บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (Cassava) จัดเป็นพืชหัว ชื่อวิทยาศาสตร์ Manihot esculenta Crantz. อยู่ในตระกูล Euphorbiaceae ชื่อสามัญ Cassava ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มยืนต้น มีอายุอยู่ได้หลายปี ลักษณะลำต้นสูงแตกต่างกันตามพันธุ์ และสภาพแวดล้อม อาจสูงถึง 1-5 เมตร ลักษณะของใบมันสำปะหลังเป็นแบบใบเดี่ยว (single leaf) สีของใบแตกต่างกันตามพันธุ์ เช่นเดียวกับ สีของลำต้น มีแหล่งกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกา ส่วนในประเทศไทยมีการนำเข้ามาปลูกจากประเทศมาเลเซียในปี พ.ศ. 2329 มันสำปะหลังเป็นพืชไร่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่งของประเทศไทย เป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศที่ปรวนแปรอย่างในปัจจุบันได้เป็นอย่างดี สามารถปลูกมันสำปะหลังได้ทุกภาค และปลูกได้ตลอดปี พื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังของไทยส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 50 ของผลผลิตทั้งหมดมาจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือภาคกลางร้อยละ 33 และภาคเหนือร้อยละ 15 (สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, 2552) มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นชนิดขมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมมันเส้น มันอัดเม็ด และอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง พันธุ์ที่ปลูกกันมากได้แก่ พันธุ์พื้นเมือง พันธุ์ยอดขาว พันธุ์สิงคโปร์ และพันธุ์ระยอง เกษตรกรนิยมปลูกมันสำปะหลังกันอย่างกว้างขวาง ปี 2552 มีพื้นที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง 8 ล้านไร่ เพิ่มขึ้นจากปี 2551 ร้อยละ 12.33 ผลผลิตรวมเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 16.38 (สมาคมแป้งมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2552) ประสิทธิภาพในการผลิตมันสำปะหลังของไทยนั้นมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเพิ่มขึ้นอย่างมากในปี 2552

สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลังในปี 2553 หากสภาพดินฟ้าอากาศเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของหัวมันสำปะหลัง และสถานการณ์การระบาดของเพลี้ยแป้งไม่รุนแรง คาดว่าพื้นที่เก็บเกี่ยวรวมทั้งสิ้นประมาณ 7.781 ล้านไร่ และผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ประมาณ 3.567 ตัน จะได้ผลผลิตรวมประมาณ 27.759 ล้านตันเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตปี 2552 ซึ่งมีพื้นที่เก็บเกี่ยว 8.292 ล้านไร่ ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ 3.628 ตัน ผลผลิตรวม 30.088 ล้านตัน พื้นที่เก็บเกี่ยวลดลงร้อยละ 6.16 ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ลดลงร้อยละ 1.68 ผลผลิตรวมลดลงร้อยละ 7.74 ดังตารางที่ 2-1 ผลผลิตภาพรวมลดลง เนื่องจากเกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกอ้อยโรงงาน ซึ่งให้ผลตอบแทนที่ดีกว่า และบางส่วนหันไปปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อตัดวงจรการแพร่ระบาดของเพลี้ยแป้ง ส่วนผลผลิตต่อไร่

ลดลง เนื่องจากสภาพดินฟ้าอากาศไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ประกอบกับมีการระบาดของเพลี้ยแป้งในหลายพื้นที่

ตารางที่ 2-1 พื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของมันสำปะหลังไทย

ปี	เนื้อที่เพาะปลูก	เนื้อที่เก็บเกี่ยว	ผลผลิต	ผลผลิตต่อไร่
	(ไร่)	(ไร่)	(ตัน)	(กก.)
2553*	-	7,781,352	27,759,115	3,567
2552	8,583,557	8,292,146	30,088,024	3,628
2551	7,750,413	7,397,098	25,155,797	3,246
2550	-	7,201,243	26,411,233	3,668
2549	-	6,692,537	22,584,402	3,375
2548	-	6,161,928	16,938,245	2,749

หมายเหตุ : * ข้อมูล มกราคม 2553

ที่มา : สมาคมแป้งมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย (2553)

2.1.1 การแปรรูปมันสำปะหลัง

1) มันสำปะหลังเส้น คือการนำหัวมันสำปะหลังสดไปหั่นหรือฝานโดยเครื่องจักรให้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ หรือมีชิ้นเล็กลง (cassava chip) แล้วตากบนลานซีเมนต์ 2-4 วัน ให้แห้ง เพื่อนำไปขายให้โรงงานมันอัดเม็ด หรือโรงงานแป้งมันต่อไป

2) มันสำปะหลังอัดเม็ด คือการนำมันเส้นหรือหัวมันสด มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องจักร แล้วผสมน้ำมันพืชประมาณไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้เม็ดมันจับตัวได้แน่นดีขึ้น แล้วนำไปอัดออกเป็นเม็ดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 ซม.- 1 ซม. (cassava Pellets) และอบให้แห้ง การอัดเม็ดต้องใช้เครื่องจักรที่มีกำลังพอดีจะได้เม็ดมันสำปะหลังที่แน่นแข็ง ไม่แตกหักง่ายในขณะทำการขนส่ง มันอัดเม็ดเหล่านี้มักมีคุณภาพดี เรียกว่า hard pellets แต่ถ้าการอัดด้วยเครื่องจักรขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพต่ำ เม็ดมันที่ได้มักจะไม่แข็งพอ เวลาขนส่งจะแตกยุ่ยง่าย

3) แป้งมันสำปะหลัง ในกระบวนการแยกแป้งนั้นใช้วิธีการตกตะกอน กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบสลัดแห้ง (First grade tapioca starch) เป็นกระบวนการผลิตแบบใหม่ที่โรงงานโดยทั่วไปใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

(1) การเตรียมวัตถุดิบ หัวมันสำปะหลังจะถูกล้างให้สะอาดโดยผ่านเครื่องล้างหัวมันเพื่อล้างเอาเศษดินที่ยังติดอยู่กับหัวมันออกไปกับน้ำ

(2) การโม่หัวมันสำปะหลัง มันสำปะหลังจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องสับหัวมันให้หัวมันมีขนาดเล็กลง ในระหว่างการโม่มีการเติมน้ำเพื่อให้สามารถโม่หัวมันได้ง่าย ในขั้นตอนนี้จะได้ของเหลวข้นที่มีส่วนผสมของแป้ง น้ำ กากมัน และสิ่งเจือปนต่างๆ

(3) การสกัดแป้ง ของเหลวข้นจากเครื่องโม่จะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องแยกน้ำทิ้งที่มีโปรตีนและไขมันออกจากเนื้อแป้ง แล้วน้ำแป้งที่ได้จะเข้าสู่หน่วยสกัดแป้ง โดยจะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องสกัดแป้งซึ่งเป็นเครื่องแยกน้ำแป้งออกจากเส้นใยและกาก โดยเครื่องนี้จะแบ่งหน้าที่ตามการกรองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดสกัดหยาบ และชุดสกัดละเอียด ซึ่งน้ำแป้งจะผ่านชุดสกัดหยาบก่อนเพื่อแยกกากหยาบออก แล้วจึงเข้าสู่ชุดสกัดละเอียดเพื่อทำให้บริสุทธิ์ขึ้นโดยผ่านผ้ากรองที่มีขนาดเล็กลงของเครื่องสกัดละเอียด จากนั้นน้ำแป้งที่มีความบริสุทธิ์สูงจะถูกสูบจากถังพักมายังเครื่องสลัดแห้ง ซึ่งจะเหวี่ยงแยกน้ำออกจากน้ำแป้งทำให้ได้แป้งหมาดที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 35-40

(4) การอบแห้ง แป้งหมาดจะถูกเป่าด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียสจากเตาเผาขึ้นไปบนปล่องอบแห้ง แล้วตกลงมาเข้าสู่ไซโคลนความร้อนทำให้ความชื้นหายไปบางส่วน การบรรจุ และเก็บรักษา

2.1.2 กากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีปริมาณมาก ซึ่งคิดเป็น 6-8 % ของมันสำปะหลังสดที่นำมาผลิตเป็นแป้งมันสำปะหลังประมาณ 1.6 ล้านตันต่อปี คาดว่าในช่วง 5 ปี คือ พ.ศ. 2548-2552 จะมีกากมันสำปะหลังที่ผลิตออกมาประมาณ 4.0 ล้านตันต่อปี เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ และอุตสาหกรรมการผลิตแอลกอฮอล์ เป็นต้น กากมันสำปะหลังยังมีแป้งเหลืออยู่ในปริมาณมาก จึงเป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญของจุลินทรีย์ จะเห็นว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของกากมันสำปะหลังเป็นพวกคาร์โบไฮเดรต มีโปรตีนอยู่ในปริมาณที่ต่ำจึงมักขายไปในราคาถูกเพื่อนำไปผสมในอาหารสัตว์ โดยใช้เป็นแหล่งของพลังงาน และเนื่องจากกากมันสำปะหลังมีแป้งหลงเหลืออยู่ในปริมาณสูง จึงเหมาะที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการหมัก เช่น การผลิตกรดมะนาวในระดับอุตสาหกรรมในไต้หวันและไทย ใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ (อัจฉริยา, 2529)

2.2 องค์ประกอบทางโภชนะของมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงแต่มีโปรตีนต่ำ ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วมันสำปะหลังจะประกอบด้วยน้ำ 60-65% คาร์โบไฮเดรต 30-35% โปรตีนเพียง 1-2% (Jone, 1959) มีไขมันประมาณ 0.3% เยื่อใย 1-2% และแร่ธาตุ 1% ส่วนลักษณะสำคัญทางอุตสาหกรรมของการแปรรูปมันสำปะหลังนั้น คือ องค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในมันสำปะหลัง Ketiku และ Oyenuga (1972) รายงานว่าหัวมันสำปะหลังสดมี คาร์โบไฮเดรต 30-35% หรือ 70-90% ของน้ำหนักแห้ง ประกอบด้วย แป้ง น้ำตาล เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และ เซลลูโลส (Cellulose) โดยมีแป้ง (Starch) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ แป้งในหัวมันสำปะหลังซึ่งมีประมาณ 64-72% ของคาร์โบไฮเดรต มีอะไมโลส (Amylose) 16-18% ปริมาณน้ำตาลในหัวมันสำปะหลังมีประมาณ 2-5% ของน้ำหนักแห้ง องค์ประกอบที่สำคัญคือ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณเยื่อใย ปริมาณไซยาไนด์ (กล้าณรงค์, 2542) มันสำปะหลังมีคุณค่าทางโภชนะโดยเฉพาะพลังงานสูง (ตารางที่ 2-2) จัดเป็นอาหารให้พลังงานแก่สัตว์ที่มีราคาถูกกว่า ข้าวโพด และข้าวฟ่าง การใช้มันสำปะหลังเป็นส่วนผสมในอาหารสุกร ไก่ และโค แทนหรือลดการใช้ข้าวโพด หรือข้าวฟ่างได้ แต่อาจทำให้ไข่และการผลิตน้ำหนักของสัตว์ลดลง สาเหตุอาจเนื่องจากการขาดโปรตีนบางอย่าง และอาจเนื่องจากพิษของกรดไซยานิค หรือเนื่องจากการย่อยได้ต่ำ ประเทศไทยใช้ประโยชน์ของมันสำปะหลังในแง่ของอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังและแป้งแปรรูปมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศผู้ปลูกมันสำปะหลังรายใหญ่ ๆ เช่น ประเทศบราซิล อินโดนีเซีย และประเทศในทวีปแอฟริกา ที่บริโภคมันสำปะหลังเป็นอาหารหลัก Johnson และ Raymond (1965) และ Onwueme (1978) รายงานว่าโปรตีนในมันสำปะหลังนอกจากจะมีปริมาณต่ำแล้วยังมีคุณภาพต่ำอีกด้วย โดยมีอาร์จีนีนเป็นองค์ประกอบสูงที่สุดในจำนวนกรดอะมิโนอื่นๆ และมีเมทไธโอนีน ไลซีน ทริโตเฟน ฟีนิลอะลานีน และไทโรซีนต่ำ สำหรับกรดไขมันที่พบในหัวมันสำปะหลัง ได้แก่ กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) กรดโอเลอิก (Oleic acid) กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) และกรดลินดีนิก (Lindenic acid) กากมันสำปะหลังโดยทั่วไปมีส่วนประกอบและคุณค่าทางอาหารของกากมันสำปะหลัง ตามลำดับดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลัง

องค์ประกอบ (%)	อุทัย (2540)	สุกัญญา (2545)	Beynum et al. (1985)	Sriroth et.al.(1998)
ความชื้น	63.28	63.28	66.00	53.02
คาร์โบไฮเดรต	29.73	25.00	26.00	25.00
โปรตีน	1.18	1.18	1.00	2.18
ไขมัน	0.08	0.08	0.30	0.21
เถ้า	0.85	0.85	-	-
เยื่อใย	0.99	1.71	1.11	1.71
ฟอสฟอรัส	0.04	-	-	-

ตารางที่ 2-3 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง

องค์ประกอบ (%)	ทวี (2527)	เสาวนิตย์ (2527)	สุกัญญา (2545)	พีรพจน์ (2547)	เทอดศักดิ์ (2549)
ความชื้น	86.80	87.26	87.79	86.53	77.63
คาร์โบไฮเดรต	90.80	65.03	66.22	67.5	-
โปรตีน	1.04	1.75	3.39	2.30	2.98
ไขมัน	0.80	0.48	0.24	0.70	2.64
เถ้า	1.80	10.76	2.65	6.20	6.00
เยื่อใย	5.30	9.24	15.26	9.80	6.30

2.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรา

2.3.1 *Aspergillu niger*

Aspergillus niger จัดอยู่ใน class Deuteromycetes สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิห้อง สามารถพบได้ทั่วไป ในธรรมชาติ ลักษณะเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ไม่มีสีและผนังของ smoth-walled conidiophose ไม่มีสีและผนังของ *conidiophose* ตรงใกล้กับ vesicle ปลายก้านชูพองเป็นกระเปาะกลมขนาด 20-50 ไมไครเมตร บางครั้งอาจถึง 100 ไมโครเมตร ดังแสดงในภาคผนวก ก. บนกระเปาะจะมีติ่ง เริ่มแรกนั้นจะมีชั้นเดียวต่อมามีสองชั้น ติ่งจะเกาะอยู่รอบกระเปาะ โคโลนีที่เกิดจากกระเปาะนั้นจะเป็นรูปกลม มีสีน้ำตาล หรือ ดำ ผนังจะหนาและขรุขระ การสืบพันธุ์ของรา *A. niger* เป็นการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของราชนิดนี้จะสร้างสปอร์ ก้านชูสปอร์ (sporangiophore) เมื่ออับสปอร์แตกจะทำให้สปอร์แพร่กระจายและเมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสมสปอร์เหล่านี้จะเจริญเป็นเส้นใยใหม่ *A. niger* สามารถผลิตเอนไซม์เพคติเนส (pectinase) ที่สามารถย่อยเพคตินในกากมันสำปะหลัง มีประสิทธิภาพในการย่อยแป้งมันสำปะหลัง ลดความหนืดของแป้งได้ดี และราชนิดนี้สามารถเพิ่มระดับโปรตีนในวัตถุดิบอาหารสัตว์และในมันสำปะหลังได้

การที่จุลินทรีย์จะใช้ประโยชน์ของแป้งในกากมันสำปะหลังนั้น จุลินทรีย์จำเป็นจะต้องย่อยสารโพลิเมอร์ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ในเซลล์ ซึ่งในจุลินทรีย์บางชนิดสามารถสร้างเอนไซม์ที่สามารถย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลได้อย่างสมบูรณ์ โดยผลิตได้ทั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส และกูลโคอะไมเลส (Knight, 1969) การใช้เอนไซม์เพียงกลุ่มเดียวยังได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากในกากมันสำปะหลังยังประกอบไปด้วยสารประกอบคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น ๆ ที่มีลักษณะเป็นเส้นใย ซึ่งถูกย่อยสลายได้ไปยึดเกาะโมเลกุลของแป้งทำให้เอนไซม์อะไมเลส ย่อยแป้งได้น้อยลง เช่น เพคติน (pectin) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่พบในส่วน middle lamella ของเซลล์พืชซึ่งสร้างขึ้นที่ผนังเซลล์ในระหว่างการเจริญ (Charley, 1969) การใช้เอนไซม์ เพคติเนส (pectinase) ร่วมกับเอนไซม์ที่ย่อยแป้งจึงน่าจะให้ผลดีในการย่อยคาร์โบไฮเดรตในกากมันสำปะหลัง จากการศึกษา crude glucoamylase enzyme ของ *A. niger* และ *A. awamori* มีประสิทธิภาพในการย่อยแป้งมันสำปะหลัง ลดความหนืดของแป้งได้ดีกว่าเอนไซม์อะไมโลกลูโคสิเดส (amyloglucosidase) ที่ผลิตขึ้นเพื่อการค้าจาก *A.* niger (Ueda et al., 1981) และมีการรายงานอีกหลายฉบับกล่าวว่าการใช้เอนไซม์เพคติน ดีโพลีเมอร์เลส (pectindepolymerase) ที่ผลิตเพื่อการค้าร่วมกับเอนไซม์อะไมเลส และ/หรือ กลูโคอะไมเลส และ/หรือ การให้ความร้อนสามารถช่วยให้เกิดการย่อยแป้งดิบชนิดต่างๆ ได้ดีขึ้น (พลสัณห์, 2535; Yamamoto et al., 1981; Chua et al., 1984; Lee et al., 1984; Koba et al., 1986; Ishihara and Yonaha., 1987)

2.3.2 *Rhizopus oligosporus*

รา *Rhizopus oligosporus* จัดอยู่ใน class Zygomycetes สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิ 30-37 องศา ซึ่งโดยปกติเป็นราที่สร้างเส้นใย สืบพันธุ์ได้ทั้งแบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ สปอร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ อยู่ภายในอับสปอร์ (Sporangium) ซึ่งอยู่บนก้านชูสปอร์ (Sporangiophore) สำหรับสปอร์ที่เกิดจากการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศจะเรียกว่า ไซโกสปอร์ (Zygospore) (Deacon, 1997) ผนังเซลล์ประกอบด้วยสารไคโตซานและไคตินทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับเซลล์ *R. oligosporus* เป็นราที่มีโครงสร้างพิเศษ คือ มีสโตลอน (Stolon) และตรงโคนด้านอับสปอร์จะพบลักษณะคล้ายรากในพืชชั้นสูง เรียกว่า ไรซอยด์ (Rhizoid) ซึ่งเป็นเส้นใยสั้น ๆ ที่มีจุดกำเนิดมาจากตำแหน่งเดียวกัน ดังแสดงในภาคผนวก ก. โดยจะเกิดตรงจุดเฉพาะที่เส้นใยสัมผัสกับอาหารที่มีผิวแห้ง ทำหน้าที่ในการยึดเกาะกับอาหาร และช่วยดูดซึมอาหารและอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ เข้าสู่โครงสร้างที่เป็นเส้นใย (Bilgrami and Verma, 1978) และโดยเส้นใยจะมีการเพิ่มจำนวนและรวมกลุ่มกันจนมีขนาดใหญ่ มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเรียกว่า ไมซีเลียม (Mycelium) ซึ่งมีลักษณะคล้ายปุยฝ้ายแผ่กระจายเต็มภาชนะเรียกลักษณะนี้ว่า Fluffy (Frazier, 1967) เส้นใยของ *R. oligosporus* นั้นจะเป็นเส้นใยที่ไม่มีผนังกั้น (Non-septate hypha) ทำให้เส้นใยมีลักษณะเป็นท่อทะลุถึงกันโดยตลอด หรือเป็นเซลล์ที่ยาวและมีหลายนิวเคลียสเพราะมีไซโตพลาสซึมต่อเนื่องกัน และนิวเคลียสอยู่ปะปนกัน เรียกเส้นใยแบบนี้ว่า Coenocytic hypha (Bilgrami and Verma, 1978) เส้นใยมีการเจริญได้สองทิศทาง ในตามขวางจะเจริญไปอย่างเต็มที่แล้วจึงหยุดเจริญ ส่วนการเจริญตามยาวของเส้นใยจะขยายออกไปและแตกแขนงอย่างไม่จำกัดตราบเท่าที่สภาวะแวดล้อมยังเหมาะสม เส้นใยที่มารวมเป็นไมซีเลียมจะประกอบด้วยสองส่วนส่วนแรกเป็นไมซีเลียมที่ยึดเกาะกับอาหารเรียกว่า Vegetative mycelium ทำหน้าที่ดูดสารอาหารไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ และส่วนที่สองเป็นไมซีเลียมที่ยื่นไปในอากาศ เรียกว่า Aerial mycelium หรือ Reproductive mycelium ทำหน้าที่สร้างสปอร์เพื่อการสืบพันธุ์ (Bilgrami and Verma, 1978)

2.4 กระบวนการหมักแบบแห้ง

ระบบการหมักในสภาพอาหารแห้ง หมายถึง กระบวนการหมักที่อาศัยการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนอาหารแห้งในสภาพซึ่งไม่มีน้ำอิสระ (Free liquid) อยู่ในระบบ (Pandey, 1992) แต่จะมีน้ำอยู่ในรูปความชื้น (Moisture content) ที่ถูกดูดซับกับวัตถุดิบเท่านั้น ปริมาณความชื้นหรือน้ำที่จุลินทรีย์จะนำ ไปใช้ (aw, Availale water) จึงค่อนข้างต่ำจึงเหมาะกับการหมักโดยเชื้อราเป็นส่วนใหญ่ (วราวุฒิ และ รุ่งนภา, 2532) ลักษณะของการหมักในสภาพอาหารแห้ง พอจะแบ่งออกได้ดังนี้

1) วัตถุดิบที่นิยมใช้ในการหมักมักเป็นพวกธัญพืช ถั่ว และผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์ซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตหรือโปรตีนสูง

2) วัตถุดิบที่ใช้ต้องมีขนาดเหมาะสม เพื่อให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคของวัตถุดิบเพียงพอให้อากาศถ่ายเทดี

3) ส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อที่สำคัญได้แก่ น้ำ นอกจากนี้จำเป็นต้องเติมสารอาหารจำเป็น

4) การปนเปื้อนด้วยเชื้อแบคทีเรียน้อย เนื่องจากความชื้นต่ำไม่เหมาะต่อการเจริญของแบคทีเรีย

5) ปัญหาเรื่องความร้อนสะสมซึ่งมีอยู่มากในระบบการหมักแบบแห้ง จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงเกินจนเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ (Hesseltine, 1977)

การหมักในสภาพอาหารแห้ง พบว่ามีข้อดีได้แก่ อาหารที่ใช้ในกระบวนการ หาง่ายมีทั่วไป เช่น ข้าว ข้าวสาลี และผ่านขั้นตอนการเตรียมก่อนใช้งานน้อยกว่าอาหารเหลว มีการใช้น้ำในการหมักน้อย เพียงเพื่อปรับค่าความชื้นเท่านั้น (Mitchell et al , 1992) ทำให้ลดปัญหาเรื่องสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการ ลดการปนเปื้อนจากยีสต์และแบคทีเรีย ซึ่งต้องการความชื้นสูงกว่า รามีการเจริญอย่างรวดเร็วมากในการหมักโดยใช้อาหารแข็ง เช่น การผลิต Monasscus พบว่าปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น 10 เท่าจากการหมักเท่าเดิม ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการหมักโดยวิธีนี้ตรงกับสภาวะที่ราใช้ในการเจริญเติบโตตามธรรมชาติ ความเข้มข้นที่สูงของอาหาร ทำให้สามารถลดขนาดปริมาตรของถังหมักที่ปริมาณการผลิตเท่าเดิม ทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและปฏิบัติการน้อยลง ให้ออกซิเจนผ่านเข้าสัมผัสกับอาหารเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย การหมักแบบนี้จะใช้จุลินทรีย์ที่เป็นระยะสปอร์ จึงไม่จำเป็นต้อง ใช้ถังเก็บเชื้อที่มีถังใหญ่ และสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้เมื่อระเหยน้ำออกก็จะเป็นปริมาณที่น้อยมาก ของเสียที่เกิดจากกระบวนการหมักมีน้อย ข้อเสียของการหมักแบบแห้งเช่นปริมาณต้นเชื้อที่อยู่ในรูปของสปอร์เริ่มต้นที่ใช้ต้องมีปริมาณมาก ดังนั้นต้องมีกรรมวิธีการผลิตเพื่อเพิ่มปริมาณสปอร์ การเก็บเกี่ยวสปอร์ต้องใช้เทคนิคปลอดเชื้อ และวัตถุดิบทางการเกษตรที่จะนำมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ อาจต้องนำมาผ่านกระบวนการเพื่อเตรียมสภาพให้เหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อน เช่น การทำให้มีขนาดเล็กลงหรือการนำวัตถุดิบไปนึ่งก่อนแทนที่จะใช้วัตถุดิบนั้นในสภาพปกติเป็นต้น

2.4.1 จุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมักแห้ง

จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวมีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกับเซลล์สัตว์ชั้นสูงและสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีคล้ายกันหลายปฏิกิริยา สามารถดำรงชีพโดยใช้อาหารอย่างง่ายๆ เช่นเกลืออนินทรีย์ (Inogarnic salts) อย่างเดียวหรือผสมกับน้ำตาลเฮกโซส (Hexose) จึงทำให้

มันเพิ่มจำนวนขึ้นมาได้อย่างรวดเร็ว (วราวุฒิ, 2529) จุลินทรีย์มีลักษณะสำคัญซึ่งทำให้เป็นประโยชน์ และมีคุณค่าต่อการนำมาใช้ ดังนี้

1) จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก โดยเฉลี่ยแล้วแบคทีเรียมีขนาด 0.5-20 ไมครอน ส่วนเส้นใยของเชื้อรามีความกว้าง 4-20 ไมครอน

2) จุลินทรีย์ใช้เวลาในการเพิ่มจำนวนสั้นมาก โดยทั่วไปแล้วแบคทีเรียและยีสต์ใช้เวลาในการเพิ่มจำนวน 20-120 นาที

3) จุลินทรีย์มีเอนไซม์หลายร้อยชนิดในเซลล์เดียว จึงทำให้ความสามารถของมันมีขอบเขตที่กว้างมาก

4) จุลินทรีย์มีลักษณะการดำเนินชีวิตแบบไม่คงที่สามารถแปรเปลี่ยนไปได้ง่ายและรวดเร็วมาก (Dynamic character) กล่าวคือสามารถเจริญได้รวดเร็ว และตายลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน ในระหว่างการเจริญเติบโตจุลินทรีย์จะดูดซึมอาหารไปใช้ในกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์ และขับถ่ายของเสียผ่านผนังเซลล์ออกมา นอกจากนี้แล้วในระหว่างการเจริญเติบโต จะทำให้สภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไม่มากก็น้อย เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด – ด่าง ชนิดและปริมาณสารเคมีต่างๆ ที่มีอยู่และที่เกิดขึ้น การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ มีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราการเจริญหรือการตายของจุลินทรีย์ โดยที่อัตราการเจริญของจุลินทรีย์จะแตกต่างกันในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันสำหรับจุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์ได้ ถ้าสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงมาก มันอาจอยู่ในสภาพสปอร์แทนสภาพเซลล์ปกติ

5) จุลินทรีย์มีความสามารถในการปรับตัวกว้างพอสมควรตามปกติจุลินทรีย์จะมีโอกาสที่จะปรับตัวแปรสภาพได้ตามธรรมชาติ เช่นในแง่การทนและเจริญได้ในสภาวะที่อุณหภูมิสูง การใช้สารเคมีบางอย่างทดแทนสารเดิมที่เป็นแหล่งอาหาร พลังงานหรือโปรตีนสำหรับตัวมัน เช่น การใช้กลีเซอรีนทดแทนน้ำตาลกลูโคส เป็นต้น ทั้งนี้เราอาจฝึกจุลินทรีย์ให้ค่อยๆ ปรับระบบเอนไซม์ภายในเซลล์ให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมที่เราควบคุมได้หลายกรณี (Induced adaption mechanism)

6) คุณสมบัติทางพันธุกรรมของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์มีความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม และอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางพันธุกรรมได้จึงทำให้เราสามารถปรับปรุงสายพันธ์ของจุลินทรีย์ได้ จุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมักมีหลายชนิดด้วยกัน ในที่นี้จัดแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ รา ยีสต์ และแบคทีเรีย (Aiba et al , 1973) จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันในช่วงที่กว้างมาก เช่น ความแตกต่างของส่วนประกอบทางเคมี อัตราการเพิ่มจำนวน เป็นต้น แม้กระทั่งจุลินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันก็ยังมีความแตกต่างกัน

การเพาะเลี้ยงราในอาหารแห้งนั้น Mayer (1948) ได้ทำการทดลองเพาะเลี้ยงราหลากหลายสายพันธุ์ อาทิเช่น *Penicillium notatum, Aspergillus flavus, Aspergillusniger* และ *Rhizopus oryzae* โดยอาหารแห้งที่ใช้ได้แก่ รำข้าวบาร์เลย์ 70 กรัม รำข้าวสาลี 10 กรัม แป้งสาลี 15 กรัม และเปลือกโอ๊ต 10 กรัม จากนั้นเติมสารละลาย 50 มิลลิลิตรจากการผสมกันระหว่าง กลีเซอรีน 7.5 กรัม กากน้ำตาล 7.5 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 4.0 กรัม เบคโตเปปโตน 5.0 กรัม ฟีวริคคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต 0.005 กรัม แมกนีเซียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต 0.05 กรัม โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.06 กรัม และน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เกลี่ยส่วนผสมทั้งหมดหนาประมาณ 1 นิ้ว นำส่วนผสมของวัตถุดิบไปฆ่าเชื้อ จากนั้นถ่ายต้นเชื้อลงไปบ่มไว้นาน 3-6 วัน อุณหภูมิที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของราแต่ละชนิด มีช่วงที่แตกต่างกันระหว่าง 10-40 องศาเซลเซียส โดยพบว่า *R. oryzae* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส *P. notatum* และ *A. flavus* เจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 22-27 องศาเซลเซียส และ *A. niger* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ราจะสร้างสปอร์ปกคลุมอาหารแห้งหนาแน่น

2.4.2 คุณสมบัติของเชื้อราที่ใช้ในการหมัก

1) จุลินทรีย์ที่นำมาใช้ควรมีคุณสมบัติคงตัว และมีความสามารถในการผลิตสูงและสม่ำเสมอภายใต้สภาวะการควบคุมกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ซึ่งความคงตัวของจุลินทรีย์ในการสร้างผลิตผลได้สูงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากในอุตสาหกรรมการหมัก การเก็บรักษาจุลินทรีย์ด้วยวิธีการที่เหมาะสมจะช่วยรักษาความคงตัวของจุลินทรีย์ไว้ได้ แต่ในระหว่างการหมักจุลินทรีย์มีการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวน ดังนั้นจึงยากที่จะควบคุมความคงตัวของจุลินทรีย์ไว้ได้ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์หรือตัดแต่งทางพันธุกรรม ตัวอย่างเช่นจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตกรดอะมิโนในอุตสาหกรรม เมื่อเพาะเลี้ยงในถังหมักนานๆ จะมีโอกาสเกิดผ่าเหล่าได้สูงและรีเวอร์แตนท์ ที่จะทำให้เกิดปัญหาผลผลิตลดลงเรื่อยๆ โดยเฉพาะในการหมักแบบต่อเนื่องและแบบเฟดแบช (fed-batch) การแก้ปัญหานี้อาจทำได้โดยเลือกใช้มิวแตนท์ที่มีความคงตัวสูง เช่น Double auxotroph เป็นต้น

2) มีความต้านทานต่อไวรัสได้ดี เช่น กระบวนการหมักที่ใช้แบคทีเรียควรเลือกใช้แบคทีเรียที่มีความต้านทานต่อไวรัสและสารปฏิชีวนะที่ทำลายไวรัส แต่ไม่มีผลทำลายแบคทีเรียเพื่อที่จะสามารถใช้สารปฏิชีวนะในการควบคุมไวรัสได้

3) ควรเลือกจุลินทรีย์ที่ไม่ทำให้เกิดฟองในการผลิต เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดฟอง ซึ่งการเกิดฟองในกระบวนการหมักอาจทำให้อาหารเลี้ยงเชื้อไหลล้นจากถังหมักทางช่องเปิดอากาศออกได้ และทำให้มีโอกาสเกิดการปนเปื้อนสูง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

4) ส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อบางอย่าง ที่จำเป็นสำหรับการสร้างผลผลิตที่ต้องการอาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้ ดังนั้นจุลินทรีย์ที่ใช้จะต้องมีความต้านทานต่อสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบในอาหารเลี้ยงเชื้อนั้นๆ

5) มีลักษณะสัณฐานวิทยาที่เหมาะสม ในกระบวนการหมักบางชนิดลักษณะสัณฐานวิทยาของจุลินทรีย์อาจมีผลต่อความยากง่ายในการควบคุมกระบวนการผลิตเช่น การให้อากาศ การเกิดฟอง และการกรอง ซึ่งจะมีผลต่อต้นทุนการผลิตด้วย ดังนั้นจึงควรเลือกใช้จุลินทรีย์ที่มีสัณฐานวิทยาที่ทำให้การควบคุมสภาวะต่างๆ ในกระบวนการผลิตทำได้ง่าย

6) ความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์ควรเลือกจุลินทรีย์ที่ให้ผลผลิตสูงในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อยกว่าปกติได้ เพราะจะช่วยลดต้นทุนการผลิตลงได้อย่างมาก

7) ควรเลือกใช้จุลินทรีย์ที่สร้างผลผลิตที่ต้องการได้สูง แต่ไม่สร้างผลผลิตที่ไม่ต้องการเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการแยกผลผลิตและการทำให้บริสุทธิ์ นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่ใช้จะต้องมีประสิทธิภาพในการผลิตที่แน่นอน และต้องไม่แปรสภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นต่อไป

8) สามารถเลี้ยงขยายปริมาณได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ สามารถใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูกเป็นอาหารได้ และใช้ระยะเวลาในการหมักสั้น (วราวุฒิ, 2529; สมใจ, 2537)

2.4.3 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ หมายถึง ปฏิกิริยาระหว่างเซลล์จุลินทรีย์กับสิ่งแวดล้อมอันได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช และความเข้มข้นของสารอาหารเป็นต้น ในอีกแง่หนึ่งการเจริญเติบโตของเซลล์จุลินทรีย์ อาจหมายถึง การเติบโตหรือการให้สารแก่จุลินทรีย์แต่ละเซลล์ อันเป็นกระบวนการที่สลับซับซ้อน และได้มาจากผลรวมของเมตาบอลิซึมของเซลล์ โดยทั่วไปเมื่อจุลินทรีย์มีการเติบโตจะมีการเปลี่ยนแปลงของแต่ละเซลล์ โดยเซลล์จะเพิ่มขนาดขึ้นก่อน จากนั้นก็จะแบ่งตัวออกเป็นสองเซลล์ (Binary division) ลักษณะของอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สามารถแบ่งวงจรการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ออกเป็นระยะต่าง ๆ โดยปกติแล้วแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ Lag phase, Log phase หรือ Exponential phase, Stationary phase และDeath phase ซึ่งดูจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการเจริญเติบโต (growth rate) อัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของจุลินทรีย์นั้นจะอยู่ที่จุดเมื่อเซลล์มีขนาดประมาณ ¾ ของเซลล์ที่โตเต็มที่

1) Lag phase คือช่วงที่เซลล์จุลินทรีย์ปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจใช้เวลาสั้น ๆ หรือบางครั้งใช้เวลานานเป็นชั่วโมง ช่วงนี้จะเกิดขึ้นเมื่อถ่ายเชื้อจุลินทรีย์ไปยังอาหารเลี้ยงเชื้อใหม่ซึ่งจำนวนจุลินทรีย์จะอยู่คงที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง จะมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งเกิดกับเซลล์จุลินทรีย์ ที่มีการขยายขนาด (rate of growth) การปรับตัวของจุลินทรีย์ให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ อายุของต้นเชื้อ (inoculum) ที่เหมาะสมต่อการใช้งาน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 11 ก.ย. 2555
เลขทะเบียน 218430
เลขเรียกหนังสือ

2) Acceleration phase ช่วงนี้เป็นช่วงก่อนเซลล์เข้าสู่ช่วง Log phase โดยหลังจากที่เริ่มเจริญเติบโต โดยมีการแบ่งเซลล์ประมาณ 4-5 ครั้ง ก่อนเข้าสู่ช่วงอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดต่อไป

3) Logarithmic phase ช่วงนี้เรียกว่าช่วงอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด ในช่วงนี้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อยู่ในสภาพสมดุล (balance growth) ซึ่งเรียกระยะนี้ว่า Steady state period ที่จริงแล้วสภาวะนี้เป็นเพียงแค่ทฤษฎีเท่านั้น เพราะสภาวะนี้ไม่ได้เกิดจริง เนื่องจากตลอดเวลาของการหมัก ส่วนประกอบของเซลล์และขนาดของเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงตลอด

4) Stationary phase ก่อนที่จะเข้าสู่ระยะ Stationary phase อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะต่ำลง เนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เพราะอาหารของจุลินทรีย์เริ่มหมดลง ทั้งยังมีการสะสมสารพิษซึ่งเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึม ในช่วงนี้เซลล์ที่มีชีวิตจะลดจำนวนลง ทำให้จำนวนเซลล์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ช่วงนี้จะมีความสำคัญมากต่อกระบวนการหมักเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์บางอย่าง เช่น การหมักแอลกอฮอล์ เนื่องจากการหมักจะสิ้นสุด หลังจากที่ Viable cell ถึงจุดสูงสุดเล็กน้อย แต่ในบางกระบวนการหมักเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ยาปฏิชีวนะ เพนนิซิลิน จุลินทรีย์จะเริ่มผลิตหลังจากเข้าสู่ช่วง Stationary phase แล้ว หรือในบางกรณีที่มีปริมาณอาหารจำกัด หรือปัจจัยอื่น เช่นการสะสมของสารพิษซึ่งเป็นตัวยับยั้งการเจริญเติบโตและทำให้จุลินทรีย์เข้าสู่ช่วง Stationary phase

2.4.4 แหล่งวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต

การหมักแบบแห้ง (solid-state fermentation) เป็นกระบวนการหมักบนวัสดุหมักซึ่งไม่มีน้ำอิสระที่ใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ น้ำในกระบวนการหมักจึงอยู่ในสภาพของความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุหมัก ถ้าความชื้นในกระบวนการหมักต่ำกว่า 12% จุลินทรีย์จะหยุดการเจริญเติบโตปริมาณความชื้นหรือน้ำที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ (aw, available water) ซึ่งค่อนข้างต่ำจึงเหมาะกับการหมักโดยเชื้อราเป็นส่วนใหญ่ การหมักแบบแห้งวัตถุดิบส่วนใหญ่ได้แก่ เมล็ดธัญพืช (เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และถั่วเหลือง) รำข้าวสาลี วัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูเลส (เช่น ไม้ ฟางข้าว) รวมทั้งของเสียจากกระบวนการผลิตอาหาร ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีโมเลกุลใหญ่จึงไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมีอยู่เป็นจำนวนมาก หาง่าย ราคาถูก การใช้วัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นของแข็งในกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์นี้เป็นกรรมวิธีดั้งเดิม (Hesseltine, 1977) และสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบทางการเกษตร การหมักแบบแห้งส่วนใหญ่จะใช้กับเชื้อราที่สร้างเส้นใย ยีสต์บางชนิด เพราะเชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ดีในวัสดุที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น ท่อนไม้ ราก ลำต้นใบและเมล็ดของพืช และบริเวณที่แห้งของสัตว์ เช่นหนัง กระดูก และมูลสัตว์ที่มีความชื้นต่ำ

2.5 การเพิ่มโปรตีนในกากมันสำปะหลังโดยการหมักแบบแห้ง

กากมันสำปะหลังเป็นผลผลิตพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ส่วนใหญ่กากมันสำปะหลังที่ผลิตได้ถูกนำไปขายในราคาถูกเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ แต่เนื่องจากองค์ประกอบของกากมันสำปะหลังส่วนใหญ่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงเช่นเดียวกับมันสำปะหลัง คือประมาณ 67 % และมีโปรตีนในปริมาณต่ำประมาณ % (พีรพจน์, 2547) จึงมีการศึกษาการใช้ประโยชน์ของกากมันสำปะหลังเช่นเดียวกับมันสำปะหลัง โดยมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน

ในปัจจุบันมีการศึกษาถึงการใช้จุลินทรีย์เป็นแหล่งโปรตีน โดยโปรตีนที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์ เรียกว่า โปรตีนเซลล์เดียว (Single cell protein หรือ SCP) จุลินทรีย์ที่สามารถนำมาผลิตเป็นโปรตีนเซลล์เดียวได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ รา และสาหร่าย สาเหตุที่มีการนำจุลินทรีย์มาใช้เป็นแหล่งโปรตีน เนื่องจากว่าจุลินทรีย์ให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลาสูงกว่าโปรตีนจากแหล่งอื่นๆ (Bhatacharjee J.K. 1970) นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังสามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งมีชีวิตอื่นและมีโปรตีนในเซลล์สูงดังแสดงในตารางที่ 2-4

การใช้เชื้อรามาผลิตโปรตีนเซลล์เดียวดีกว่าการใช้ ยีสต์หรือแบคทีเรีย เพราะว่าคุณค่าทางอาหาร และปริมาณกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบของเชื้อรามีปริมาณสูงกว่าโปรตีนเซลล์เดียวจากจุลินทรีย์อื่นๆ (เสริมศักดิ์, 2546) ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากเชื้อราเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงจะต้องมีสารอาหารในปริมาณที่พอเหมาะต่อการเจริญ มีปริมาณออกซิเจน แหล่งคาร์บอน และไนโตรเจน เชื้อราที่ใช้ในกระบวนการหมักจะต้องไม่เป็นพิษ และถ้าเลือกเชื้อราที่ทนต่อความร้อนสูง จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการหล่อความเย็นให้ถังหมักในระหว่างกระบวนการหมัก

ตารางที่ 2-4 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนเซลล์เดียวเปรียบเทียบกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ

สิ่งมีชีวิต	องค์ประกอบทางเคมี (%)				
	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย
สาหร่าย	10-50.	40-50	2-15.	5-15.	1-12.
รา	-	55.00	1.30	6.00	7.00
ยีสต์	39.3	50.50	1.10	7.00	2.1
ไข่	2.80	48.80	44.50	4.20	-
นม	37.70	26.90	30.00	5.40	-
ปลา	-	55.40	37.90	8.20	-
เนื้อสัตว์	2.00	57.10	37.10	3.10	-
ข้าวโพด	85.20	10.2	3.90	1.30	-
ข้าวสาลี	84.10	13.6	1.50	1.40	-

ที่มา : Becker (1988)

การนำกระบวนการหมักแบบแห้งมาใช้เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในมันสำปะหลังในระดับห้องปฏิบัติการและในฟาร์ม กระบวนการดังกล่าวเริ่มจากการบดมันสำปะหลังเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-4 มิลลิเมตร เพิ่มความชื้นเป็น 40 เปอร์เซ็นต์จากนั้นนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ เพื่อให้แป้งเกิดการเจลลาติไนซ์ หลังจากเย็นลงจนถึงอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ถ่ายต้นเชื้อรา *R. oryzae* MUCL 28627 ลงไป โดยเติมยูเรีย 3.4 กรัม KH_2PO_4 1.5 กรัม $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.8 กรัม และกรดซิตริก 22.7 กรัม ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม ในกระบวนการหมักมันสำปะหลังที่มีความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ จะถูกเกลี่ยบนถาดหนา 2-3 เซนติเมตร หมักที่เวลา 65 ชั่วโมง จะได้ผลผลิตมันสำปะหลังที่มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 10.7 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง (ปริมาณโปรตีนจากเดิมก่อนการหมักเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์) (Daubresse et al., 1987)

สาวิตร (2530) ได้ศึกษาการเพิ่มปริมาณโปรตีนในกากมันสำปะหลังเพื่อนำไปเป็นอาหารปลาทอง (*Carassius auratus*) โดยการหมักด้วยแบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์แสงได้คือ *Rhodopseudomonas gelatinosa* ซึ่งสามารถใช้แป้งที่อยู่ในกากมันสำปะหลังได้โดยตรงและใช้เชื้อผสมของ *R. gelatinosa* กับ *R. sphaeroides* P47 เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการหมักและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้สูงขึ้นกว่าการหมักด้วยเชื้อชนิดเดียว พบว่า กากมันสำปะหลังที่หมักด้วยเชื้อ

R. gelatinosa หรือเชื้อผสมจะมีปริมาณโปรตีน 20.78 และ 21.72% ตามลำดับ โปรตีนที่ได้ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นอย่างครบถ้วน นอกจากนี้ กากมันสำปะหลังที่หมักโดยเชื้อเดียวและเชื้อผสมยังประกอบไปด้วยวิตามินบีในปริมาณ 124.72 และ 6.78 ไมโครกรัม/กรัม นน.แห้ง ตามลำดับ เมื่อนำมาเลี้ยงปลาทองพบว่า การใช้อาหารผสมกากมันสำปะหลังที่หมักด้วยเชื้อ *R. gelatinosa* แทนปลาป่นโปรตีน 50 % จะช่วยให้การเจริญของปลาดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารมาตรฐานของสถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ (สปช.) ทั้งในด้านน้ำหนักตัวและความยาวของลำตัว โดยมีการอยู่รอด 96.3% ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราการอยู่รอดของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร สปช. คือ 95% นอกจากนี้การใช้อาหารที่ผสมกากมันสำปะหลังหมักแทนปลาป่นโปรตีน 50 % ยังมีผลต่อความตกของไข่ คือทำให้ปลาทองมีปริมาณไข่มากขึ้น และยังทำให้ไข่สุกเร็วขึ้นด้วย

ปิยวรรณ และศรัณยา (2539) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณโปรตีนให้กับกากมันสำปะหลัง ด้วยวิธีการหมักแบบแห้ง ด้วยเชื้อรา *R. oligosporus* โดยทำการทดลองในถาดหมักปกติ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการหมัก โดยแปรปัจจัยต่อไปนี้ คือ เวลาในการหมัก (0-5 วัน) อุณหภูมิในการหมัก ความชื้นเริ่มต้นในการหมัก และความหนาของชั้นหมักโดยใช้ปริมาณเชื้อเริ่มต้น 2.5×10^6 สปอร์/กรัมกากมันสำปะหลังแห้ง และใช้แอมโมเนียซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ ใช้เวลาในการหมัก 48 ชั่วโมง ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ70 ความหนาชั้นหมัก 0.5 นิ้ว และหมักที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนในกากมันสำปะหลังจาก 3.5% เป็น 16%

ทรงศักดิ์และเพ็ญจิตร (2544) ได้ทำการทดลองโดยใช้รา *R. oligosporus* ในการหมักกากมันสำปะหลังในถังหมักแบบหมุนขนาด 5 ลิตร โดยปรับความชื้นของกากมันสำปะหลังเท่ากับร้อยละ50 ด้วยสารละลายยูเรียร้อยละ 2.5 และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตร้อยละ 1.25 ทำการหมักเป็นเวลา 96 ชั่วโมง ได้ศึกษาปริมาณการหมักกากมันเริ่มต้นพบว่ากากมันสำปะหลัง 300 กรัม มีความเหมาะสมในการผลิต และเมื่อทำการเปลี่ยนรูปทรงของถังพบว่าถังหมักที่มีอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวของถังหมักเท่ากับ 1:4 จะให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 23.04 ที่เวลา 84 ชั่วโมง จากนั้นได้ทำสมดุลพลังงานโปรตีน และเยื่อใยของสูตรอาหารสัตว์ พบว่าสามารถนำกากมันสำปะหลังหมักมาใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนในอาหารสัตว์ได้ โดยใช้ในอาหารโคได้สูงสุดถึงร้อยละ 40 อาหารสุกรร้อยละ 24.5 อาหารไก่ร้อยละ 20 และอาหารเป็ดร้อยละ 17.3

ฉัตรเกล้า และคณะ (2543) ศึกษาการหมักกากมันสำปะหลังด้วยเชื้อรา *R.oligosporus* ในถังหมักแบบหมุน ในการทดลองใช้ถังหมักแบบหมุน ขนาด 5 ลิตร ทำการทดลองโดยการหมักกากมันสำปะหลังจำนวน 300 กรัม เป็นเวลา 96 ชั่วโมง โดยกลับวัสดุหมักทุก ๆ 12 ชั่วโมง พบว่าเมื่อหมักกากมันสำปะหลังในถังหมัก ให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุด 20.73% ที่เวลา 84 ชั่วโมง ปริมาณ

กลูโคซามีน 23.57 มก./กรัม นน.แห้ง ที่เวลา 60 ชั่วโมง ปริมาณเยื่อใย 14.28%, ปริมาณเถ้า 6.89% และปริมาณยูเรีย 0.625% ที่เวลา 96 ชั่วโมง

สารประกอบเพคตินเป็นสารประกอบจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่พบในส่วน middle lamella และส่วน primary cell wall ของกากมันสำปะหลัง เอนไซม์เพคติเนสเป็นเอนไซม์ที่สามารถตัดย่อยสารประกอบเพคตินที่จับโมเลกุลแป้งไว้ในกากมันสำปะหลัง ทำให้โมเลกุลแป้งอิสระ จากงานวิจัยของพรรณทิพย์ (2539) พบว่าเอนไซม์เพคติเนสที่ผลิตจากเชื้อรา *R.* sp. 26R เมื่อใช้ร่วมกับกลูโคอะไมเลสจาก *Aspergillus* sp. J8 จะให้ประสิทธิภาพสูงมากในการย่อยกากมันสำปะหลัง งานวิจัยของ กรกช และคณะ (2545) จึงมุ่งศึกษาการเพิ่มปริมาณโปรตีนในกากมันสำปะหลัง โดยการเพาะเลี้ยงเชื้อรา *R.* sp. 26R ซึ่งสามารถผลิตเอนไซม์เพคติเนส ร่วมกับเชื้อรา *R. oligosporus* โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดคือ การใช้เอนไซม์เพคติเนสย่อยกากมันสำปะหลังก่อนที่จะทำการหมักด้วยเชื้อรา *R. oligosporus*, การใช้เอนไซม์เพคติเนสย่อยกากมันสำปะหลังพร้อมกับการหมักด้วยเชื้อรา *R. oligosporus* และ การใช้ *R.* sp. 26R ที่ผลิตเอนไซม์เพคติเนสจากหลอดอาหารแข็งในการย่อยกากมันสำปะหลังพร้อมกับการหมักด้วย *R. oligosporus* โดยในการทดลองที่ 1 และ 2 ได้ทดลองใช้เอนไซม์ทั้งในรูปสดและของเหลว จากนั้นทำการบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 84 ชม. ผลการทดลองพบว่าการใช้เอนไซม์ในรูปสดย่อยกากมันสำปะหลังพร้อมกับการหมักด้วย *R. oligosporus* จะมีปริมาณโปรตีนสูงสุด 23.41% และมีปริมาณกลูโคซามีนเท่ากับ 63.01 มก./กรัม น้ำหนักแห้ง ส่วนผลการทดลองที่ 3 พบว่ากากมันสำปะหลังที่ผ่านการหมักจะมีปริมาณโปรตีนและกลูโคซามีนแตกต่างจากชุดควบคุมเพียงเล็กน้อย

อุษณีย์ภรณ์ (2550) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการหมักกากมันสำปะหลังพบว่า สภาวะที่เหมาะสมคือความชื้นเริ่มต้นของการหมักระดับร้อยละ 60 อัตราส่วนของของแหล่งไนโตรเจนระหว่างยูเรียต่อแอมโมเนียมซัลเฟตที่ 4:0 และใช้เชื้อเริ่มต้นในกรหมัก เท่ากับ $1x10^8$ สปอร์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก 30 องศาเซลเซียส สามารเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังได้ 11.25 % และสมารถใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงและเอนไซม์ไฟเตสจากเชื้อรา *A.*niger ในสูตรอาหารเป็ดเนื้อได้ที่ระดับมันสำปะหลังหมักร้อยละ 10 ที่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเท่ากับ 58.8 กรัมต่อตัวต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารดีที่สุดเท่ากับ 2.07

2.6 การใช้มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร

ปัจจุบันแหล่งวัตถุดิบพลังงานที่ใช้มากในการประกอบอาหารสัตว์ปีก ได้แก่ ข้าวโพด แต่เนื่องจากช่วง 2 ปีที่ผ่านมา ปริมาณความต้องการข้าวโพดในการประกอบอาหารสัตว์ทวีจำนวนมากขึ้นประกอบกับผลผลิตข้าวโพดในประเทศไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้เพียงพอแก่ความต้องการ ทำให้ประเทศไทยต้องนำเข้าข้าวโพดจากต่างประเทศ มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจเหมาะที่จะใช้เป็นวัตถุดิบอาหารประเภทที่ให้พลังงานได้ดี แต่ความนิยมของเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์และอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ในการนำมันสำปะหลังไปใช้ประกอบอาหารสัตว์นั้นยังมีไม่มากเนื่องจากมันสำปะหลังมีข้อเสียในเรื่องระดับโปรตีน แร่ธาตุและไวตามินที่ต่ำ มีความฟ่ามสูง และเกิดฝุ่นได้ง่ายเมื่อนำไปบด มันสำปะหลังถือได้ว่าเป็นวัตถุดิบอาหารที่ปลอดสารพิษอะฟลาทอกซินอย่างหนึ่ง จึงน่าจะใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับเลี้ยงเป็ดได้ดี การใช้มันสำปะหลังในอาหารเป็ดยังเป็นการพิสูจน์ความปลอดภัยจากสารพิษอะฟลาทอกซินของมันสำปะหลังได้เป็นอย่างดีอีกด้วย และทำให้มีการยอมรับการใช้มันสำปะหลังในสัตว์ชนิด อื่น ๆ ได้ง่ายขึ้น เพราะเป็ดถือว่าเป็นสัตว์ที่มีความไวต่อสารพิษอะฟลาทอกซินมากที่สุดนั่นเอง นอกจากนี้ข้อมูลดังกล่าวยังใช้ในการส่งเสริมการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ของตลาดต่างปะเทศได้ด้วย

การใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหารสัตว์ทั่วไปในประเทศไทยยังมีไม่มากนัก ทั้งที่ประเทศไทยส่งมันเส้นและมันอัดเม็ดที่ผลิตได้กว่า 90 เปอร์เซ็นต์ไปขายเพื่อเป็นอาหารสัตว์ในต่างประเทศ ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากผู้เลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่ ยังขาดความรู้ความเข้าใจในการใช้มันเส้นในสูตรอาหารอย่างถูกต้องและเหมาะสม นอกจากนี้ปัญหาสำคัญที่ทำให้ผู้ใช้มันเส้นในสูตรอาหารสัตว์ไม่ประสบความสำเร็จก็เนื่องจากผู้ใช้ส่วนใหญ่ ได้มันเส้นที่คุณภาพไม่ดี มีปริมาณแป้งต่ำกว่าที่ควรจะเป็น มีปริมาณเยื่อใยและเถ้าสูงมาก ซึ่งส่งผลให้คุณภาพ ของอาหารผสมที่ใช้มันเส้นเป็นส่วนประกอบมีคุณค่าทางอาหารต่ำลง ผู้เลี้ยงสัตว์และผู้ผลิตอาหารสัตว์จำหน่าย จึงไม่นิยมใช้มันเส้นในสูตรอาหาร แม้ว่าราคามันเส้นโดยเฉลี่ยที่ผ่านมาจะต่ำเมื่อเทียบกับปลายข้าวและข้าวโพด วิธีการที่จะแก้ปัญหาเหล่านี้ทำได้ไม่ยากเพียงแต่เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังและผู้ประกอบการผลิตมันเส้น จะต้องร่วมมือและมีความตั้งใจที่จะผลิตมันเส้นคุณภาพดี มีปริมาณแป้งสูง เยื่อใยและเถ้าต่ำตามที่ผู้เลี้ยงสัตว์ และผู้ผลิตอาหารสัตว์ต้องการ

ดังนั้นถ้าเกษตรกรหรืออุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์มีข้อมูลที่ถูกต้องและเหมาะสมในการใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารสัตว์ปีกแล้ว คาดว่าการใช้มันสำปะหลังเพื่อทดแทนข้าวโพดจะแพร่หลายและเพิ่มมากขึ้น ซึ่งย่อมเกิดผลดีต่อเศรษฐกิจของผู้ปลูกมันสำปะหลังและต่อเศรษฐกิจของประเทศโดยรวม

2.7 การเลี้ยงเป็ดเทศในประเทศไทย

เป็ดเทศเป็นสัตว์ปีกที่มีการเลี้ยงกระจายทั่วทุกภาคของประเทศเป็นที่นิยมบริโภค เป็ดเทศมีแหล่งกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ ลักษณะโดยทั่วไปของเป็ดเทศจะมีหัวขนาดใหญ่ ปากใหญ่ คอสั้น ตาโต ขายาวปานกลางมีสีเข้ม พันธุ์ดังเดิมจะมีขนสีดำ แต่ปัจจุบันมีหลากสี เช่น สีขาว สีดำ สีขาว-ดำ เป็นต้น การเลี้ยงโดยทั่วไปของไทยมีการเลี้ยงเป็นการค้า เลี้ยงกึ่งการค้า และการเลี้ยงแบบหลังบ้าน ซึ่งการเลี้ยงเป็นการค้า เป็นการเลี้ยงเป็ดในฟาร์มขนาดใหญ่เหมือนการเลี้ยงไก่ มีเป็ดจำนวนตั้งแต่ 10,000 ตัวขึ้นไป เป็ดถูกเลี้ยงไว้ในคอกที่ไม่มีลานและสระน้ำให้เป็ดลงเล่นน้ำ มีอาหารให้กินตลอดเวลา มีการจัดการที่ถูกหลักวิชาการ ที่มีเครื่องมือทันสมัย การเลี้ยงแบบกึ่งการค้าเป็นการเลี้ยงแบบฟาร์มขนาดใหญ่ที่ โรงเรือนมีลักษณะให้เป็นที่พักร้อนและหลับนอนในเวลากลางคืนหรือเวลาฝนตกมีลานปล่อยเป็ดมีน้ำมีอาหารอยู่ในลาน การเลี้ยงยังไม่เป็นระบบตามหลักวิชาการมากนัก และการเลี้ยงเป็ดแบบหลังบ้านเป็นการเลี้ยงแบบอุตสาหกรรมในครัวเรือน ปล่อยให้เป็ดออกไปหากินเองตามแหล่งน้ำธรรมชาติ ส่วนใหญ่มักจะเป็นการเลี้ยงแบบหลังบ้านกินกุ้ง หอย ปลาเล็ก ผักตามธรรมชาติ เศษข้าวที่ตกหล่นตามไร่นา

การเลี้ยงเป็ดเนื้อในปัจจุบันได้มีการเลี้ยงกันมากขึ้น สถิติประชากรเป็ดในปี พ.ศ. 2545 มีการเลี้ยงเป็ดเนื้อถึง 11.876 ล้านตัว โดยเลี้ยงกันมากในเขตนครปฐม ฉะเชิงเทรา ชลบุรี เป็นต้น โดยการบริโภคเป็ดเนื้อภายในประเทศยังมีค่อนข้างน้อย ทำให้ตลาดยังชะลอตัวอยู่ สำหรับตลาดต่างประเทศได้มีการส่งออกในรูปของเนื้อเป็ดสดแช่เย็น – แช่แข็ง และผลิตภัณฑ์แปรรูปเนื้อเป็ด และมีแนวโน้มว่าตลาดการส่งออกจะขยายตัวเพิ่มขึ้น (สำนักพัฒนาการปศุสัตว์และถ่ายทอดเทคโนโลยี (กรมปศุสัตว์, 2546)

2.8 ความต้องการอาหารและโภชนะของเป็ดเทศ

เป็ดเทศเป็นสัตว์เลี้ยงที่มีความสำคัญของประเทศไทยมานาน การให้อาหารและการเลี้ยงดูเป็นผลจากการถ่ายทอดจากประสบการณ์จากผู้ปฏิบัติต่อๆกันมาและเริ่มมีการผสมอาหารเลี้ยงเป็ดเนื้อ เช่น เชอร์รีแวลเลย์ เป็ดปักกิ่ง และเป็ดเนื้อพันธุ์อื่นๆ Leeson และ Summers (1997) ให้ข้อสังเกตเกี่ยวกับความต้องการโภชนะและการให้อาหารเป็ดดังนี้

สูตรอาหารเป็ดควรคำนึงถึงสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงาน ให้เหมาะสมอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงจะทำให้เป็ดเนื้อมีไขมันซากน้อยกว่าเป็ดที่ได้รับอาหารที่โปรตีนต่ำ อีกทั้งเป็ดย่อยเยื่อใยได้น้อยกว่าไก่เนื้อเล็กน้อย ทำให้ได้รับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าไก่เนื้อประมาณ 5-6 % การเลี้ยงเป็ดโดยใช้อาหารเม็ดหรืออาหารเปียก และเป็ดสามารถปรับระดับอาหารที่กินให้ได้พลังงานเพียงพอได้ดีกว่าไก่เนื้อ ถึงแม้อาหารที่ให้จะมีเยื่อใยสูงกว่า หากให้อาหารที่มีพลังงานสูงและทำให้

ปริมาณไขมันสะสมอยู่ใต้ผิวหนังในระดับสูง เป็ดต้องการน้ำในปริมาณใกล้เคียงหรือสูงกว่าไก่ เล็กน้อย เป็ดไม่จำเป็นต้องเล่นน้ำ เป็ดเทศเพศผู้โตเร็วและมีน้ำหนักตัวมากกว่าตัวเมียประมาณ 50% ลูกเป็ดเพศผู้ต้องการโปรตีนประมาณ 21% ในขณะที่ตัวเมียต้องการประมาณ 19% ความต้องการโปรตีนลดลงเมื่อระยะขุน 14-17%

National Research Council, NRC (1994) รายงานความต้องการโปรตีนและพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของเป็ดเทศ โดยเป็ดอายุ 0-2 สัปดาห์ แนะนำให้ใช้ระดับโปรตีนที่ 22% พลังงาน 2,900 Kcal/Kg ในเป็ดอายุ 2-7 สัปดาห์ ใช้ระดับโปรตีน 16 % พลังงาน 3,300 Kcal/Kg สาโรจน์ (2547) แนะนำการใช้ระดับโปรตีนในอาหารเป็ดเล็ก 0-3 สัปดาห์ ที่ระดับโปรตีน 22% พลังงาน 2,850 Kcal/Kg ระยะเป็ดรุ่น 4-7 สัปดาห์ ที่ระดับโปรตีน 18% พลังงาน 3,100 Kcal/Kg ระยะขุน ที่ระดับโปรตีน 16% พลังงาน 3,125 Kcal/Kg และจากการสำรวจของ เดโช (2546) พบว่าความต้องการโภชนะของเป็ดเทศอายุ 0-2 สัปดาห์ ต้องการโปรตีน 22% พลังงาน 3,300 Kcal/Kg เป็ดเทศอายุ 2-7 สัปดาห์ ต้องการโปรตีน 16% พลังงาน 2,950 Kcal/Kg และเป็ดเทศอายุ 7-12 สัปดาห์ ต้องการโปรตีน 14 % พลังงาน 2,950 Kcal/Kg

เป็ดเป็นสัตว์ที่มีความไวต่อระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน (อนงค์, 2540) การเลี้ยงเป็ดเนื้อโดยทั่วไปจึงไม่ใช้ข้าวโพดในสูตรอาหาร เพราะเป็ดมักตายด้วยสารพิษอะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนมากับข้าวโพด สารพิษอะฟลาทอกซิน นอกจากจะเป็นพิษโดยตรงต่อตับของสัตว์ แล้วยังทำลายระบบภูมิคุ้มกัน ทำให้ระบบภูมิคุ้มกันชนิดเซลล์เสียหาย รวมทั้งต่อมเบอร์ซ่า (Bursa of Fabricius) ซึ่งมีผลต่อระบบการสร้างแอนติบอดี สัตว์ที่ได้รับสารพิษอะฟลาทอกซินจึงมีความต้านทานต่อโรคต่ำ เกิดโรคแทรกได้ง่าย และเมื่อได้รับวัคซีนก็ไม่สามารถสร้างภูมิคุ้มกันได้เต็มที่ (โสมทัต , 2540) ในขณะเดียวกันปลายข้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ให้พลังงานเช่นเดียวกับข้าวโพดแต่มีสารพิษอะฟลาทอกซินน้อยกว่าแต่กลับมีราคาแพงส่งผลต่อต้นทุนการผลิตเป็ด ดังนั้น มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง ถือได้ว่าเป็นวัตถุดิบอาหารที่ปลอดสารพิษอะฟลาทอกซิน จึงน่าจะใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับเลี้ยงเป็ดได้ดี การใช้มันสำปะหลังในอาหารเป็ดยังเป็นการพิสูจน์ความปลอดภัยจากสารพิษอะฟลาทอกซินของมันสำปะหลังได้เป็นอย่างดีอีกด้วย และทำให้มีการยอมรับการใช้มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังในสัตว์ชนิด อื่น ๆ ได้ง่ายขึ้น เพราะเป็ดถือว่าเป็นสัตว์ที่มีความไวต่อสารพิษอะฟลาทอกซินมากที่สุด นอกจากนี้ข้อมูลดังกล่าวยังใช้ในการส่งเสริมการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ของตลาดต่างประเทศ