บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

มัสตาร์ด (mustard) เป็นพืชในตระกูล *Brassica* spp มีหลาย species ที่พบมาก คือ White mustard (*B. hirta*) ส่วน Black mustard และ Indian หรือ leaf mustard มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *B. nigra* (Koch) และ *B. juncea* (Coss) มัสตาร์ดนี้เป็นพืชในตระกูลเดียวกับเรปซีด (Rape seed; *B. napus* or *B. compestris*)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มัสตาร์ดจัดเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เลวร้าย เช่น ที่หนาวเย็นและแห้งแล้ง ดังนั้นจึงนิยมปลูกในแถบอบอุ่น เช่นเดียวกับเรปซีดหรือคาโนลา (canola) ลักษณะช่อดอกเป็นแบบ racemose ดังภาพที่ 1 และ 2 ดอกแรกที่จะบานเริ่มจากดอกต่ำสุดของช่อหลัก โดยจะบาน 3-5 ดอกหรือมากกว่านั้นต่อวัน และจะบานต่อเนื่องจนถึงดอกยอด ลักษณะแผ่นใบจะไม่ชิดกับลำต้นและมีรูปร่างดังภาพที่ 3 (Downey, 1983)

ขนาด endosperm ของเมล็ด เมื่อเทียบกับธัญพืชอื่นๆ เมล็ดมัสตาร์ดจะมีขนาดใหญ่กว่า แต่ใกล้เคียงกับเรปซีด ผนังหุ้มเมล็ด (seed coat) ประกอบด้วยผนังชั้นนอก (outer epidermis) ชั้น palisade ซึ่งเป็นเซลล์รูปร่างแบบ columnar ผนังหนา และชั้น parenchyma อัดแน่น ในส่วนของ endosperm จะเป็นเซลล์ aleurone แถวเดี่ยว และมีชั้น parenchyma อัดแน่นแยกออกจาก embryo สีของเมล็ดเมื่ออ่อนมีสีเขียว เมื่อแก่มีสีเหลืองหรือสีน้ำตาล แล้วแต่สายพันธุ์ ในสายพันธุ์เมล็ดสีเหลืองมีองค์ประกอบน้ำมันและโปรตีนสูงกว่า แต่มีเยื่อใยต่ำกว่าสายพันธุ์เมล็ดสีน้ำตาล ส่วนขนาดของเมล็ดมัสตาร์ด (ภาพที่ 4) มีขนาดเล็กกว่าและมีน้ำหนักต่ำกว่าเมล็ดเรปซีดเล็กน้อย (ตารางที่ 1, 2.8-3.5 vs. 3.5-5.5 ก./1,000 เมล็ด, ตามลำดับ; Downey, 1983)

การเพาะปลูกมัสตาร์ด

ในประเทศเขตอบอุ่น จะปลูกเฉพาะฤดูร้อน ส่วนในเอเชียใต้ เช่น ประเทศอินเดีย นิยมปลูกประมาณเดือนตุลาคมหรือธันวาคม แล้วไปเก็บเกี่ยวช่วงเดือนมีนาคมหรือเมษายนของปีถัดไป (Downey, 1983) ระยะเวลาที่ใช้ตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 95 วัน (Bell, 1990)

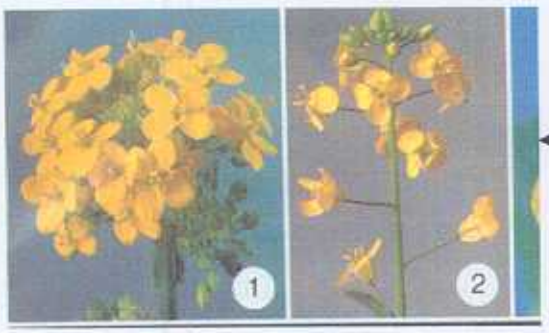
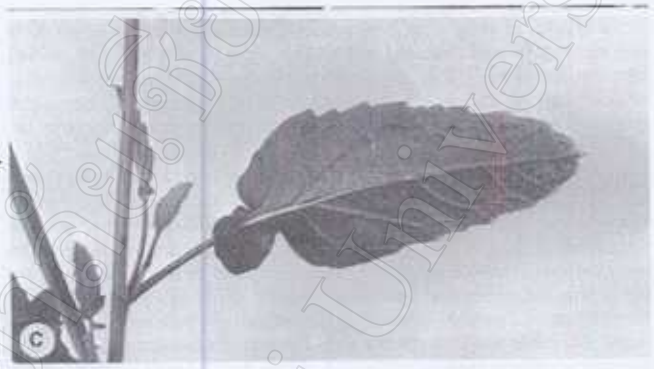


Figure 1 and 2. Typical inflorescence.

Figure 3. The leaf blade of *B. juncea* terminates well up the petiole.



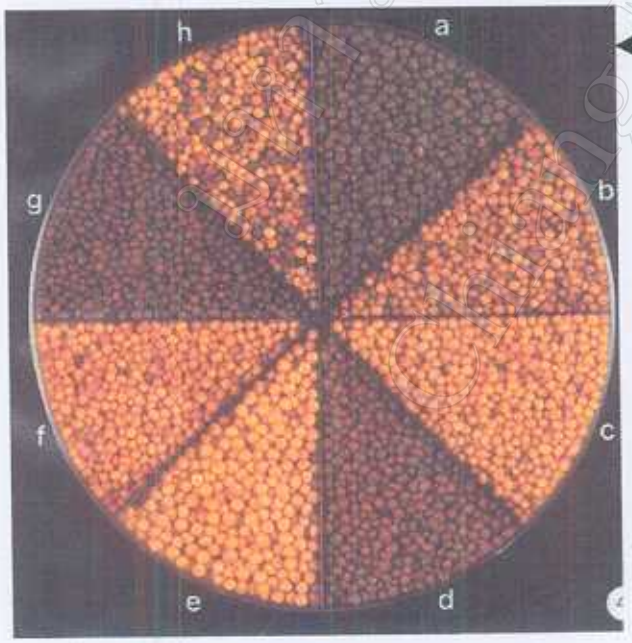


Figure 4. Seed size and color of summer form of

a. normal *B. napus*

b. yellow *B. napus*

c. oriental *B. juncea*

d. brown mustard *B. juncea*

e. yellow sarson

f. yellow seed *B. compestris*

g. normal *B. compestris*

h. yellow *B. compestris* cv. Tobin.

ต้นมัสตาร์ดจะขึ้นได้ดีในดินสีน้ำตาลและสีน้ำตาลเข้ม แต่ไม่ชอบดินทราย (Bell, 1990) ในทวีปยุโรปและอเมริกาปลูกแบบหยอดหลุมเป็นแถว โดยใช้เมล็ดพันธุ์ในอัตราส่วน 5-8 กก./ha ในประเทศอินเดีย และปากีสถาน ใช้วิธีหว่านเมล็ดแล้วไถกลบ ส่วนประเทศจีนและญี่ปุ่น เพาะเมล็ดก่อน จากนั้นย้ายไปปลูกในแปลงข้าวหลังจากเก็บเกี่ยวแล้ว ในแคนาดาจะได้ผลผลิตเมล็ดมัสตาร์ดประมาณ 1,320 กก./ha ส่วนที่อินเดียและปากีสถานได้ผลผลิตประมาณ 400-600 กก./ha อย่างไรก็ดี การปลูกมัสตาร์ดในเขตชลประทานของสองประเทศนี้ ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเป็น 2,000-2,500 กก./ha (Downey, 1983)

ตารางที่ 1. ขนาดของเมล็ดมัสตาร์ดและเรปซีด (Downey, 1983)

สายพันธ์และรูปแบบ	ก./1000 เมล็ด
B. napus, winter	4.5-5.5
B. compestris, winter	3.0-4.0
B. napus, summer	3.5-4.5
B. compestris, summer	3.5-3.0
B. juncea, summer	2.8-3.5
B. compestris, sarson (October-April)	4.0-4.5

ประโยชน์ที่ได้รับจากมัสตาร์ด

นอกจากจะได้ผลผลิตในรูปของเมล็ดที่เป็นแหล่งอาหารโปรตีน และน้ำมันซึ่งเป็นแหล่งพลังงานแล้ว ยังใช้เป็นพืชคลุมดิน เมล็ดมีน้ำมัน 30-35% ในการสกัดน้ำมันจะใช้วิธี cold pressing เพื่อมิให้เอนไซม์ไมโรซิเนส (myrosinase) ทำปฏิกิริยากับกลูโคซิโนเลทได้สารประกอบที่เป็นพิษ น้ำมันที่ได้จากมัสตาร์ดนี้ จะนำไปใช้สำหรับผลิต mustard plaster ส่วนกากนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ (Göhl, 1981) หรืออาจนำไปสกัดน้ำมันหอมระเหยซึ่งใช้เป็นส่วนประกอบของกลิ่นในอุตสาหกรรมยาและอาหาร หรือบางประเทศในทวีปเอเชีย เช่น จีนจะนำกากที่ได้จากการสกัดน้ำมันไปใช้เป็นปุ๋ย (Downey, 1983) นอกจากนี้ ได้มีการค้นพบว่าเมล็ดมัสตาร์ดมี glufosfamide (-D-glucosyl-ifosfamide) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นยารักษาโรคมะเร็งได้ (Seker *et al.*, 2000)

สารพิษและสารขัดขวางการใช้ประโยชน์

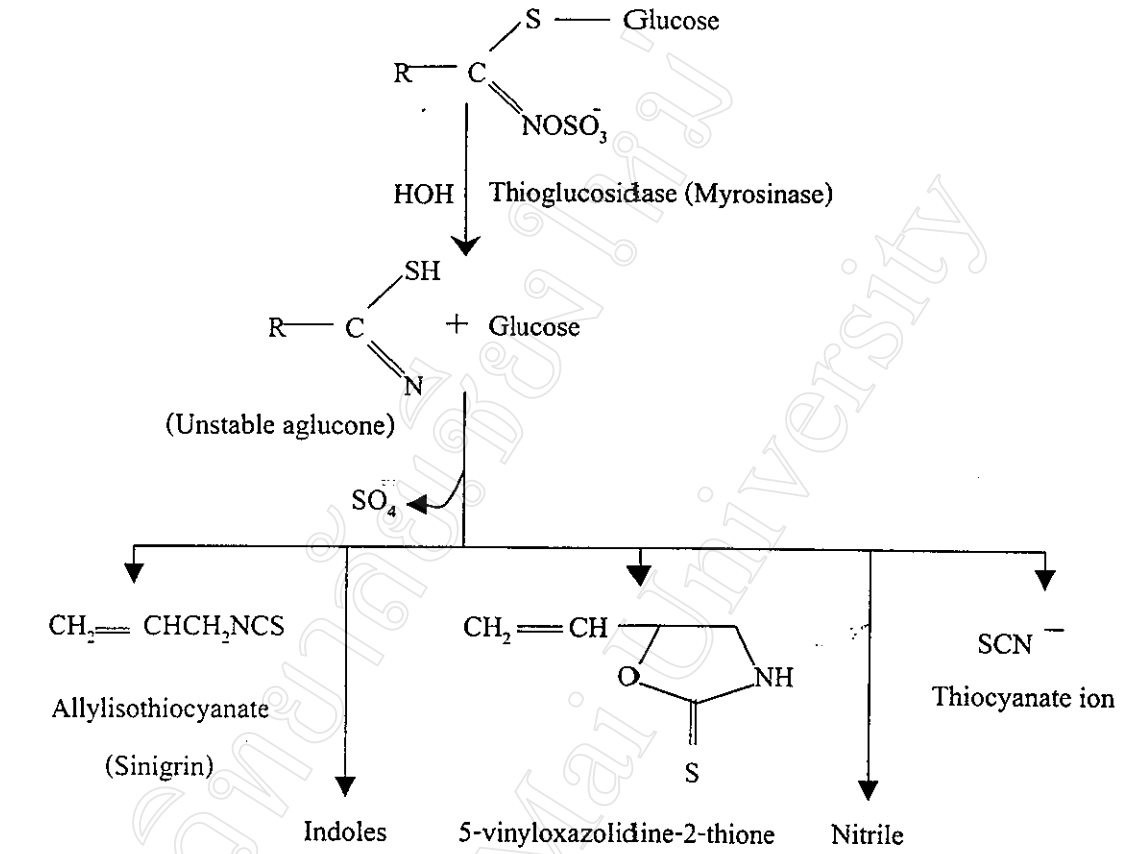
1. กลูโคซิโนเลท (glucosinolate)

กลูโคซิโนเลทหรืออาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า thioglucosides จัดเป็นสารในกลุ่มไกลโคไซด์ ซึ่งแยกได้มากกว่า 90 ชนิด ในพืชใบเลี้ยงคู่ 11 ตระกูล (family) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืชมัสตาร์ดและเรปซีด จะมีเอนไซม์ไธโอกลูโคซิเดส (thioglucosidase) หรือที่นิยมเรียกกันว่า "ไมโรซิเนส" (myrosinase, thioglucoside glucohydrolase EC 3.2.3.1) อยู่ตามส่วนต่างๆ ของพืชแต่ไม่สัมผัสกับกลูโคซิโนเลท ถ้าสารทั้งสองสัมผัสกันในสภาพที่มีความชื้น กลูโคซิโนเลทจะถูกย่อยเป็นเอลีลไอโซไธโอไซยาเนต (allylisothiocyanate; AIT), ออกซาโซลิดีนไธโอน (oxazolidinethione), ไธโอไซยาเนต (thiocyanate), ไนไตร (nitrile) น้ำตาลกลูโคสและสารประกอบซัลเฟตหรือกรดกำมะถัน (McGregor *et al.*, 1983; Aletor, 1993) แต่จาก Bell *et al.* (1981) และ Sarwar and Bell (1980) รายงานว่าทั้งในกากมัสตาร์ดชนิด *B. juncea* และ *B. hirta* ไม่มีออกซาโซลิดีนไธโอนซึ่งมีคุณสมบัติไม่ระเหย มีรสขม มีกลิ่นเหม็นเป็นสารก่อคอพอก (ภาพที่ 5) และยับยั้งการทำงานของน้ำย่อย (enzyme-inhibitor; Aletor, 1993)

การสังเคราะห์สารกลูโคซิโนเลท

จากภาพที่ 6 การสังเคราะห์เริ่มจากกรดอะมิโนเปลี่ยนไป N-hydroxyamino acid และเปลี่ยนเป็นสารประกอบ aldoximes ซึ่งเป็น nitrogenous intermediates ต่อมา aldoxime มีการจัดเรียงตัวใหม่เกิดเป็น thiol acceptor (aci tautomer ของ primary nitro compound) เพื่อรวมตัวกับธาตุกำมะถันจากกรดอะมิโนซีสเตอีน หรือเมทไธโอนีนเกิดเป็นสารประกอบ sulfur intermediate คือ thiohydroxamic acid ต่อมารับเอาน้ำตาลกลูโคสจาก UDP-glucose โดยอาศัยเอนไซม์ glucosyl transferase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นสารประกอบ desulphoglucosinolate ขั้นตอนสุดท้ายเกิดปฏิกิริยา sulfation ของสารประกอบ desulphoglucosinolate โดยมีเอนไซม์ sulfotransferase เร่งปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายธาตุกำมะถันจากสารประกอบ 3-phosphoadenosine-5-phosphosulfate (PAPS) มายัง desulphoglucosinolate เกิดเป็นสารประกอบกลูโคซิโนเลทในที่สุด

กลูโคซิโนเลทมีอะกลูโคน (aglucone) เชื่อมต่อกับน้ำตาลกลูโคสด้วยพันธะ β-thioglucosidic linkage เป็นโครงสร้างหลัก ส่วนอะกลูโคนประกอบด้วยหมู่ซัลเฟตซึ่งทำให้เกิดประจุลบ โดยทั่วไปจะรวมตัวกับธาตุหมู่อื่นๆ ที่เป็นประจุบวก (X^+) ดังภาพที่ 6



Where : The end products depend on R, which may be (a) alkyl or aromatic side chain,
(b) hydroxylated alkyl side chain, or
(c) indole side chain.

Figure 5. Enzymatic degradation of glucosinolate (Aletor, 1993).

คุณสมบัติของกลูโคซิโนเลท

กลูโคซิโนเลทมีรสขม สารที่เกิดจากการสลายตัวของกลูโคซิโนเลท ที่สามารถระเหยได้ เช่น ไนไตร และ AIT ก็มีรสขมและมีกลิ่นด้วยเหมือนกัน ถ้ามีในอาหารสัตว์จะทำให้ความน่ากินลดลง (McGregor *et al.*, 1983; Aletor, 1993) ส่วนสารที่เกิดจากการสลายตัวของกลูโคซิโนเลทที่ไม่ระเหย เช่น hydroxynitriles มีคุณสมบัติทำให้ตับ ไต และม้ามขยายใหญ่ (Aletor, 1993)

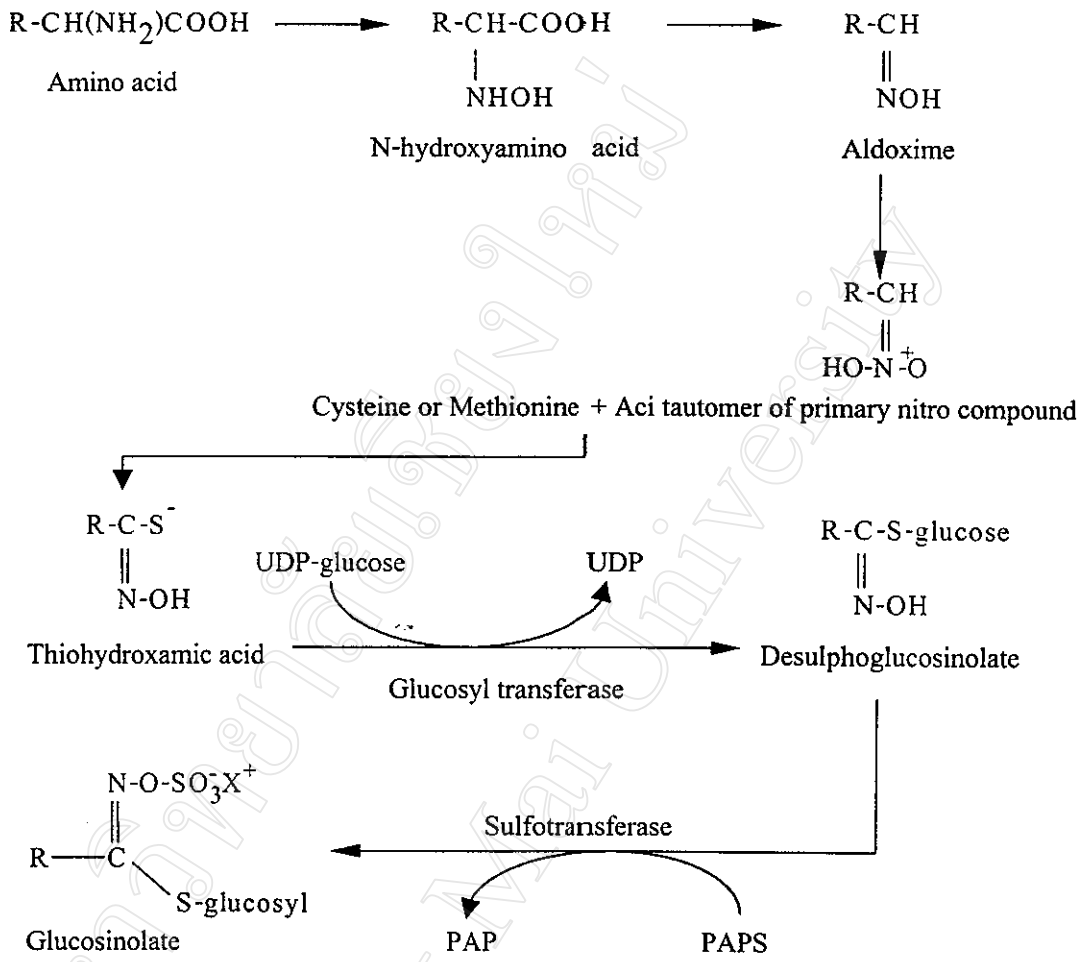


Figure 6. Synthesis of glucosinolate (สรศักดิ์, 2531).

ความจริงสารกลูโคซิโนเลทจัดเป็นสาร progoitrin ซึ่งไม่มีความเป็นพิษโดยตัวมันเอง เมื่อถูกย่อยด้วยเอนไซม์ไมโรซิเนสจะได้เป็นสารอนุพันธ์ที่มีคุณสมบัติเป็นพิษ คือ goitrin หรือ goitrogenic substances ดังภาพที่ 7

กลไกของสารพิษกลูโคซิโนเลทในการยับยั้งการผลิตไทรอยด์ฮอร์โมน

โดยทั่วไปกระบวนการสร้างไทรอยด์ฮอร์โมน ซึ่งประกอบด้วย thyroxine (T_4) และ triiodothyronine (T_3) จะเริ่มด้วยธาตุไอโอดีนจากอาหารเข้าสู่กระแสเลือดในรูปของ inorganic iodide (I^-) จากนั้นจะถูกดึงเอาไปไว้ใน follicles ของต่อมไทรอยด์ แล้วถูกออกซิไดส์กลายเป็นไอโอดีน (I_2) โดยอาศัยเอนไซม์ peroxidase ซึ่งจะทำให้ I_2 ไปเกาะกับโมเลกุลไทโรซีนทำให้เกิดสารประกอบที่เรียกว่า monoiodothyronine (MIT) ถ้า I_2 ไปเกาะกับโมเลกุลไทโรซีนเพิ่มอีกตัวจะ

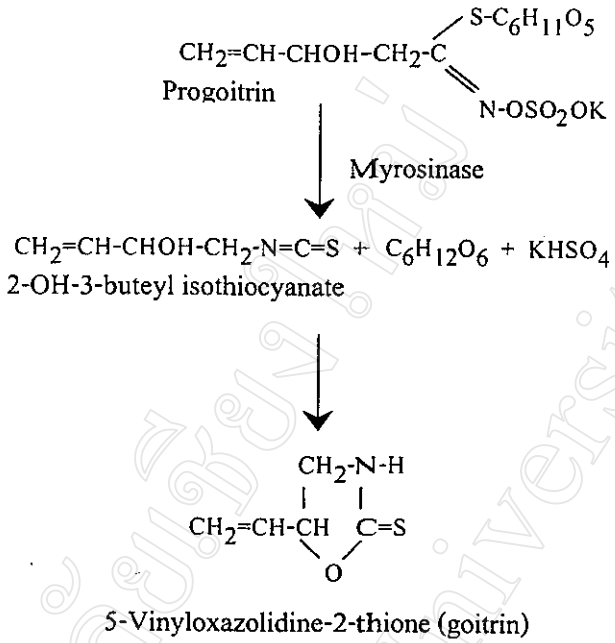


Figure 7. Hydrolysis of progoitrin (Harris, 1986).

ได้เป็น diiodothyronine (DIT) หาก DIT 2 โมเลกุลมารวมกันจะได้เป็น tetraiodothyronine (T_4, thyroxine) แต่ถ้า MIT รวมตัวกับ DIT จะได้เป็น triiodothyronine (T_3) ทั้ง T_4 และ T_3 จะเกิดใน colloid ของ follicles ซึ่งจะจับกับโปรตีนชนิดหนึ่งเป็น protein-iodine complex ที่เรียกว่า thyroglobulin เมื่อหลั่งเข้าสู่กระแสเลือดจะไปรวมกับพลาสมาโปรตีนที่เรียกว่า α-globulin กลายเป็น thyroid-binding globulin (วิโรจน์, 2531)

การที่ต่อมไทรอยด์ทำงานหรือหลั่งฮอร์โมนออกมาน้อยกว่าปกติ สาเหตุหนึ่งมาจากการได้รับสารพวก goitrogens เช่น thiourea, goitrin (oxazolidinethione) หรือสาร thiocyanate ซึ่งเป็นสารอนุพันธ์ของกลูโคซิโนเลทในปริมาณที่สูงและเป็นเวลานาน ซึ่งสารเหล่านี้จะไปยับยั้งกระบวนการ iodine-oxidizing enzyme หรือกระบวนการ iodination ของไทโรซีน ทำให้ปริมาณไทรอยด์ฮอร์โมนลดลง มีการหลั่ง thyroid stimulating hormone (TSH) เพิ่มขึ้น เป็นเหตุให้ต่อมไทรอยด์ขยายขนาดใหญ่ขึ้น (Zarrow *et al.* 1964) กระบวนการสังเคราะห์และกลไกการยับยั้งการผลิตไทรอยด์ฮอร์โมน แสดงในภาพที่ 8

ปริมาณและการลดกลูโคซิโนเลทในกากมัสตาร์ด

Joshi (1986) รายงานว่าในกากมัสตาร์ดที่สกัดไขมันออกหมด มีกลูโคซิโนเลทอยู่ 4.75% ของน้ำหนักแห้ง Newkirk *et al.* (1997) ทำการเปรียบเทียบกากมัสตาร์ดสายพันธุ์ที่มีกลูโคซิโนเลท

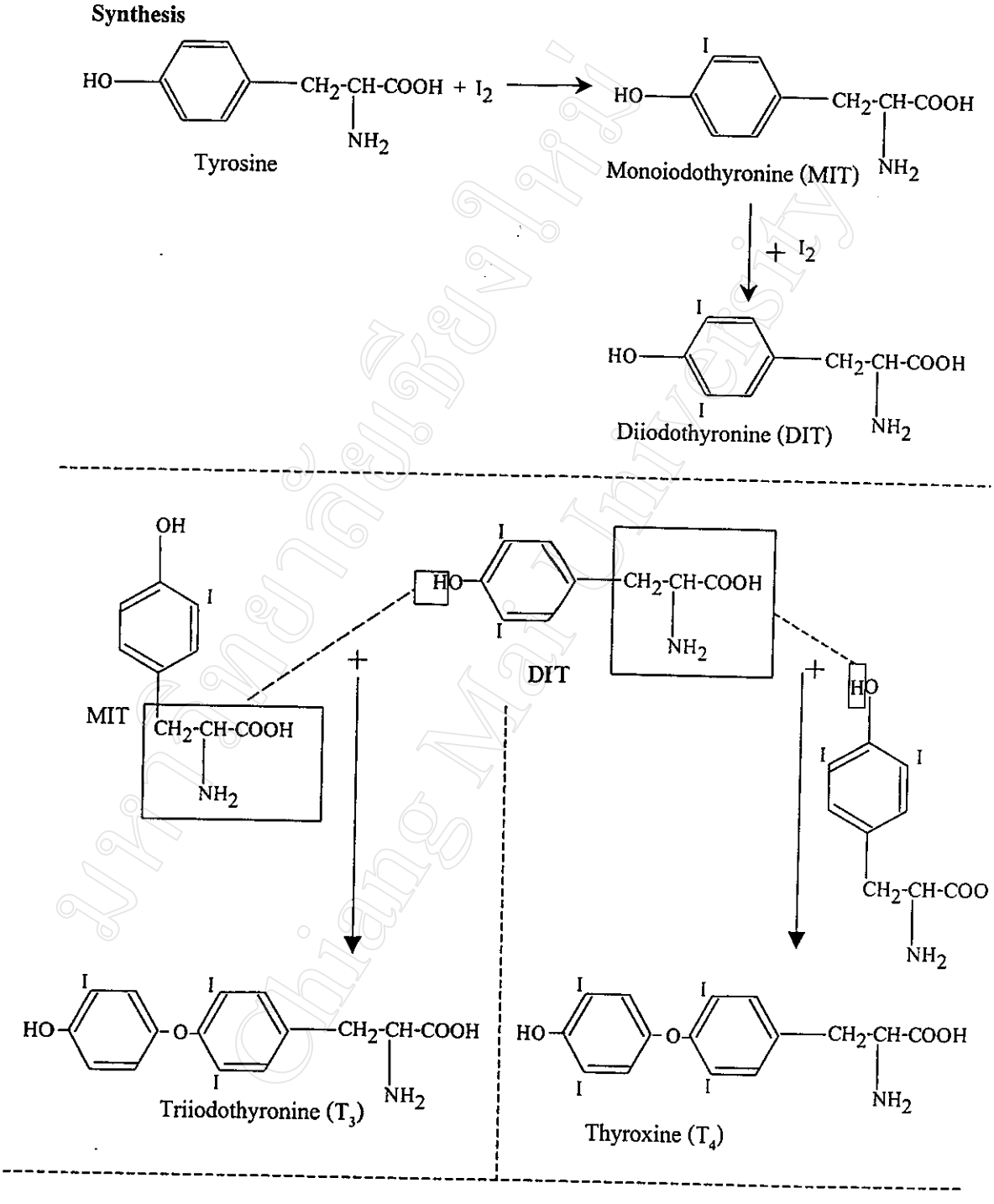


Figure 8. Synthesis and inhibition of thyroid hormone (Zarrow *et al.*, 1964).

ต่ำจาก 4 แหล่ง กับเรปซีด 2 สายพันธุ์ (*B. juncea* vs. *B. napus* and *B. rapa*) พบว่ากลูโคซิโนเลท ชนิด aliphatic ITC ในกากมัสตาร์ดมีมากกว่ากากเรปซีด (22.1-27.9 vs. 11.5-18.7 μmol/ก. DM) ส่วนชนิด indolyl ITC ในมัสตาร์ดมีน้อยกว่าเรปซีด (4.7-3.3 vs. 10.3-6.6 μmol/ก. DM) นอกจากนี้ ชนิด AIT ในกากมัสตาร์ดมีมากกว่ากากเรปซีด (2.0-7.4 vs. 0.2 μmol/ก. DM) Slominski *et al.* (1999) พบว่ามัสตาร์ดสายพันธุ์ใหม่ (*B. juncea J4316* ชนิดเมล็ดสีเหลือง) มีกลูโคซิโนเลทสูงกว่ากากคาโนลาที่มีในท้องตลาด (*B. rapa* ชนิดเมล็ดสีเหลือง และ *B. napus* ชนิดเมล็ดสีน้ำตาล) และคาโนลาสายพันธุ์ใหม่ (*B. rapa* cv. Parkland ชนิดเมล็ดสีเหลือง, *B. napus* Y1016 ชนิดเมล็ดสีเหลือง และ *B. napus* cv. Excell ชนิดเมล็ดสีน้ำตาล) อย่างมีนัยสำคัญ (21.7 vs. 18.6, 14.6 14.5, 11.4 และ 11.4 μmol/ก. DM; ตามลำดับ)

Sarwar and Bell (1980) พบว่ากากมัสตาร์ด (Yellow mustard; *B. hirta*) มีกลูโคซิโนเลท ชนิด p-hydroxybenzyl ITC ปริมาณ 28 มก./ก. เมื่อนำไปผ่านการนึ่งภายใต้ความดัน (autoclave) ที่อุณหภูมิ 120 °ซ เป็นเวลา 20 นาที และทำการเติม Na_2CO_3 ที่ระดับ 0, 0.8, 1.8, 2.8 และ 3.8% หรือ $FeSO_4$ ที่ระดับ 0.5% จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปรากฏว่าในตัวอย่างที่ไม่เติมทั้ง Na_2CO_3 และ $FeSO_4$ มีกลูโคซิโนเลทชนิด p-hydroxybenzyl ITC ใกล้เคียงกับที่เติม Na_2CO_3 หรือ $FeSO_4$ (2.1 vs. 1.8-3.9 มก./ก.) แสดงให้เห็นว่าปริมาณกลูโคซิโนเลทที่ลดลงเป็นผลจากการนึ่งภายใต้ความดัน และการทำให้แห้งมากกว่าการเติมสารดังกล่าว Bell *et al.* (1981) ได้เปรียบเทียบปริมาณกลูโคซิโนเลทในมัสตาร์ด *B. hirta* (Sabre) กับ *B. juncea* (Oriental) พบว่ามัสตาร์ดสายพันธุ์ *B. juncea* มีชนิด AIT และ 3-indolyl ITC เท่ากับ 6.78 และ 0.66 มก./ก. ตามลำดับ ในขณะที่สายพันธุ์ *B. hirta* มีชนิด p-hydroxybenzyl ITC เท่ากับ 31.4 มก./ก. ส่วนกรรมวิธีการลดสารพิษใช้วิธีการทำให้เมล็ดแตกแล้วนำไปผ่านความร้อนสกัดด้วยเฮกเซน (hexane) กากที่ได้นำไปเติมด้วย Na_2CO_3 ระดับ 1 และ 2% อบให้แห้งใน desolventizer-toaster พบว่าสามารถลด AIT ในสายพันธุ์ *B. juncea* ได้ 24 และ 40% ตามลำดับ แต่กลับทำให้ 3-indolyl ITC เพิ่มขึ้นซึ่งไม่มีคำอธิบาย ส่วน p-hydroxybenzyl ITC ในสายพันธุ์ *B. hirta* ลดลง 27 และ 14% ตามลำดับ

Bell *et al.* (1971) รายงานว่ากากมัสตาร์ด (*B. juncea*) มีกลูโคซิโนเลทชนิด AIT ปริมาณ 11.8 มก./ก. เมื่อเติมด้วย $FeSO_4$ 1% ทำให้ลดพิษได้ทั้งหมด 100% เมื่อนำไปเลี้ยงหนูเพื่อใช้เป็นดัชนีวัดความเป็นพิษนั้น ไม่ปรากฏว่ามีผลเสียต่อหนู แต่กลับช่วยให้หนูมีน้ำหนักตัวเพิ่มและกินอาหารได้เพิ่มขึ้น แต่ถ้าเติมเอนไซม์ไมโรซิเนส มีผลทำให้ปริมาณอาหารที่กินและน้ำหนักตัวเพิ่มลดลง

Bell *et al.* (1984) รายงานว่ากากมัสตาร์ดมีกลูโคซิโนเลท 115.7 μmole/ก. DM เมื่อนำไปผ่านการลดพิษด้วยแอมโมเนียจะเหลือกลูโคซิโนเลท 19.02 μmole/ก. DM (หรือเท่ากับลดพิษได้ 75%) ซึ่งยังพบว่ามีปริมาณสูงกว่ากากคาโนลาสายพันธุ์ที่มีกลูโคซิโนเลทต่ำ (13.32 μmole/ก. DM)

Daghir and Nawazish (1976) รายงานว่ากากมัสตาร์ดป่าชนิดเมล็ดสีน้ำตาล (wild brown mustard) มีกลูโคซิโนเลทชนิด oxazolidinethione และ ITC เท่ากับ 0.122 และ 0.063 มก./ก. เมื่อนำไปลดพิษด้วย $FeSO_4$ 1% แล้วนำไปนึ่งภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 94 °ซ เป็นเวลา 25 นาที และอบให้แห้งที่ 45 °ซ พบว่าสามารถลดออกซาโซลิดีนไธโอน และ ITC ได้ 88 และ 74% ตามลำดับ เมื่อนำไปให้ลูกไก่กิน จะได้อัตราการเจริญเติบโตที่ดีกว่ากลุ่มที่ได้รับกากมัสตาร์ดชนิดไม่ผ่านการลดพิษ แต่ก็ยังต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับกากถั่วเหลือง นอกจากนี้ยังพบว่าอาร์จีนีน (arginine) ในกากมัสตาร์ดที่ลดพิษด้วย $FeSO_4$ มีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของลูกไก่ (limiting amino acid)

Joshi (1986) รายงานว่ากากที่ผ่านการนึ่งภายใต้ความดันช่วยปรับปรุงการเจริญเติบโตของไก่ดีกว่าการใช้กากชนิดอบแห้งที่ 121 °ซ เป็นเวลา 30 นาที หรือต้มที่ 100 °ซ เป็นเวลา 30 นาที แต่การนึ่งภายใต้ความดันจะทำลายไลซีนลง 17% นอกจากนี้ยังพบว่าการล้างกากที่สกัดไขมันออกหมดแล้วด้วยอะซิโตน (acetone) สามารถช่วยปรับปรุงการเจริญเติบโตของไก่ให้ดียิ่งขึ้น

2. กรดอิรูซิค (erucic acid)

กรดอิรูซิคเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีคาร์บอนจำนวน 22 อะตอม (C-22:1) และมีพันธะคู่ตำแหน่งที่ ω-9 ปกติแล้วกรดอิรูซิคในน้ำมันมัสตาร์ดจะเป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) โดยจับกับกลีเซอรอล (glycerol) บนคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 3 มากกว่าตำแหน่งที่ 2 (36.1, 59.0 vs. 0.05%; Myher *et al.*,1979 อ้างโดย Ackman, 1983)

การสังเคราะห์กรดอิรูซิค

เริ่มต้นด้วยกรดโอเลอิค (oleic; C-18:1) จากนั้นเติมสายคาร์บอนจำนวน 2 อะตอม (two-carbon fragment) ให้กับปลายด้าน carboxyl ได้เป็นกรดไอโคซีโนอิค (eicosenoic; C-20:1) และเติมสายคาร์บอน 2 อะตอม อีกครั้ง ได้เป็นกรดอิรูซิคดังภาพที่ 9 (Downey and Craig , 1964 และ Jonsson , 1977 อ้างโดย Downey, 1983)

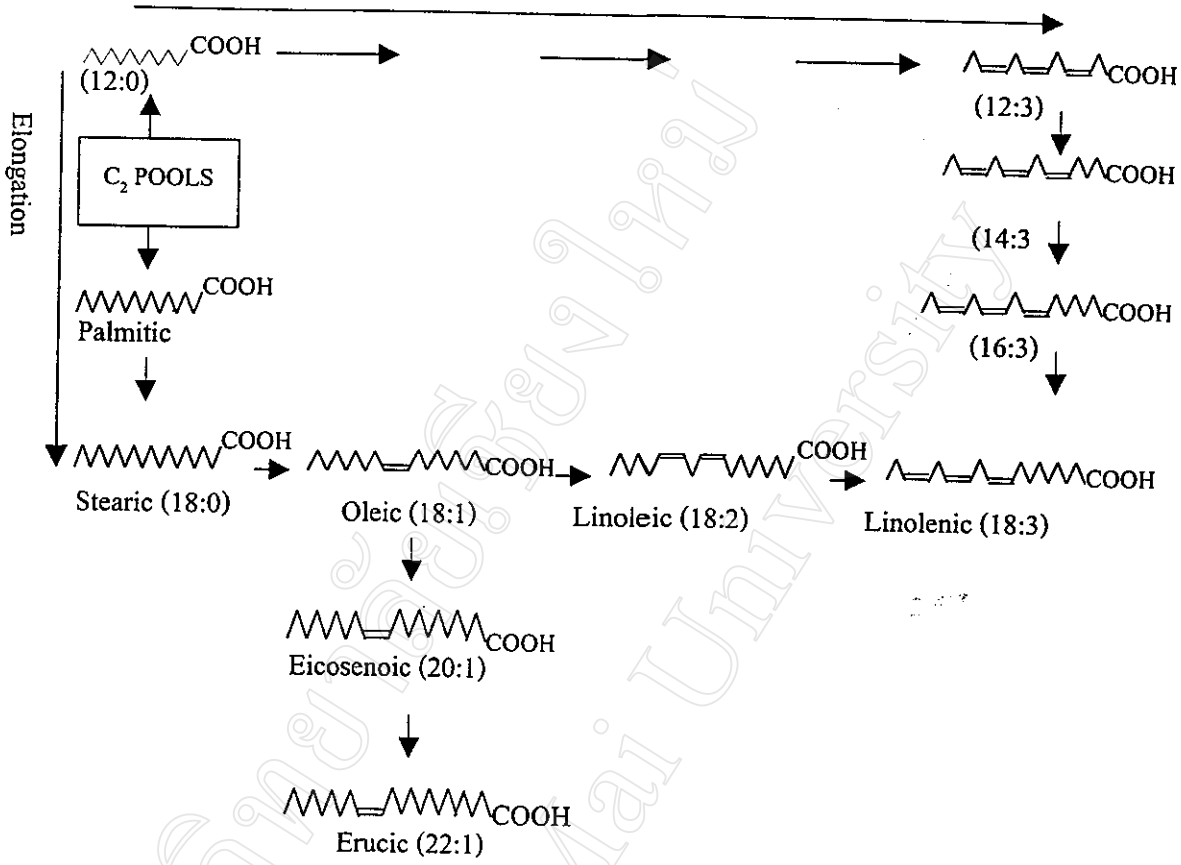


Figure 9. Suggested biosynthetic pathway of major rapeseed fatty acid (Downey, 1983).

ปริมาณกรดอิรูซิค

ปริมาณกรดอิรูซิคขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำมันในเมล็ด และสัดส่วนของกรดอิรูซิคในน้ำมัน ซึ่งมีความผันแปรขึ้นกับสายพันธุ์และแหล่งที่มาของมัสตาร์ด Appelquist (1970; อ้างโดย Downey, 1983) และ Sharma *et al.* (1979) รายงานว่าในน้ำมันมัสตาร์ด (*B. juncea*) ที่มาจากอินเดียมีสัดส่วนของกรดอิรูซิค 46.2 และ 47.1% ในขณะที่สายพันธุ์ Leth 22 A มี 22.8% และสายพันธุ์ Zem.1 มี 0.1% (Downey, 1983) อย่างไรก็ดี Stumpf and Pollard (1983) รายงานว่าในน้ำมันมัสตาร์ด (*B. juncea*) ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีกรดอิรูซิคสูงมีเท่ากับ 51%

พิษของกรดอิรูซิค

การใช้น้ำมันที่มีกรดอิรูซิคเป็นแหล่งพลังงานในอาหารสัตว์ จะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์ เช่น ในไก่ (Joshi *et al.*, 1993) หนูขาว (Qudrat-I-Khuda *et al.*, 1966) และ หนูพันธุ์

Spraque-Dawley (Khan *et al.*, 1987) ลดลง โดยกรณีของหนูเพศเมียจะพบการสะสม cholesterol ester ในต่อมหมวกไต ไต รังไข่ และมีการสะสมของกรดไขมันอิสระในม้าม (Sharma *et al.*, 1979) นอกจากนี้ยังพบว่า กรดอิรูซิคเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสะสมไขมันรอบๆ เซลล์กล้ามเนื้อ และยังเกิดกับ mitochondria ของกล้ามเนื้อ จึงทำให้มีรูปร่างผิดปกติ เช่น ขยายใหญ่ขึ้น (Sauer and Kramer, 1983) ส่วนผลที่มีต่อหัวใจ ทำให้เกิดความผิดปกติของการสันดาปไขมัน (lipid) ทำให้มีการสะสมไขมันมากเกินไปในกล้ามเนื้อหัวใจ (myocardial lipidosis) ของหนูขาว (Roger *et al.*, 1971 และ Kramer *et al.*, 1973 อ้างโดย Sauer and Kramer, 1983) นอกจากนี้ยังมีโอกาสเกิดเนื้อตายบนกล้ามเนื้อหัวใจ (myocardial necrosis) มากกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น (Sauer and Kramer, 1983)

การลดพิษของกรดอิรูซิค

การสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดอาจใช้วิธีการบีบน้ำมันแล้วนำไปสกัดต่อด้วยเฮกเซน (hexane) หรือตัวทำละลายอื่นๆ จนน้ำมันออกหมด จะทำให้กรดอิรูซิคหมดไปได้ ดังเช่น Joshi (1986) รายงานว่ากากมัสตาร์ดที่สกัดไขมันออกหมด ช่วยปรับปรุงการเจริญเติบโตของไก่ให้ดีขึ้นได้ หรืออาจทำได้โดยการพัฒนาสายพันธุ์ให้ได้ต้นมัสตาร์ดที่มีเอ็มบริโอ (embryo) ที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยา elongation ของกรดไขมัน (ภาพที่ 9) จะทำให้ได้สายพันธุ์ที่มีกรดอิรูซิดต่ำ (Downey, 1983)

ส่วนการลดพิษในน้ำมันมัสตาร์ด Qudrat-I-Khuda *et al.* (1966) ได้รายงานว่าการใช้พลังงาน (calorie efficiency ratio) ในหนูขาวดีมีประสิทธิภาพขึ้นเมื่อนำน้ำมันไปต้ม และนึ่งภายใต้ความดัน ซึ่งให้ผลดีกว่าการไม่ลดพิษ (5.64 และ 5.23 vs. 4.25 ตามลำดับ)

การปรับเปลี่ยนตำแหน่งกรดอิรูซิคบนไตรกลีเซอไรด์ (interesterification) ก็มีผลทำให้ปริมาณโคเลสเตอรอลในตับ หัวใจ และไต ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับน้ำมันไม่ผ่านการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของกรดอิรูซิค (Sarkar and Bhattacharyya, 1993)

3. สารขัดขวางการใช้ประโยชน์ของโภชนะชนิดอื่นๆ

นอกจากกลูโคซิโนเลทและกรดอิรูซิคแล้ว ในกากมัสตาร์ดยังมีสารขัดขวางการใช้ประโยชน์ของโภชนะชนิดอื่นที่สำคัญอีก เช่น ไซนาปีน (sinapine) และ แทนนิน (tannins) เป็นต้น

- ไซนาปีนเป็น choline ester ของกรดไซนาปิค (sinapic acid) ซึ่งเป็น phenolic compound โดยไซนาปีนมีรสขมและกลิ่นฉุน ทำให้ความน่ากินของอาหารและปริมาณอาหารที่กินได้ลดต่ำลง กากมัสตาร์ดสายพันธุ์ *B. hirta* หรือที่มีชื่อสามัญว่า Sabre จะมีไซนาปีนสูงกว่า *B. juncea* (Oriental; 1.66 vs. 1.14% DM) การลดปริมาณไซนาปีนทำได้ด้วยการเติม Na_2CO_3 ระดับ 1 และ 2% โดยใน

B. hirta ลดลงได้ 31 และ 30% (เหลือ 1.15 และ 1.16% DM) ซึ่งต่ำกว่า *B. juncea* ที่สามารถลดลงได้ 32 และ 46% (เหลือ 0.77 และ 0.61% DM) ตามลำดับ (Bell *et al.*, 1981) ส่วนการเติมแอมโมเนียสามารถลดไซนาปีนลงได้ต่ำกว่ากากคาโนลาที่ไม่ผ่านการลดพิษ (0.48 vs. 1.59% DM; Bell *et al.*, 1984) บทบาทที่สำคัญของไซนาปีน คือ ทำให้ไก่ที่มีเปลือกไข่สีน้ำตาล ให้ไข่ที่มีกลิ่นคาวปลา (fishy odor egg) ทั้งนี้เนื่องจากตับของไก่พวกนี้ขาดเอนไซม์ trimethylamine (TMA) oxidase ทำให้ร่างกายสัตว์ไม่สามารถใช้โคลีนที่มีอยู่มากในตับได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดการไฮโดรไลส์สารไซนาปีนในกระเพาะเกิดเป็น TMA จึงเกิดกลิ่นดังกล่าวขึ้น นอกจากนี้ Emmanuel *et al.* (1984) รายงานว่ากลิ่นคาวปลาอาจเกิดจากแบคทีเรียในไส้ติ่งของไก่ไข่เปลี่ยนสารไซนาปีนให้เป็น TMA และพบว่า ถ้าในไข่มี TMA ในช่วง 0.8-1.0 ไมโครกรัม/ก. จะทำให้เกิดกลิ่นดังกล่าว อย่างไรก็ดี Fenwick *et al.* (1979) และ Goh *et al.* (1979) รายงานว่ากลิ่นคาวปลาจะไม่เกิดขึ้นในไข่ ถ้าปริมาณไซนาปีนต่ำกว่า 0.1% ในสูตรอาหาร

ส่วนแทนนินมีอยู่ 2 ประเภท คือ hydrolysable และ condensed tannins จากรายงานของ Cilly *et al.* (1978, a) และ Joshi (1986) รายงานว่าในกากมัสตาร์ดที่สกัดไขมันออกหมด จะมีแทนนิน 2.10 และ 2.86% DM แทนนินจะไปรบกวนการทำงานของเอนไซม์ในทางเดินอาหารหลายชนิด รวมทั้ง TMA oxidase ส่งผลให้มีการสะสมของ TMA นอกจากนี้สาร goitrin ก็ไปขัดขวางการทำงาน TMA oxidase ส่งผลให้มีการสะสมของ TMA เกิดเป็นกลิ่นคาวปลาเช่นกัน ดังภาพที่ 10 ซึ่งเป็นตัวอย่างของกากเรปซีด (Fenwick, 1982)

ขั้นตอนการผลิตน้ำมันหอมระเหย

สำหรับเศษเหลือจากโรงงานผลิตมัสตาร์ดซึ่งผลิตน้ำมันหอมระเหย จากเมล็ดมัสตาร์ดของบริษัทลานนาโปรดักซ์ (Lanna Products Co., Ltd) จ.ลำพูน มีกรรมวิธีการผลิตโดยย่อดังภาพที่ 11 ดังนี้

เริ่มจากนำเมล็ดมัสตาร์ดมาผ่านตะแกรงร่อนเพื่อแยกสิ่งปลอมปนออก จากนั้นนำไปบีบน้ำมันแบบใช้แรงอัด จะได้น้ำมันออกมาประมาณ 22-23% นำกากที่ได้ไปผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:4 แล้วต้มที่อุณหภูมิ 65 ^{0}ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อสกัดน้ำมันหอมระเหย (isothiocyanate, nitrile และสารกลุ่ม indoles อื่นๆ) ด้วยไอน้ำร้อน น้ำมันหอมระเหยดังกล่าวเกิดจากการสลายตัวของกลูโคซิโนเลท ดังนั้นจึงทำให้กากที่เหลือมีปริมาณสารพิษกลูโคซิโนเลทในปริมาณที่ลดลง

กากมัสตาร์ดที่ผ่านจากเครื่องสั่น (vibrator) จะมีน้ำส่วนหนึ่งแยกออกมา กากจึงมีความชื้นลดลง แต่ก็ยังอยู่ในระดับที่สูงมาก (77.5%) กากนี้สามารถทำให้แห้งได้โดยการนำไปตากแดด ใช้

เวลาประมาณ 3-4 วัน หรือนำไปคั่วในกะทะขนาดใหญ่ที่ใช้แก๊สเป็นแหล่งของความร้อน อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 120-140 °ซ ใช้เวลาคั่วประมาณ 8 ชั่วโมง กากจึงแห้ง

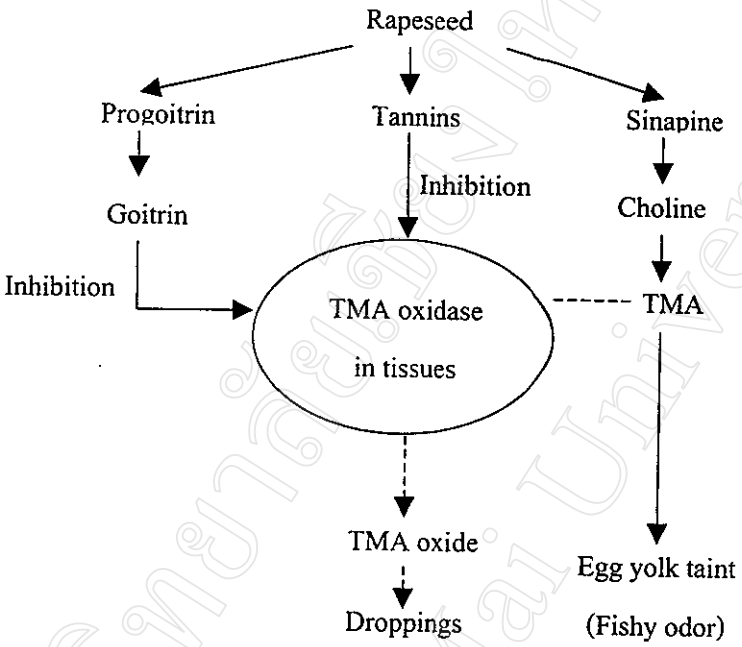


Figure 10. Mechanism of fishy odor from toxic substance in rapeseed (Fenwick, 1982).

องค์ประกอบทางเคมีของกากมัสตาร์ด

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมัสตาร์ดที่รายงานไว้โดย Göhl (1981) และ Daghir and Charalambous (1978) พบว่า มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และ NFE แตกต่างกันมาก (23.4 vs. 30.6, 46.7 vs. 25.3, และ 16.2 vs. 31.3% DM) ส่วนเยื่อใยและเถ้ามีปริมาณใกล้เคียง (8.6 vs.7.8, 5.1 vs. 5.1% DM ตามลำดับ; ตารางที่ 2) ทั้งนี้ความแตกต่างดังกล่าวอาจเนื่องมาจากสายพันธุ์ และสภาพการเพาะปลูก เป็นต้น

องค์ประกอบทางเคมี (% DM) ของกากมัสตาร์ดที่รายงานไว้ แสดงดังตารางที่ 2 ประกอบด้วย โปรตีน 26.0-47.8% ไขมัน 0.5-12.5% เยื่อใย 3.5-18.2% เถ้า 5.7-9.9% และ NFE 26.5-45.9% ซึ่งค่าดังกล่าวมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองจะเห็นว่ากากมัสตาร์ดมีสัดส่วนโปรตีนต่ำกว่า (1.6-26.0%) แต่จะมากหรือน้อยขึ้นกับสัดส่วนของไขมันในกากมัสตาร์ด

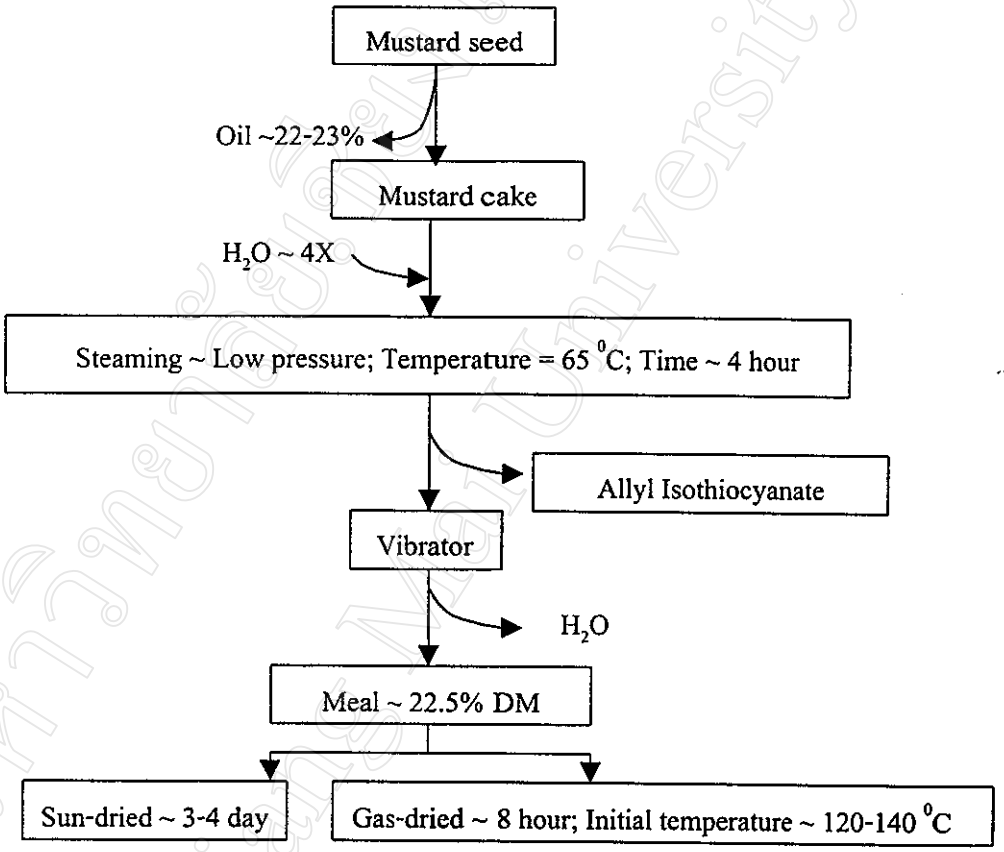


Figure 11. Essential oil processing and drying method.

ตารางที่ 2. องค์ประกอบทางเคมี (% DM) ของเมล็ดและกากมัสตาร์ด (B. *juncea*) เทียบกับกากถั่วเหลือง

ที่มา	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	NFE
เมล็ดมัสตาร์ด					
Daghir and Charalambous (1978)	30.57	25.28	7.78	5.13	31.31
Göhl (1981)	23.40	46.70	8.60	5.10	16.20
กากมัสตาร์ด					
Daghir and Charalambous (1978)	41.35	1.03	10.25	7.30	40.04
Bell *et al.*(1984)	44.58	-	-	-	-
Bell *et al.*(1981)	47.80	2.30	7.80	6.50	35.60
Newkirk *et al.*(1997)	45.90	0.45	-	-	-
Joshi.(1986)	38.00	12.50	-	-	-
Slominski *et al.*(1999)	45.30	3.20	-	7.30	-
Cilly (1978, a)	37.20	6.80	11.50	8.70	35.80
Johri *et al.*(1990)	36.40	-	-	-	-
Kabirullah *et al.*(1976)					
กากอัดน้ำมัน	39.77	8.52	17.05	5.68	28.98
กากสกัดน้ำมันออกทั้งหมด	46.89	1.11	17.78	7.22	27.00
กากอบไอน้ำ	47.83	0.78	17.91	7.01	26.47
Göhl (1981)					
กากอัดน้ำมัน	38.50	10.70	3.50	9.90	37.40
กากสกัดน้ำมัน	26.00	2.30	18.20	7.60	45.90
กากถั่วเหลือง					
NRC (1994)	49.40	0.90	7.90	-	-

สัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นของกากมัสตาร์ดเทียบกับกากถั่วเหลือง แสดงไว้ในตารางที่ 3 ปรากฏว่า กรดอะมิโนที่จำเป็นส่วนใหญ่ของกากมัสตาร์ดทั้งสายพันธุ์ *B. juncea* และ *B. hirta* มีปริมาณน้อยกว่ากากถั่วเหลือง ยกเว้น เมทไธโอนีนและฮีสติดีน ที่พบว่ามีปริมาณสูงกว่าเล็กน้อย (Sarwar *et al.*, 1981; Bell *et al.*, 1984 และ Slominski *et al.*, 1999) ส่วน Mustafa *et al.* (1999)

กลับรายงานว่า กรดอะมิโนที่จำเป็นทั้งหมด ยกเว้นไอโซลูซีนและฟีนิลอะลานินของกากมัสตาร์ดสายพันธ์ *B. juncea* มีปริมาณสูงกว่ากากถั่วเหลือง การนำกากมัสตาร์ดไปผ่านความร้อน ซึ่งจะช่วยทำลายสารพิษที่มีในกากให้ลดลงได้นั้น จะมีผลทำให้ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นลดลงด้วย โดยเฉพาะปริมาณไลซีน พบว่าลดลงอย่างชัดเจน (3.35 vs. 3.71% DM, ตามลำดับ; ตารางที่ 3) ในขณะที่กรดอะมิโนชนิดทรีโอนีนและเฟนิลอะลานีนกลับไม่ลดลง (Mustafa *et al.*, 1999)

ตารางที่ 3. สัดส่วนกรดอะมิโน (% DM) ของกากมัสตาร์ด(*B. hirta* and *B. juncea*) เทียบกับของกากถั่วเหลือง (SBM)

ที่มา / กรดอะมิโน	Sarwar [1/] *et al.*(1981)	Bell *et al.* [2/] (1984)	Slominski [2/] *et al.*(1999)	Mustafa *et al.* (1999) [2/] Unheated	Mustafa *et al.* (1999) [2/] Heated	SBM (NRC, 1994)
ไลซีน	2.17	2.22	2.36	3.71	3.35	3.02
เมทไธโอนีน	0.75	0.95	0.81	1.22	1.16	0.70
ซีสตีน	0.40	1.26	1.11	n.a.	n.a.	0.74
ทริปโตเฟน	0.66	0.44	n.a.	n.a.	n.a.	0.83
ธรีโอนีน	1.82	1.72	1.67	2.91	2.93	1.93
ลูซีน	2.92	2.90	2.99	4.54	4.48	3.81
ไอโซลูซีน	1.42	1.39	1.83	1.91	1.88	2.20
วาลีน	1.77	1.55	2.17	2.49	2.46	2.32
ฮิสติดีน	1.15	1.64	1.34	1.81	1.75	1.31
เฟนิลอะลานีน	1.73	2.24	2.58	2.17	2.17	2.45
ไธโรซีน	1.24	1.61	1.29	n.a.	n.a.	2.17
อาร์จินีน	2.70	3.38	2.77	4.18	3.99	3.56

n.a. = No data available.

[1/] B. hirta

[2] B. juncea

การนำกากมัสตาร์ดไปใช้เป็นอาหารสัตว์

สัตว์ปีก

Bhattacharjee *et al.* (1995) รายงานว่า การใช้กากมัสตาร์ดเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารนกกระทาอายุ 2 สัปดาห์ โดยใช้แทนที่กากถั่วลิสงที่ระดับ 0, 30, 50 และ 100% เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ปรากฏว่า การใช้แทนที่ที่ระดับ 50% ขึ้นไป มีผลทำให้น้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณ protein bound iodine และ thyrosine (T_4) ในซีรัมลดลง แต่ขนาดต่อมไทรอยด์ และปริมาณของโคเลสเตอรอลในซีรัมกลับเพิ่มขึ้น

Das and Ali (1993) รายงานว่า กากมัสตาร์ดชนิดที่ไม่นำไปผ่านการทำลายสารพิษ สามารถใช้ทดแทนกากงาได้ครึ่งหนึ่ง โดยไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ หากใช้ในระดับที่สูงกว่านี้ ฟองไข่จะมีขนาดเล็กลง และไก่กินอาหารได้น้อย Marangos and Hill (1976) รายงานว่าสามารถใช้กากมัสตาร์ดในสูตรอาหารได้โดยไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ แต่ทำให้เกิดกลิ่นคาวปลาขึ้น

Cilly *et al.* (1978, a) ได้ทดลองหาค่า ME ของกากมัสตาร์ดชนิดที่มีโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และ NFE เท่ากับ 37.2, 6.6, 11.5, 8.7 และ 35.8% DM ตามลำดับ โดยใช้ลูกไก่เนื้อและลูกไก่ไข่พันธุ์เล็กฮอร์นขาว ปรากฏว่า มีค่าเท่ากับ 2,300 และ 2,350 กิโลแคลอรี/กก. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถใช้แทนที่กากถั่วลิสงได้ที่ระดับ 30-32% โดยไม่มีผลเสียต่ออัตราการเจริญเติบโต แต่ทำให้ต่อมไทรอยด์ขยายใหญ่ขึ้น

Cilly *et al.* (1978, b) ได้หาค่า ME ของกากมัสตาร์ดในลูกไก่เล็กฮอร์นเพศผู้ อายุ 4 สัปดาห์ โดยให้กินอาหาร 4 ชนิด คือ ให้กากมัสตาร์ดชนิดเดียว กากมัสตาร์ดแทนที่อาหารควบคุม 30% และกากมัสตาร์ดแทนที่อาหารกึ่งบริสุทธิ์ (semipurified diet) ที่ระดับ 30 และ 55% ปรากฏว่า ME ของกากมัสตาร์ดจากการให้อาหารทั้ง 4 ชนิดดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 2,415, 2,487, 2,253 และ 1,504 กิโลแคลอรี/กก. ตามลำดับ

Slominski *et al.* (1999) ได้หาค่า ME ที่แท้จริง (TME_n) ของกากมัสตาร์ดสายพันธุ์ใหม่ (*B. juncea* cv. J4316) เปรียบเทียบกับกากคาโนลาสายพันธุ์ใหม่ 3 สายพันธุ์ (*B. napus* cv. Y1016; *B. rapa* cv. Parkland และ *B. napus* cv. Excel) และกากคาโนลาที่มีขายในท้องตลาด 2 สายพันธุ์ (*B. rapa* และ *B. napus*) พบว่า กากมัสตาร์ดมีค่า TME_n (2,154 กิโลแคลอรี/กก.) ต่ำกว่าคาโนลาสายพันธุ์ใหม่ (2,195-2,322 กิโลแคลอรี/กก.) แต่สูงกว่ากากคาโนลาที่มีขายในท้องตลาด (2,032-2,111 กิโลแคลอรี/กก.) นอกจากนี้ยังได้หาค่าการย่อยได้ของกรดอะมิโนที่แท้จริง (true digestibility of amino acid) ปรากฏว่าทั้งกากมัสตาร์ดและกากคาโนลาทุกชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน คือ มีค่าอยู่ในช่วง

82.2-85.9% โดยกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) แต่ละชนิดมีค่าค่าการย่อยได้อยู่ในช่วง 77.3-97.2% (ยกเว้นทริพโตเฟนที่ไม่ได้วิเคราะห์) ส่วนการหาค่าการย่อยได้ของโปรตีนแบบ *in vitro* ในกากมัสตาร์ดมีค่าการย่อยได้เท่ากับ 75.8% ใกล้เคียงกับกากคาโนลาทั้ง 5 สายพันธุ์ (73.4-76.5%) สำหรับการนำกากทั้ง 6 ชนิด ดังกล่าวไปเลี้ยงไก่เนื้อพันธุ์ Arbor Acre ช่วงอายุ 4-18 วัน โดยกำหนดให้มีโปรตีนและ ME ในสูตรอาหารเท่ากับ 22% และ 3,104-3,109 กิโลแคลอรี/กก. ปรากฏว่าสมรรถภาพการผลิตของไก่ที่ได้รับกากมัสตาร์ดต่ำกว่าการให้กากคาโนลาทั้ง 5 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญ

Newkirk *et al.* (1997) เปรียบเทียบการใช้กากมัสตาร์ดกับกากเรปซีด ปรากฏว่า กากมัสตาร์ดที่ใช้เป็นสายพันธุ์ที่มีสารพิษกลูโคซิโนเลทระดับต่ำ คือ มีปริมาณเท่ากับ 34.3 ไมโครโมล (μmole)/ก. ในขณะที่กากเรปซีดมีสารพิษดังกล่าวเท่ากับ 21.8-25.5 μmole/ก. นอกจากนี้พบว่า กากมัสตาร์ดมีค่า ME_n และ Apparent ileal CP digestibility รวมทั้งผลการใช้ในไก่เนื้อดีกว่ากากเรปซีดเล็กน้อย ส่วน Joshi *et al.* (1993) ได้ใช้การเจริญเติบโตของลูกไก่เนื้อเป็นดัชนีวัดความเป็นพิษของกลูโคซิโนเลทและกรดอิรูซิคที่มีในกากและน้ำมันมัสตาร์ดเทียบกับกากคาโนลา พบว่า น้ำหนักตัวเพิ่มของไก่ด้อยลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้มัสตาร์ดทั้งเมล็ด (มีสารพิษทั้ง 2 ชนิด) หรือเมื่อมีการเติมสารพิษที่สกัดออกมาแล้วกลับเข้าไปใหม่ Joshi (1986) ได้เสริมอาร์จีนีนและไลซีนลงในสูตรอาหารที่ใช้กากมัสตาร์ด พบว่าจะ ช่วยปรับปรุงการเจริญเติบโตของไก่ให้ดีขึ้น โดยต่อมไทรอยด์มีขนาดใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม Blair (1984) รายงานว่า กากมัสตาร์ดสามารถใช้เป็นอาหารไก่เนื้อได้ที่ระดับ 10% ของสูตรอาหาร โดยไม่มีผลเสียต่ออัตราการเจริญเติบโต แต่ต่อมไทรอยด์มีขนาดเพิ่มขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เขาจึงได้พยายามลดสารพิษลงโดยใช้แอมโมเนียและเสริมด้วยไลซีนระดับ 0.3% ทำให้สามารถใช้ได้ถึง 20% ของสูตรอาหาร อย่างไรก็ดี Begum *et al.* (1997) รายงานว่ากากมัสตาร์ดสามารถใช้แทนที่กากถั่วลิสงได้เพียง 30% หากถ้าใช้แทนที่ในระดับ 50% ขึ้นไป จะทำให้น้ำหนักตัวลดลง สำหรับรายงานที่บ่งว่าสามารถใช้กากมัสตาร์ดในระดับสูงได้ โดยไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิต เช่น Ar'kov and Chesheva (1977) และ Mandal *et al.* (1982) ใช้กากมัสตาร์ดชนิดที่มี ME 1.82 กิโลแคลอรี/ก. เป็นต้น

อย่างไรก็ดี Göhl (1981) ได้แนะนำอย่างคร่าวๆ ว่าในอาหารไก่ไม่ควรใช้กากมัสตาร์ดเกิน 9% ของสูตรอาหาร

สุกร

พิเชษฐ (2544) ใช้กากมัสตาร์ดชนิดทำแห้งด้วยวิธีการตากแดดและการคั่วในกะทะร้อน ซึ่งได้จากโรงงานผลิตน้ำมันหอมระเหย ในอาหารสุกรรุ่นและขุน โดยเริ่มทดลองที่สุกรมีน้ำหนักตัว

35 กก. จำนวน 100 ตัว แบ่งออกเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 2 ซ้ำ ให้ได้รับอาหารที่มีกากมัสตาร์ดชนิดใดชนิดหนึ่งระดับ 10 และ 20% หรือเทียบเท่ากับแทนที่กากถั่วเหลืองระดับ 28 และ 57% ในช่วงสุกรรุ่น (35-60 กก.) และ 38 และ 77% ในช่วงสุกรขุน (60-90 กก.) ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการใช้กากมัสตาร์ดในอาหารทุกสูตร กำหนดให้มีโปรตีนเท่ากับ 18 และ 16% ในช่วงสุกรรุ่นและขุน ตามลำดับ ส่วน ME เท่ากับ 3.2 กิโลแคลอรี/ก. คงที่ตลอดการทดลอง ปรากฏว่า สมรรถภาพการผลิต (อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร) ตลอดการทดลองเลวลงตามระดับการเพิ่มขึ้นของกากมัสตาร์ดในอาหาร แต่การใช้กากมัสตาร์ดทั้งสองชนิดที่ระดับ 10% ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม กากมัสตาร์ดชนิดที่ทำให้แห้งด้วยการตากแดดมีแนวโน้มให้ผลการเจริญเติบโตดีกว่าการคั่วในกะทะร้อน

Keith and Bell (1985) ทำการลดพิษของกากมัสตาร์ดสายพันธุ์ *B. juncea* (L) Coss ด้วยแอมโมเนียรวมทั้งไม่เสริมและเสริมด้วยไลซีนและไอโซลูซีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ขาดมากที่สุดเป็นลำดับที่ 1 และ 2 (1st และ 2nd limiting amino acids) เมื่อนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสุกร เปรียบเทียบกับกากคาโนลาและกากถั่วเหลืองที่มีการใช้ข้าวบาร์เลย์และข้าวฟ่างอัตราส่วน 2:1 เป็นอาหารฐาน เลี้ยงสุกรสายพันธุ์ Lacombe x Landrace - Yorkshire เพศผู้ตอน น้ำหนักตัว 25-52 กก. ปรากฏว่าการเสริมไลซีนและไอโซลูซีน ทำให้สุกรมีน้ำหนักตัวเพิ่มดีกว่าการเสริมเฉพาะไลซีนเล็กน้อย ส่วนประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกัน การเสริมกรดอะมิโนทั้งสองชนิดหรือชนิดเดียวในอาหารที่ใช้กากมัสตาร์ดดังกล่าว มีน้ำหนักตัวเพิ่มและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดีกว่าการไม่เสริม ส่วนการเลี้ยงด้วยคาโนลาไม่พบว่าแตกต่างจากกลุ่มที่เสริมไลซีน อย่างไรก็ดี สุกรที่เลี้ยงด้วยกากมัสตาร์ดและกากคาโนลาทุกกลุ่มมีสมรรถภาพฉารผลิตต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับกากถั่วเหลือง

Marangos and Hill (1977) ได้เปรียบเทียบการใช้กากมัสตาร์ด กากเรปซีด และกากถั่วเหลือง เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสุกรระยะรุ่นและขุนที่น้ำหนักตัว 22-90 กก. (อายุ 10-24 สัปดาห์) ให้กินอาหารเต็มที่ จากนั้นให้อาหารระยะขุนวันละ 2.95 กก. เมื่อน้ำหนักตัวถึง 100 กก. ลดปริมาณอาหารลงเหลือ 2.7 กก. จนกระทั่งเป็นสัด หลังจากผสมติดให้อาหารชนิดเดิมอีก แต่ปรับระดับโปรตีนลงเหลือ 13% โดยให้วันละ 2 กก. หลังจากคลอดปรับอาหารให้มีโปรตีนสูงขึ้นเป็น 16% ให้วันละ 3.7 กก. ในกรณีที่มีลูกมากกว่า 5 ตัว เพิ่มอาหารให้อีก 0.4 กก. ต่อลูก 1 ตัว ปรากฏว่าอายุที่ผสมติดเท่ากับ 278, 263 และ 237 วัน ซึ่งจะมีน้ำหนักตัวเท่ากับ 136, 135 และ 128 กก. (โดยค่าที่ได้เฉลี่ยจากสุกรที่เป็นสัดเท่านั้น ซึ่งพบว่ากลุ่มที่ได้รับกากมัสตาร์ดและเรปซีดมีสุกรที่ไม่เป็นสัดกลุ่มละตัว) ทั้งนี้ไม่พบว่ามีผลเสียหายต่อขนาดครอกแรกคลอดและหย่านม แต่ทำให้การเป็นสัดหลังหย่านมยืดยาวออกไป

Pathak and Ranjhan (1982) ได้ใช้กากมัสตาร์ดแทนที่กากถั่วลิสงที่ระดับ 0, 50 และ 100% ในอาหารสุกรแม่พันธุ์อายุ 9-10 เดือน หรือมีน้ำหนักตัวเริ่มต้นประมาณ 80 กก. จนกระทั่งหย่านม พบว่า น้ำหนักตัวระหว่างการตั้งท้องและเลี้ยงลูกไม่แตกต่างกัน แต่อัตราแลกน้ำหนัก ขนาดครอกแรกคลอด น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอด และน้ำหนักลูกสุกรหย่านมเลวลงตามระดับการเพิ่มขึ้นของกากมัสตาร์ดในอาหาร

Sarwar and Bell (1980) ได้ใช้กากมัสตาร์ด (yellow mustard; *B. hirta*) ชนิดที่มีกลูโคซิโนเลท 28 มก./ก. ในอาหารสุกรรุ่น เปรียบเทียบกับการใช้กากเรปซีดชนิดที่มีกลูโคซิโนเลทต่ำหรือสูง (4.2 หรือ 15.4 มก./ก.) พร้อมทั้งเสริมไลซีน เมทไธโอนีน และเอนไซม์ไมโรซิเนสร่วมด้วย ปรากฏว่าสมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างกัน การเสริมไลซีนและเมทไธโอนีนระดับ 0.2 และ 0.1% ไม่มีส่วนช่วยให้สุกรกลุ่มที่ได้รับกากมัสตาร์ดและกากเรปซีดที่มีกลูโคซิโนเลทระดับสูงกินอาหารได้เพิ่มขึ้น แต่การเสริมเอนไซม์ไมโรซิเนสกลับทำให้สมรรถภาพการผลิตเลวลง แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์สามารถทำงานในทางเดินอาหารของสัตว์ได้ โดยทำให้สารดังกล่าวเกิดความเป็นพิษขึ้น

Bell *et al.* (1981) ได้พยายามลดสารพิษในกากมัสตาร์ด โดยใช้โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ทำให้ลดกลูโคซิโนเลทลงได้ 20-40% แต่การใช้ประโยชน์ได้ของไลซีนก็จะลดลงด้วยในปริมาณ 15-20% ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีนและพลังงานมีค่า เท่ากับ 87 และ 65% ตามลำดับ ส่วนค่าพลังงานย่อยได้เท่ากับ 2,941 กิโลแคลอรี/กก. ต่อมา Bell *et al.* (1984) ได้ศึกษาโดยพยายามลดความเป็นพิษของกากมัสตาร์ดด้วยการใช้แอมโมเนีย พบว่า สามารถลดกลูโคซิโนเลทลงได้ 80% แต่ก็ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของไลซีนลดลง 20% ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีนและพลังงานเท่ากับ 75 และ 72% ตามลำดับ หรือเทียบเป็นค่าโปรตีนและพลังงานที่ย่อยได้ (digestible CP and energy) เท่ากับ 30.25% และ 2,941 กิโลแคลอรี/กก. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตและปริมาณอาหารที่กินเลวลง Mitra and Samanta (1991) รายงานว่าพบเนื้อตายที่หัวใจ ตับ และไต ในสุกรที่เลี้ยงด้วยกากมัสตาร์ดเป็นเวลา 16 สัปดาห์ อย่างไรก็ดี Göhl (1981) ได้แนะนำว่าในอาหารสุกรไม่ควรใช้กากมัสตาร์ดเกิน 20% ของสูตรอาหาร

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่า กากมัสตาร์ดหลังจากสกัดเอาน้ำมันออกแล้ว สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งก็สอดคล้องกับแนวทางการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำกากมัสตาร์ดที่เหลือทิ้งจากโรงงานผลิตมัสตาร์ดในประเทศไทยไปเลี้ยงสัตว์ แต่เนื่องจากกากมัสตาร์ดดังกล่าวมีองค์ประกอบทางเคมีต่างจากที่รายงานในต่างประเทศเป็นอย่างมาก อีกทั้งการศึกษาเบื้องต้นของโรงงานยังไม่ครอบคลุมพอ จึงเห็นว่าควรทำการศึกษาในสัตว์แต่ละชนิดเพิ่มเติม โดยใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง ในที่นี้จะศึกษาหาองค์ประกอบทางเคมี ค่าการย่อยได้และค่า

พลังงานใช้ประโยชน์ ตลอดจนหาระดับที่เหมาะสมเมื่อนำไปใช้เป็นอาหารไก่เนื้อ ไก่ไข่ และเป็ดไข่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University