนะและไม่เสริมยาปฏิชีวนะในสุกรระยะรุ่น-ขุน พบว่าสุกรที่กินอาหารสูตรข้าวโพดและสูตรมันสำปะหลัง มีอัตราการแลกน้ำหนักและอัตราการเติบโตต่อวันแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในสุกรเพศเมียที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังทั้งที่เสริมและไม่เสริมยาปฏิชีวนะมีสมรรถภาพการผลิตดีกว่าสุกรเพศผู้ตอน ($p<0.05$) และยังพบว่าทั้งสุกรเพศผู้ตอนและสุกรเพศเมียที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังมีแนวโน้ม ($p=0.07$) ที่จะให้สมรรถภาพการผลิตดีกว่าสุกรเพศผู้ตอนและเพศเมียที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังที่เสริมยาปฏิชีวนะ

สาธิต (2546) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้มันสำปะหลังและข้าวโพดในสูตรอาหารต่อเนื้อเยื่อลำไส้เล็กและระดับภูมิคุ้มกันต่อโรคอหิวาต์ในสุกร พบว่าสุกรที่กินอาหารสูตรที่ใช้มัน

เส้นเป็นแหล่งพลังงานมีความเข้มข้นของอิมมูโนโกบูลินชนิดแกมมา (immunoglobulin–γ, IgG) ในเลือดเท่ากับ 22.88 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สูงกว่าการใช้ข้าวโพดและมันอัดเม็ด (18.17 และ 18.86 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

อรอนงค์ และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาผลของวัตถุดิบแหล่งอาหารพลังงาน (ข้าวโพดและมันสำปะหลัง) และรูปแบบอาหารต่อระดับแอนติบอดีต่อโรค swine fever ระดับกลูตาไธโอน (GSH) และการเจริญของเซลล์ลิมโฟซัยท์ของสุกรทุกกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่พบว่าสุกรที่กินอาหารสูตรมันเส้นมีระดับกลูตาไธโอน (GSH) ในเม็ดเลือดแดงสูงกว่าสุกรที่กินอาหารสูตรที่ใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงาน ร้อยละ 33.64 ($p=0.06$) และการเจริญของเซลล์ลิมโฟซัยท์สูงกว่าสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานร้อยละ 50 ($p=0.07$) จะเห็นได้ว่าการเลี้ยงสุกรด้วยมันสำปะหลังมีผลในการกระตุ้นการสร้าง GSH ซึ่งเป็นสารที่ช่วยลดปริมาณอนุมูลอิสระในร่างกายสัตว์ ส่งผลต่อการป้องกันการทำลายผนังเซลล์ และมีผลในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันแบบ cell–mediated immunity ทำให้ร่างกายมีความสามารถในการสร้างภูมิคุ้มกันดีขึ้น

นัยสำคัญที่แสดงการเพิ่มขึ้นของกลูตาไธโอนในเม็ดเลือดแดงคือ การเพิ่มระดับสารไธโอไซยาเนทที่มากขึ้น เนื่องจากเมื่อสารไซยาไนด์เข้าไปในตัวสัตว์ ร่างกายจะเปลี่ยนสารไซยาไนด์ให้เป็นสารไธโอไซยาเนท ซึ่งจะมีผลไปกระตุ้นกิจกรรมการทำงานของระบบเอนไซม์ peroxidase ในร่างกายเพื่อกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้เปลี่ยนเป็นสารไฮโปไธโอไซยาเนทในขบวนการต้านอนุมูลอิสระ ในขั้นตอนนี้ร่างกายจะกระตุ้นการสังเคราะห์กลูตาไธโอนที่ตับเพิ่มมากขึ้นเพื่อช่วยเปลี่ยนสารไฮโปไธโอไซยาเนทกลับไปเป็น สารตั้งต้น (substate) ในระบบเอนไซม์ peroxidase ได้ต่อไป (Murry *et al.*, 1996; Mary *et al.*, 2001)

จากผลของการใช้มันสำปะหลังในอาหารสุกรและสัตว์ปีก ที่มีผลต่อการเพิ่มระดับกลูตาไธโอนในเม็ดเลือดแดง และการเสริมสร้างการต้านอนุมูลอิสระในร่างกายสัตว์ อันมีผลต่อเนื่องให้สุขภาพของสัตว์ดีขึ้น จึงเป็นแนวทางในการศึกษาผลของมันสำปะหลังในอาหารปลาดุกลูกผสมต่อระบบภูมิคุ้มกันและสุขภาพของปลา