บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

ประสิทธิภาพการผลิต (performance production)

น้ำหนักตัวเริ่มต้น (initial weight) ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เฉลี่ยทั้ง 5 กลุ่ม เริ่มที่น้ำหนักเฉลี่ย 70.21 กิโลกรัม และน้ำหนักตัวสุดท้ายเฉลี่ยทั้ง 5 กลุ่มเฉลี่ยที่ 99.46 กิโลกรัม แต่สุกรเพศผู้ตอนมีน้ำหนักตัวเริ่มต้นและน้ำหนักตัวสุดท้ายสูงกว่าสุกรเพศเมีย โดยมีระยะเลี้ยงเป็นเวลา 33 วัน โดยสุกรทดลองได้รับอาหารเต็มที่ ผลการทดลองพบว่า การเสริมสารซัลบูทามอลไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิต แต่ระหว่างสุกรกลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอล พบว่า สุกรกลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 12 ppm มีปริมาณอาหารที่กินทั้งหมดสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับการเสริมระดับอื่นๆ ($P<0.05$) จากผลการทดลองการใช้สารซัลบูทามอลระดับ 12 ppm ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโต ดีกว่าสุกรกลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 4 ppm แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 8 และ 16 ppm นอกจากนี้สุกรกลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 12 ppm มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นมากกว่าสุกรกลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 4 และ 16 ppm สอดคล้องกับงานทดลองของ รณชัย และคณะ (2545); สมโภชน์ และคณะ (2538) และ Warriss *et al.* (1990) รายงานว่า การใช้สารซัลบูทามอลไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญ เติบโตของสุกร ($P>0.05$) แต่มีแนวโน้มว่าสุกรที่ได้รับสารซัลบูทามอลมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมสารซัลบูทามอล เช่นเดียวกับรายงานของ Fremaut and Broeck (1991) ซึ่งใช้ clenbuterol ที่ระดับ 1.0 ppm ในอาหารสุกรขุน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันเพิ่มขึ้นเป็น 795 กรัม เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม 703 กรัม และประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่ากลุ่มควบคุม 3.13 และ 3.48 ตามลำดับ ($P>0.05$) สอดคล้องกับ Adeola *et al.* (1990) ใช้ ractopamine ระดับ 20 ppm พบว่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดีกว่ากลุ่มควบคุม คือ FCR มีค่าเท่ากับ 2.56 และ 3.2 ตามลำดับ ($P>0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า β-adrenergic agonist มีผลทำให้การกินอาหารลดลง จากผลการทดลองครั้งนี้พบว่า สุกรกลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 16 ppm (ในการทดลองนี้ใช้ในปริมาณสูงสุด) ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตต่างๆ ของสุกรลดลงเมื่อเทียบกับสุกรกลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 12 ppm (ใกล้เคียงกับระดับการเสริมของเกษตรกร) โดยเฉพาะปริมาณอาหารที่กิน และน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น มีค่าต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าการเสริมสารซัลบูทามอลในระดับที่สูงทำให้การกินได้ของสุกรลดลงและทำให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นลดลงอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Muir (1988) รายงานว่าในไก่เนื้อที่ใช้สารกลุ่ม β-adrenergic agonist ในอาหารที่ระดับ 0.2-2 ppm ช่วยปรับปรุงอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น 4 และ 5% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้ใช้สาร นอกจากนี้ Muir (1988) ยังได้รายงานว่า สุกรเป็นสัตว์ที่ตอบสนองต่อสารในกลุ่ม β-adrenergic agonist มากที่สุด ซึ่งได้มีการเสริมสารกลุ่มนี้ที่ระดับ 0.2-4 ppm ในอาหาร พบว่า สารมารถปรับปรุงอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารไปในทางที่ดีขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยสอดคล้องกับ Rickes *et al*. (1985) ที่ได้ศึกษาผลของ clenbuterol ต่อประสิทธิภาพการผลิตในหนู พบว่า clenbuterol ที่ระดับ 10 ppm ตอบสนองได้ดีกว่าทุกกลุ่มการทดลอง (Table 12)

การเสริมสารซัลบูทามอลมีผลทำให้สุกรกินอาหารลดลง แต่ช่วยปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของสุกร (weight gain) ส่วนอัตราแลกน้ำหนักของสุกร (FCR) กลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 8 ppm มีอัตราแลกน้ำหนักดีกว่ากลุ่มควบคุม (P<0.05) สอดคล้องกับการทดลองของ สมโภชน์ และคณะ (2538) ที่ทำการศึกษาผลการใช้สารซัลบูทามอล ระดับ 8 ppm ในอาหารสุกรลูกผสมพื้นเมือง x เหมยซาน พบว่า มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย (ADG) 0.56 กิโลกรัมต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้อาหาร 3.22 ดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารปกติ ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเพียง 0.45 กิโลกรัมต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้อาหาร 3.81 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยพบว่า อัตราการเจริญเติบโตกับอัตราการแลกเนื้อมีความสัมพันธ์กัน โดยสุกรยิ่งโตช้าเท่าใดก็ยิ่งกินอาหารมากขึ้นเท่านั้น (บุญลือ, 2536) นอกจากนี้ แนวโน้มต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัวของสุกรกลุ่มควบคุมสูงกว่ากลุ่มที่ใช้สารซัลบูทามอลทุกระดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

Table 12. Effects of a beta-adrenergic agonist, clenbuterol, on growth performance of the rat (percent change over control) SOURCE: Ricks *et al.* (1985)

Characteristic	**Clenbuterol, ppm in diet**		
	2	**10**	**50**
Weight gain (g/day)	4.8*	9.6*	8.5*
Feed intake (g/day)	0.4	-3.4	1.7
Feed conversion (g feed/ g gain)	-3.6	-10.7*	-7.2*

*P<0.05 compared with control.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Mersmann *et al*. (1987) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลของ cimaterol กับระดับโปรตีนในอาหารสุกร (14 กับ 18%) พบว่า สุกรกลุ่มที่เสริม cimaterol พร้อมกับได้รับโปรตีนระดับต่ำ (14%) ทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง แต่ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนกลุ่มที่ได้รับโปรตีนระดับสูง (18%) พบว่า อัตราการเจริญเติบโตและการสร้างกล้ามเนื้อสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีนต่ำ

การใช้ระดับโปรตีนที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร และอัตราการเจริญเติบโตแตกต่างกันมากเมื่อเทียบในแต่ละระดับ (14 และ 18 %โปรตีน) และยังพบว่าการเสริมสารซัลบูทามอลในอาหาร ทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร และอัตราการเจริญเติบโตดีขึ้น (Mersmann *et al*., 1987; Reeds and Mersmann, 1991) แต่ขัดแย้งกับงานทดลองของ Chizzolini *et al.* (1989) ใช้สารซัลบูทามอลที่ระดับ 3 ppm ทำให้อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยลดลง 6% แต่มีข้อสังเกตว่า สุกรมีอัตราการกินได้ลดลง 13% และประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น11% อย่างไรก็ตามผลตอบสนองของการใช้สารซัลบูทามอลต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร และอัตราการเจริญเติบโตดีขึ้น เมื่อเทียบกันระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ใช้สารซัลบูทามอลระดับ 3 และ 6 ppm คือเท่ากับ 15-18% และ 15-20% ตามลำดับ ($P<0.05$) (ชูพงษ์, 2539; Ricks *et al*., 1985) ตรงกับผลการทดลองนี้ ที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 4 ppm ซึ่งจะพบว่าสุกรมีอัตราการเจริญเติบโตและการกินได้ลดลง 4.71% และ 12.31% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการที่สารซัลบูทามอล มีฤทธิ์ในการทำงานคล้ายฮอร์โมนในกลุ่ม catecholamine เช่น ยับยั้งการหลั่งของอินซูลิน กระตุ้นกระบวนการสลายไขมัน กระตุ้นกระบวนการสลายไกลโคเจนในตับไปเป็นกลูโคส ซึ่งกระบวนการทั้งหมดนี้ เป็นการแบ่งพลังงานในส่วนที่สัตว์จะนำไปสะสมไว้ออกมาใช้เป็น พลังงานสำหรับการดำรงชีพ และกระตุ้นอัตราการเจริญเติบโต (Ricks *et al*., 1985; Beermann *et al*., 1986; Muir, 1988)

คุณภาพซาก (carcass quality)

เมื่อสุกรมีน้ำหนักประมาณ 100 กิโลกรัม ทำการฆ่าและชำแหละศึกษาคุณภาพซาก โดยมีน้ำหนักตัวที่เข้าฆ่าเฉลี่ย 97.29 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักตัวที่เข้าฆ่าของแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าสุกรเพศผู้ตอนมีน้ำหนักตัวเข้าฆ่าสูงกว่าสุกรเพศเมีย และจากผลการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์ซากของสุกรทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าความหนาไขมันสันหลังเฉลี่ยที่ระดับ 8 ppm มีแนวโน้มบางกว่ากลุ่มอื่นๆ ($P>0.05$) ส่วนพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันของสุกรกลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 4, 8 และ 16 ppm ใหญ่กว่ากลุ่มที่ใช้อาหารควบคุม ($P<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ชูพงษ์ (2539) ซึ่งพบว่า พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ของสุกรลูกผสม ดูร็อค x แลนด์เรช x ลาร์จไวท์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับสารซัลบูทามอล ในอาหาร (0, 3 และ 6 ppm) แต่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกลไกการทำงานของสารในกลุ่ม β-adrenergic agonist ที่สามารถทำให้อัตราการสังเคราะห์โปรตีนมีอัตราสูงจากกลุ่มควบคุม ซึ่งส่งผลทำให้อัตราการสะสมโปรตีนในกล้ามเนื้อสูงขึ้น (Anderson *et al.,* 1984) และนอกจากนี้ยังไม่มีผลทำให้เอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ ซึ่งได้แก่ cathepsin protease และ calcium dependent proteinase เปลี่ยนแปลง (Werner *et al.,* 1989)

ส่วน Warriss *et al.* (1990) พบว่าเปอร์เซ็นต์ซากและพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันเพิ่มขึ้น 2.6 และ 11% แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันรวมและกระดูกรวมในซากลดลงตามระดับของซัลบูทามอล คือ 31.1 กรัม และ 44.4 กรัม ในกลุ่ม 0 และ 3 ppm ตามลำดับ การเสริม β-adrenergic agonist ในระดับที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความหนาไขมันสันหลังลดลงนั้น เนื่องมาจากการที่สารในกลุ่ม β-adrenergic agonist มีฤทธิ์ในการกระตุ้นกระบวนการสลายไขมัน โดยจะกระตุ้นการทำงานของระบบ adenylate cyclase ทำให้เกิดการผลิต cAMP ซึ่ง cAMP เป็นตัวกลางในการย่อยไขมันภายในเซลล์ไขมันได้ (Mersmann, 1990) นอกจากนี้ยังไปมีผลต่อการยับยั้งการทำงานของอินซูลิน ซึ่งอินซูลินมีหน้าที่กระตุ้นกระบวนการขนส่งกลูโคสเข้าสู่เซลล์ไขมัน และนำไปสู่การกระตุ้นให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ไขมัน โดยในส่วนของ β-adrenergic agonist จะยับยั้งการทำงานของอินซูลิน โดยมีผลทำให้การจับกันของอินซูลินกับรีเซ็พเตอร์ลดลง 20% (Liu *et al.,* 1987) อัตราการสังเคราะห์ไขมันเกิดจากการกระตุ้นของฮอร์โมนอินซูลิน ในขณะที่อัตราการสลายตัวของไขมันเกิดจากการกระตุ้นของฮอร์โมนอะดรีนาลีนและนอร์อะดรีนาลีนจากต่อมหมวกไต (คนึงนิจ, 2542)

นอกจากนั้นสารเบต้า – อะโกนิสต์ ทำให้เกิดการไหลเวียนเลือดไปบริเวณขาหลังและเนื้อเยื่อไขมันเพิ่มขึ้นมีการสร้างความร้อนเพิ่มขึ้นโดยใช้พลังงานจากไขมันที่สะสมอยู่ทำให้ปริมาณไขมันลดน้อยลง (เยาวมาลย์ และสาโรช, 2537) จากรายงานผลของการใช้สารเบต้า-อะโกนิสต์ต่างๆ ที่มีการตอบสนองด้านประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพซากของสุกรนั้นเป็นที่น่าสังเกตว่า การทดลองส่วนใหญ่ จะใช้สูตรอาหารเปรียบเทียบและสูตรที่ใช้สารเบต้า-อะดรีเนอจิก อะโกนิสต์เป็นไปตามคำแนะนำของ NRC (ระดับเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ใช้ในสูตรอาหารในการทดลองครั้งนี้ก็เป็นไปตามคำแนะนำของ NRC รวมถึงระดับของไลซีนด้วย) คือ ให้ที่ระดับเปอร์เซ็นต์โปรตีนและกรดอะมิโนที่จำเป็น โดยเฉพาะไลซีนในระดับที่แนะนำไว้ใน NRC เพราะสุกรที่มีอัตราการสะสมเนื้อแดงสูงจะมีความต้องการกรดอะมิโนมากตามไปด้วย (ฉะนั้นในการใช้สูตรอาหารควรให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงตามไปด้วย) และยังพบว่าขนาดของสารที่ใช้ ชนิด อายุและขนาดของสัตว์จะมีผลต่อคุณภาพซากภายหลังจากที่ใช้สารดังกล่าวนี้ด้วย (Buttery *et al*., 1986)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณภาพเนื้อ (meat quality)

ค่าความเป็นกรด-ด่างในเนื้อ (pH Value) **ค่าการนำไฟฟ้า** (electrical conductivity) **และการประเมินค่าสีของเนื้อ** (meat color)

การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในเนื้อปกติแล้ว ค่า pH หลังฆ่านาน 45 นาทีควรน้อยกว่า 5.8 ซึ่งปกติจะใช้เป็นค่าวิกฤตที่ส่งผลให้เกิดลักษณะเนื้อซีด เหลว ไม่คงรูป (pale soft exudative, PSE) และค่า pH หลังฆ่านาน 24 ชั่วโมง ควรที่จะมากกว่า 6.0 ซึ่งเกี่ยวข้องกับสภาวะการเกิดลักษณะเนื้อคล้ำ แข็ง แห้ง (dark firm dry, DFD) (ชัยณรงค์, 2529; สัญชัย, 2543) จากการทดลองพบว่า ค่า pH หลังฆ่า 45 นาที ของทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่หลังฆ่า 24 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยกลุ่มควบคุมมีค่า pH ต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลทุกระดับ งานทดลองของ Dazzi *et al*. (1991) รายงานว่าการใช้สารซัลบูทามอล ที่ระดับ 2 ppm ในอาหารไม่มีผลต่อค่า pH_i (45 นาที หลังฆ่า) และ pH_u (24 ชั่วโมง หลังฆ่า) ของเนื้อ แต่มีผลต่อคะแนนสีของเนื้อหลังจากฆ่าแล้ว 48 ชั่วโมง ซึ่งประเมินจากสายตาของผู้เชี่ยวชาญโดยคะแนนสีของเนื้อสุกรที่ได้รับสารซัลบูทามอล ในอาหารจะมีความเข้มสูงกว่าเนื้อที่ไม่ได้รับสารซัลบูทามอล โดย Cheah *et al*. (1998) รายงานว่า ค่า pH_u ที่มากกว่า 6.0 และมีค่าสี L* น้อยกว่า 50 มีโอกาสเป็นเนื้อคล้ำ แข็ง และแห้ง (dark firm dry, DFD) ถ้าเนื้อปกติจะมีค่า pH < 5.8 ที่ 1 ชั่วโมง และมีค่า L* ระหว่าง 52-58 แต่ผลในการทดลองครั้งนี้ เนื้อจะไม่มีโอกาสเป็นเนื้อ DFD เนื่องจากค่า pH ที่ 24 ชั่วโมง ยังอยู่ในช่วงปกติ (pH 7) แต่เมื่อพิจารณาจากค่า pH ที่ 45 นาที หลังฆ่า กลับพบว่ามีค่าสูงกว่าปกติ คือ มากกว่า 5.8 ซึ่งลักษณะเนื้อของการทดลองครั้งนี้มีโอกาสเป็นเนื้อ PSE โดยเนื้อ PSE เกิดจากการย่อยสลายพลังงานที่สะสมในกล้ามเนื้อสัตว์ที่เรียกว่า glycogen ซึ่งกระบวนการ anaerobic glycolysis เกิดอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการสะสมกรดแลคติคจำนวนมากในระยะเวลาสั้นๆ ซึ่งกรดนี้จะไม่ถูกย่อยภายในเนื้อ มีผลทำให้ pH ของกล้ามเนื้อลดลงจากสภาพปกติ

Warriss *et al.* (1990) พบว่า สุกรที่ได้รับสารซัลบูทามอล 3 ppm มากกว่า 40% ทำให้ค่า pH_u มีค่าสูงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มของสุกรที่ไม่ได้รับสาร และมีเพียง 15% ซึ่งค่า pH ในเนื้อสูงกว่าปกติ โดย Hansen *et al*. (1997) อธิบายว่าสารดังกล่าวจะไปเร่งการสลายไขมันในกล้ามเนื้อและใช้ไกลโคเจนที่สะสมในกล้ามเนื้อและตับเพื่อการสร้างโปรตีนให้มากที่สุด จึงมีผลทำให้การสะสมไขมันในซากต่ำและมีปริมาณไกลโคเจนสะสมในเนื้อน้อย ดังนั้นในการทำงานของกล้ามเนื้อภายหลังจากสัตว์ตายจึงไม่มีไกลโคเจนเพียงพอในกระบวนการ anaerobic metabolism มีผลทำให้เกิดกรดแลคติคน้อย

ค่าการนำไฟฟ้าของเนื้อหลังฆ่า 45 นาที และ 24 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ค่าการต้านทานไฟฟ้าของกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ทางด้านบวกกับค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ซึ่งการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผ่านกล้ามเนื้อจะมีความสัมพันธ์กับน้ำในกล้ามเนื้อ (free water) หากมีน้ำในเนื้อมากจะมีการนำกระแสไฟฟ้าได้ดี (Page *et al*., 2001)

ด้านการประเมินค่าสี พบว่าทั้ง 5 กลุ่มการทดลอง พบว่าทั้งค่า a* (redness) และ b* (yellowness) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) แต่ค่า L* (lightness) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยพบว่าสุกรกลุ่มควบคุม เนื้อจะเป็นสีแดงสดกว่ากลุ่มที่ได้รับสารซัลบูทามอล ซึ่งค่าสีของเนื้อแปรผกผันกับค่า pH โดยค่า pH หลังฆ่า 24 ชั่วโมงในกล้ามเนื้อของสุกรกลุ่มควบคุมต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอล ($P<0.05$) ค่า a* ใช้บ่งบอกถึงปริมาณสารสี (pigment) ที่มีอยู่ในเนื้อโดยเฉพาะ myoglobin จะอยู่ในรูปของ oxymyoglobin ซึ่งจะมีสีชมพูอมเทา (grayish-pink) เป็นสภาวะที่ myoglobin ในเนื้อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ (Uttaro *et al.* 1993) หรืออาจใช้บ่งบอกถึง ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีสีเข้ม โดยมักจะมีสัดส่วนของ red fiber สูงกว่า white fiber (ชัยณรงค์, 2529) ซึ่งค่าสีที่ได้มีความสัมพันธ์กับค่า pH ของเนื้อนั้น โดยค่า pH นี้มีส่วนสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณกรดแลคติค (lactic acid) ที่สะสม เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีในเนื้อ และอาจมาจากการสูญเสียน้ำ (drip loss) ของเนื้อสุกรกลุ่มควบคุมที่มีมากกว่า ทำให้สารสีที่มีในเนื้อออกมากับน้ำเนื้อ ส่วนดัชนีความเป็นสีเหลือง (b*) ใช้บ่งบอกถึงการมีปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อมากน้อยเท่าไร โดยพบว่าถ้าค่า b* สูงแสดงว่าเนื้อนั้นมีปริมาณไขมันแทรกมาก ซึ่งอิทธิพลของไขมันแทรกก็มีผลต่อการประเมินค่าสีของเนื้อโดยขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันแทรกที่แตก ต่างกันไประหว่างชนิดของกล้ามเนื้อ หรือแม้กระทั่งในกล้ามเนื้อเดียวกันทำให้มีผลต่อค่าการสะท้อน (ค่า L*) ของแสง (สัญชัย, 2543)

Geesink *et al.* (1993) ได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ของค่า pH กับความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อว่ากล้ามเนื้อที่มีอัตราการลดลงของค่า pH อย่างรวดเร็วทำให้ซาร์โคพลาสมิคโปรตีนของเส้นใยกล้ามเนื้อเสื่อมสภาพ ดั้งนั้นจึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนในกล้ามเนื้อลดลง มีน้ำซึมเยิ้มออกมาบริเวณผิวเนื้อ ทำให้เกิดการสะท้อนกลับของแสงที่สัมผัสกับผิวของเนื้อมากขึ้น ในทางตรงข้าม ถ้าเนื้อมีค่า pH สูง ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนในเนื้อจะสูงขึ้น น้ำจะไม่ซึมออกมาที่ผิวเนื้อทำให้การสะท้อนกลับของแสงน้อย ดังนั้นค่าความสว่างของเนื้อจะต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity, WHC)

โดยปกติกล้ามเนื้อสัตว์ประกอบด้วยน้ำ 75% การเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ เริ่มจากการจัดการก่อนฆ่า เช่นการขนส่งสัตว์จากฟาร์มมายังโรงฆ่า ระยะทางในการขนส่ง เป็นสาเหตุสำคัญที่

ก่อให้เกิดความเครียด (สัญชัย, 2543) นอกจากนี้ยังมี การบ่ม การบด การประกอบอาหารด้านต่างๆ การแช่แข็ง การทำละลาย หรือการทำให้แห้งเป็นต้น ซึ่งการแช่แข็ง และการทำละลายเนื้อมีความสัมพันธ์กับการจับน้ำในกล้ามเนื้อ การเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างกล้ามเนื้อโปรตีน นอกจากนี้กระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายยังส่งผลต่อคุณภาพเนื้อในด้านต่างๆ ทำให้เกิดลักษณะเนื้อที่ไม่พึงประสงค์ เช่นเกิด pale soft exudative (PSE) ในสุกร หรือ dark, firm และ dry (DFD) ในเนื้อโค สิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ เช่น ค่าการสูญเสียน้ำขณะเก็บ (drip loss) ค่าการสูญเสียน้ำขณะทำละลาย (thawing loss) และค่าการสูญเสียน้ำขณะประกอบอาหาร (cooking loss) ของเนื้อ ซึ่งการสูญเสียขณะทำละลายมีความสัมพันธ์ทางบวกกับความชื้นในเนื้อ ส่วนการสูญเสียน้ำเนื่องจากการเก็บมีความสัมพันธ์ทางบวกกับไขมันในซาก (Buss, 1990) เพราะจะทำให้ไขมันในกล้ามเนื้อเกิดการเหม็นหืนได้ง่าย ทั้งนี้กล้ามเนื้อที่มีความแตกต่างกันมีความสูญเสียไขมันและน้ำขณะประกอบอาหารต่างกัน

จากการศึกษาค่าการสูญเสียน้ำขณะเก็บของทั้ง 5 กลุ่มการทดลอง พบว่า เนื้อสุกรกลุ่มควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำขณะเก็บสูงกว่ากลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 4, 8 และ 12 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เช่นเดียวกับการสูญเสียน้ำจากการทำละลายของทั้ง 5 กลุ่มการทดลอง กลุ่มควบคุมมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 4 และ 8 ppm เนื่องจากขณะที่เนื้อถูกแช่แข็ง น้ำในเนื้อเกิดเป็นผลึกน้ำแข็ง โดยน้ำในเซลล์จะถูกดึงมารวมกันเป็นผลึกขนาดใหญ่ เป็นผลให้เซลล์กล้ามเนื้อมีขนาดลดลงและผลึกน้ำแข็งบางส่วน ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อฉีกขาดส่งผลให้เมื่อทำการละลายน้ำแข็ง น้ำบางส่วนจะถูกดึงกลับเข้าเซลล์ และมีบางส่วนจะไหลออกมาจากเนื้อ (สายสนม, 2539) ส่วนค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการประกอบอาหาร พบว่ากลุ่มควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการประกอบอาหารสูงกว่ากลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอล แต่ค่าที่ได้ในการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิต ($P>0.05$) จากการศึกษาของ Berge *et al.* (1993) รายงานว่า การใช้สารซัลบูทามอล มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียระหว่างการปรุงอาหารน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้สาร ($P<0.05$) เนื่องมาจากค่า pH ในเนื้อกลุ่มที่ได้รับสารมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับ ซึ่งทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนในเนื้อสูงกว่า ดังนั้นการสูญเสียน้ำในระหว่างการปรุงอาหารก็ลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้การสูญเสียน้ำของเนื้อมีความสัมพันธ์กับการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) คือค่า pH ลดลง ทำให้ความสามารถในการจับตัวกันระหว่างโมเลกุลของโปรตีนกับน้ำในเนื้อลดลง (ชัยณรงค์, 2529) เมื่อทำการประกอบอาหารโดยใช้ความร้อนจะเกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้น เนื่องจากการระเหยของน้ำอิสระที่มีอยู่ในเนื้อ ระเหยมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อชิ้นนั้นๆ การที่เนื้อถูกความร้อนจากการปรุงอาหาร ไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ว่าจะเป็นการต้ม หรือการย่างจะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ (denature) ทำให้โปรตีนสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำไป และเกิดการหดรัดตัวของโมเลกุลโปรตีน (coagulation) น้ำที่จับตัวกับโปรตีนของเนื้อก็จะละลายออกมา (ชัยณรงค์, 2529)

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ (chemical composition) **และค่าแรงตัดผ่านเนื้อ** (shear force value)

จากการศึกษาการใช้สารซัลบูทามอล ที่ระดับ 0, 4, 8, 12 และ 16 ppm ต่อคุณภาพเนื้อด้านองค์ประกอบทางเคมี พบว่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) เช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของทั้ง 5 กลุ่มการทดลองก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) จากการพิจารณาค่าที่ได้ พบว่าการเสริมสารซัลบูทามอลระดับ 12 และ 16 ppm ทำให้ปริมาณโปรตีนในกล้ามเนื้อสูงกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hansen *et al.* (1997) เนื่องจากสารซัลบูทามอล มีผลเร่งการสะสมโปรตีนและลดการสะสมไขมันในร่างกาย นอกจากนี้ยังพบว่าสุกรที่ได้รับสารซัลบูทามอล จะมีการสะสมปริมาณของ Ca และ P ในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า สารเบต้า-อะโกนิสต์ จัดอยู่ในกลุ่มของ Adrenalin drug หรือ Sympathominetic amine โดยกลไกของฮอร์โมน Adrenaline จะไปจับกับ β–receptor ที่อยู่บนเยื่อหุ้มเซลล์ เกิดการกระตุ้นของ Adrenyl cyclase ทำหน้าที่เปลี่ยน ATP ไปเป็น cAMP ซึ่ง cAMP จะเร่งการสลายไกลโคเจนได้เป็นกลูโคสในกระแสเลือด แล้วเข้าสู่วิถีไกลโคไลซิสได้พลังงานออกมา ดังนั้นการใช้สารซัลบูทามอลจึงเป็นการเร่งการใช้กลูโคสในกล้ามเนื้อเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงาน มีผลให้เกิดการกระตุ้นการทำงานในกล้ามเนื้อสัตว์ที่ได้รับมากกว่าปกติ ดังนั้นเมื่อร่างกายมีการทำงานของกล้ามเนื้อมากขึ้น จึงมีการนำเอาแคลเซียมมาใช้ในกระบวนการการทำงานของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น (Chesworth, 1998)

ส่วนค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force value) ใช้เป็นดัชนีวัดค่าความเหนียว หรือนุ่นของเนื้อทางตรง (direct) โดยใช้เครื่อง instron ค่าที่วัดออกมาจะเป็นแรงและพลังงาน พบว่าค่าแรงตัดผ่านสูงสุด (maximum shear force) หน่วยเป็นนิวตัน (N) สุกรทุกกลุ่มการทดลองมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อและพลังงานที่ใช้ในการตัดเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าสุกรกลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลทุกระดับ มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงว่า ลักษณะของเนื้อสุกรกลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลเหนียวกว่าสุกรกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับการทดลองของ Koohmarie *et al.* (1991) และ Geesink *et al.* (1993) ได้รายงานว่าการใช้สารเบต้า-อะโกนิสต์มีผลทำให้เอ็นไซม์ μ-calpain ที่ทำหน้าที่ย่อยโปรตีนเพื่อทำให้เนื้อนุ่มภายหลังสัตว์ตายลดลง โดยมีปริมาณเอ็นไซม์ calpastatin ที่ทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ที่ย่อยโปรตีนเพิ่มขึ้น และทำให้มีปริมาณเนื้อแดงเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าเนื้อแดงของสุกรกลุ่มที่เสริมสารมีขนาดและจำนวนเส้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ใยกล้ามเนื้อที่มากกว่า นั่นคือจะมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันระหว่างมัดกล้ามเนื้อเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย (Nold *et al*., 1999) รวมไปถึง collagen ซึ่งจัดได้ว่าเป็นส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดหนึ่งที่ค่อนข้างจะสัมพันธ์ทางบวกกับความเหนียวของเนื้อ ซึ่ง collagen จัดเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวและเกยซ้อนทับกันอยู่ในรูป intermolecular crosslink ซึ่งมีคุณสมบัติทำให้เนื้อเหนียว (ชัยณรงค์ 2529; สัญชัย, 2534) นอกจากนี้ยังสัมพันธ์ถึงปริมาณไขมันแทรกในเนื้อสุกรด้วย นั่นคือ ปริมาณไขมันแทรกมากก็จะทำให้เนื้อมีความนุ่มมากขึ้น

ปัจจัยจากเพศไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี ค่าแรงตัดผ่านเนื้อและการสูญเสียน้ำต่างๆ ซึ่ง Uttaro *et al*. (1993) รายงานว่า สุกรเพศผู้ตอนมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Warner-Blatzler shear force, WBS) น้อยกว่าเพศเมีย และเพศผู้ปกติมีความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อต่ำกว่าเพศเมียและเพศผู้ตอน นอกจากนี้สุกรเพศผู้ปกติยังมีปริมาณคอลลาเจน (collagen) สูงที่สุด (Nold *et al*., 1999)

ปริมาณการหืน (thiobarbituric acid, TBA number) **ปริมาณคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์** (cholesterol and triglyceride)

ไขมันเป็นส่วนประกอบสำคัญของเนื้อสัตว์ และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เป็นต้นเหตุของรสชาติ และความอร่อยของเนื้อ ปริมาณมากน้อยของไขมันในเนื้อมีผลต่อความนุ่มและความชุ่มฉ่ำ และยังมีผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเนื้อ การเกิดปฏิกิริยา oxidation ของไขมันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ กระบวนการผลิต ระยะเวลา องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสัตว์ องค์ประกอบของกรดไขมันทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ซึ่งการเกิดปฏิกิริยา oxidation ส่งผลให้เนื้อและไขมันในเนื้อมีกลิ่นเหม็นหืน ซึ่งมีผลต่อคุณภาพเนื้อด้านต่างๆ เช่น กลิ่นและรสชาติ โครงสร้างกล้ามเนื้อ คุณค่าทางโภชนะของอาหาร (ชัยณรงค์, 2529) การทดสอบปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เป็นการหาค่า thiobarbituric acid number (TBA number) ค่าที่ได้รายงานเป็น มิลลิกรัมของ malondialdehyde ต่อกิโลกรัมตัวอย่างที่ทดสอบ malondildehyde จะเกี่ยวข้องกับผลการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกรดไขมันจำพวก polyunsaturated fatty acid และทำปฏิกิริยากับสารละลาย TBA ได้เป็นสีชมพู-แดง ซึ่งเกิดจากสารละลาย TBA 2 โมล และ malondialdehyde 1 โมล และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ระดับความยาวคลื่น 530 – 532 นาโนเมตร (Rossell, 1994)

จากการศึกษาค่าการหืนในเนื้อสุกรทั้ง 5 กลุ่มการทดลอง ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่พบว่ากลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 12 ppm มีค่าการหืนต่ำกว่ากลุ่มควบคุม แต่จากผลการทดลองนี้ยังพบว่าการเสริมสารซัลบูทามอลในระดับที่สูง (16 ppm) ทำให้ค่าการหืนสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ แต่ก็ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 8 ppm และกลุ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ควบคุม นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยา oxidation ของเนื้อยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีด้านปริมาณของไขมันในเนื้อ ซึ่งมีความแปรผันโดยตรงต่อค่า TBA number ในเนื้อ (ปัทมา, 2544)

ส่วนด้านปริมาณคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ของการทดลองพบว่า กลุ่มควบคุมมีปริมาณคอเลสเตอรอลสูงกว่ากลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 4, 12 และ 16 ppm ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลมีปริมาณคอเลสเตอรอลลดลงมีค่าเท่ากับ 7.49, 8.10 และ 7.43% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และปริมาณไตรกลีเซอไรด์ พบว่า เนื้อสุกรกลุ่มที่เสริมสารซัลบูทามอลระดับ 8 ppm มีปริมาณไตรกลีเซอไรด์สูงที่สุด ($P<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมสารระดับ 16 ppm ซึ่งปริมาณคอเลสเตอรอลและปริมาณไตรกลีเซอไรด์นั้นเกี่ยวข้องกับปริมาณการสะสมไขมันในกล้ามเนื้อ มีการศึกษาถึงผลของสารเบต้า-อะโกนิสต์ที่มีผลในการลดการสะสมปริมาณไขมันในกล้ามเนื้อ Yen *et al.* (1990) พบว่าสารซัลบูทามอล มีผลในการเพิ่มน้ำหนักของกล้ามเนื้อ ซึ่งจะแปรผกผันกับการสะสมไขมันในร่างกาย (สัญชัย, 2547) โดย Zhou and Han (1994) cited by González-Alvarado *et al.* (2000) พบว่าซัลบูทามอล มีผลทำให้น้ำหนักและเปอร์เซ็นต์ไขมันช่องท้องลดลง จึงมีผลต่อปริมาณคอเลสเตอรอล และแปรผันโดยตรงต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์ จากการศึกษาของ Uttaro *et al.* (1993); Perkins *et al.* (1992); cited by Moody *et al.* (2000) รายงานว่าการเสริมแรคโตพามีนในสุกรเพศผู้ตอนจะลดปริมาณคอเลสเตอรอลในกล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi*) ถึง 14% แต่จะไม่มีผลต่อสุกรเพศเมีย เมื่อศึกษาถึงความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่เสริมสารแรคโตพามีน และกลุ่มควบคุม โดยไม่ศึกษาถึงความแตกต่างระหว่างเพศ พบว่ากลุ่มที่เสริมสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลลงถึง 8.6% ซึ่ง Perkin *et al.* (1992) cited by Moody *et al.* (2000) รายงานว่าการเสริมแรคโตพามีนที่ระดับ 10 และ 20 มก. จะลดปริมาณคอเลสเตอรอลในกล้ามเนื้อสันนอกได้ประมาณ 9%

การตกค้างของสารซัลบูทามอลในเนื้อสุกร และอวัยวะภายใน (ตับ, ไต)

จากการศึกษาการตกค้างของสารซัลบูทามอลในเนื้อสุกร และอวัยวะภายใน สามารถตรวจสอบได้หลายวิธี และการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เทคนิค High performance liquid chromatography หรือ HPLC ในการตรวจหาชนิดและปริมาณของสารด้วยเครื่อง HPLC-Fluorescence Detector ซึ่งการทดลองนี้ได้งดใช้สารซัลบูทามอล ก่อนเข้าฆ่าเป็นเวลา 5 วัน โดยปริมาณการตกค้างของสารซัลบูทามอล ตามระดับการเสริมที่ 0, 4, 8, 12 และ 16 ppm พบว่ามีปริมาณการตกค้างในเนื้อ ตับ และ ไต จะเพิ่มขึ้นตามระดับของการเสริมสารซัลบูทามอล ($P<0.01$) จากผลการทดลองจะพบว่าการตกค้างของสารซัลบูทามอล ที่พบในกลุ่มควบคุม อาจเป็นผลเนื่องมาจากในการวิเคราะห์หา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณการตกค้าง เป็นไปได้ว่าอาจมีสารที่คล้ายคลึงกับสารซัลบูทามอล (analog) และอาจมีสาเหตุมาจากอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรทดลอง (ในการทดลองนี้ไม่ได้ผสมอาหารเอง)

การตรวจหาการตกค้างของสารซัลบูทามอล จะพบมากในตับและไต ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ชูพงษ์ (2539) พบปริมาณการตกค้างของสารซัลบูทามอล มากที่สุดในตับคือ 2,210 และ 2,236 นาโนกรัม/น้ำหนักตับ 1 กรัม เมื่อสุกรได้รับสารซัลบูทามอล ระดับ 6 และ 3 ppm ในอาหาร ตามลำดับ เป็นเวลานานกว่า 50 วัน โดยไม่งดใช้ยาก่อนฆ่า รองลงมาคือไต (1,000.30 และ 1,070.20 นาโนกรัม/น้ำหนักไต 1 กรัม) และพบในพลาสมา (94.45 และ 60.32 นาโนกรัม/ พลาสมา 1 มิลลิลิตร) ส่วนบริเวณกล้ามเนื้อและไขมัน พบว่า ปริมาณการตกค้างต่ำกว่า 10 นาโนกรัม/น้ำหนัก 1 กรัม ทั้งนี้ ปริมาณการตกค้างมีแนวโน้มลดลงกว่าครึ่งหนึ่งจากเดิมเมื่อหยุดการใช้สารซัลบูทามอล เป็นระยะเวลา 7 วัน ก่อนการฆ่า และจากการศึกษาของ Collin *et al.* (1994) ได้ทำการศึกษาการขับออกของสารซัลบูทามอลในปัสสาวะของสุกรที่ได้รับสารซัลบูทามอล ขนาด 5 ppm นาน 15 และ 30 วัน โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC พบการขับออกของสารทางปัสสาวะในระดับ 388.7 และ 1,404.1 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ

นอกจากนี้ Cromwell *et al.* (1988) ได้ศึกษาการงดใช้ cimaterol (0.25 ppm) ที่ระยะเวลา 1, 3 และ 5 วันก่อนการส่งสุกรเข้าโรงฆ่า พบว่าการงดใช้ cimaterol ไม่ส่งผลทำให้น้ำหนักตัว น้ำหนักซากอุ่น น้ำหนักซากเย็น และเปอร์เซ็นต์ซากตัดแต่ง แตกต่างจากกลุ่มที่ไม่มีการงดใช้ รวมถึงความหนาไขมันสันหลัง พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงทั้งหมด ก็ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มที่มีการงดใช้ 1, 3 และ 5 วัน ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นเพราะช่วงระยะเวลาการงดใช้ดังกล่าวยังมีปริมาณของสารกลุ่ม β-adrenergic agonist สะสมในเนื้อเยื่อ และมีการปลดปล่อยออกมา ยังผลทำให้สัตว์คงความสามารถในการสลายไขมันได้ ส่วนในด้านการสะสมโปรตีนสัตว์ยังคงไม่แตกต่างในแง่การสะสมโปรตีนที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อสรุปว่า การงดใช้สาร β-adrenergic agonist ควรจะมีระยะเวลานานเท่าใด จึงจะมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ในการพิจารณาระดับของ β-adrenergic agonist ในเนื้อเยื่อสัตว์ต่อความปลอดภัยในการบริโภค Mayer and Rinke (1991) ได้เสนอว่า ระดับการตกค้างของสารกลุ่ม β-adrenergic agonist ในเนื้อเยื่อของสัตว์นั้น เมื่อคำนวณเป็นปริมาณที่คนปกติบริโภค แล้วควรจะมีระดับต่ำกว่า 100 เท่าของระดับที่คนปกติสามารถรับได้ นั่นคือ ในกรณีของสารซัลบูทามอล คนปกติสามารถรับสารซัลบูทามอลได้ในระดับ 200 กรัม/วัน (จากการใช้เพื่อการศึกษาในคน 8-10 มิลลิกรัม/ครั้ง วันละ 2 ครั้ง หรือ 16-20 มิลลิกรัม/วัน) อย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานการยอมรับการตกค้างของสารเคมีหรือยาในเนื้อ หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ด้านผลข้างเคียงจากการได้รับสารซัลบูทามอลในปริมาณสูงเกินระดับที่กำหนด ซึ่งจากการกำหนดค่ามาตรฐานของยุโรป ให้มีปริมาณการตกค้างของสาร clenbuterol ในเนื้อเยื่อที่กินได้ห้ามเกินกว่า 5 ppb (Smith, 2000 and Kuiper *et al.*, 1998) และได้มีการกำหนดมาตรฐานที่ใช้สารเบต้า-อะโกนิสต์ในม้า โค และสัตว์เลี้ยงชนิดอื่นๆ เพื่อใช้ในการรักษาโรคที่ระดับ 1.5 ppb ต่อน้ำหนักตัวต่อวัน ในม้า และห้ามใช้ติดต่อกันเกิน 10 วัน (Boenisch and Quirke, 1992; cited by Kuiper *et al.*, 1998) หากบริโภคกล้ามเนื้อที่มีสารเบต้า-อะโกนิสต์ตกค้างในเนื้อเป็นเวลานาน จะเกิดการออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทส่วนกลางทำให้มีอาการหวาดกลัว กระวนกระวายใจ หัวใจเต้นถี่ นอนไม่หลับ มึนงงสับสน คลื่นไส้อาเจียน กล้ามเนื้อสั่นพลิ้ว นอกจากนี้อาจทำให้ความดันต่ำ เวียนศีรษะหรือเป็นลม หากได้รับในปริมาณมาก อาจทำให้เสียชีวิตได้ เนื่องจากหัวใจเต้นผิดปกติ โดยเฉพาะคนที่ป่วยด้วยโรคหัวใจ โรคเบาหวาน และสตรีมีครรภ์ ควรหลีกเลี่ยง แต่มีรายงานว่า ไม่พบการเกิดภาวะความเป็นพิษต่อทารกในครรภ์ (teratogenic effect) (Smith, 1998)

สำหรับผลข้างเคียงของสารซัลบูทามอลต่อผู้บริโภคยังไม่มีการรายงานอย่างเป็นทางการ แต่ได้มีรายงานว่า สารซัลบูทามอล และสารเร่งเนื้อแดงที่มีความเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัมของสาร สามารถทำให้เซลล์เกิดการตายแบบ necrosis โดยเมื่อวัดค่าเฉลี่ยของความยาวหางเซลล์เม็ดเลือดขาว (comet length) พบว่าความยาวของ comet length มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น (สันติ, 2544) เมื่อนำน้ำที่สกัดได้จากเนื้อสุกรที่ได้รับการเสริมสารซัลบูทามอลระดับ 0, 4, 8, 12 และ 16 ppm มาทดสอบกับเซลล์เม็ดเลือดขาวของคนสุขภาพปกติ พบว่า น้ำที่สกัดได้จากเนื้อสุกรที่ได้รับสารซัลบูทามอลในระดับต่างๆ สามารถเหนี่ยวนำให้เซลล์เกิดการตายแบบ apoptosis ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมสารซัลบูทามอล และเมื่อวัดความยาวหางของเซลล์เม็ดเลือดขาวพบว่า ความยาวหางของเม็ดเลือดขาวเพิ่มขึ้นตามระดับที่เสริมสารซัลบูทามอล (Figure 17-23) (พิลาสลักษณ์, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

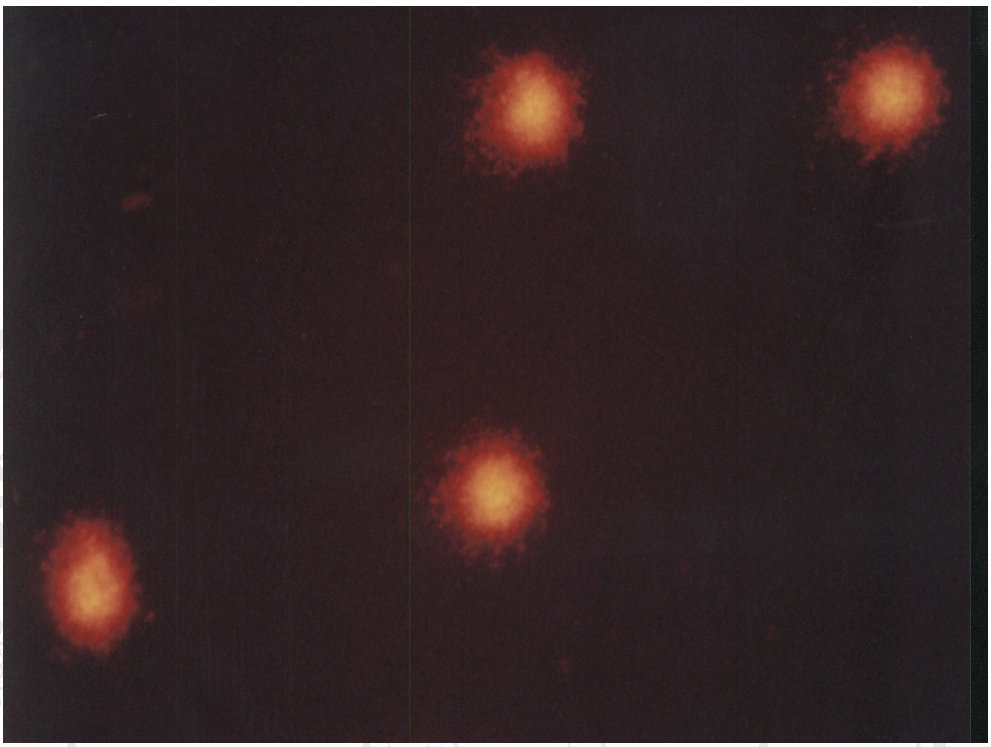

Figure 17 แสดงเซลล์ lymphocytes ซึ่งเป็น Negative control

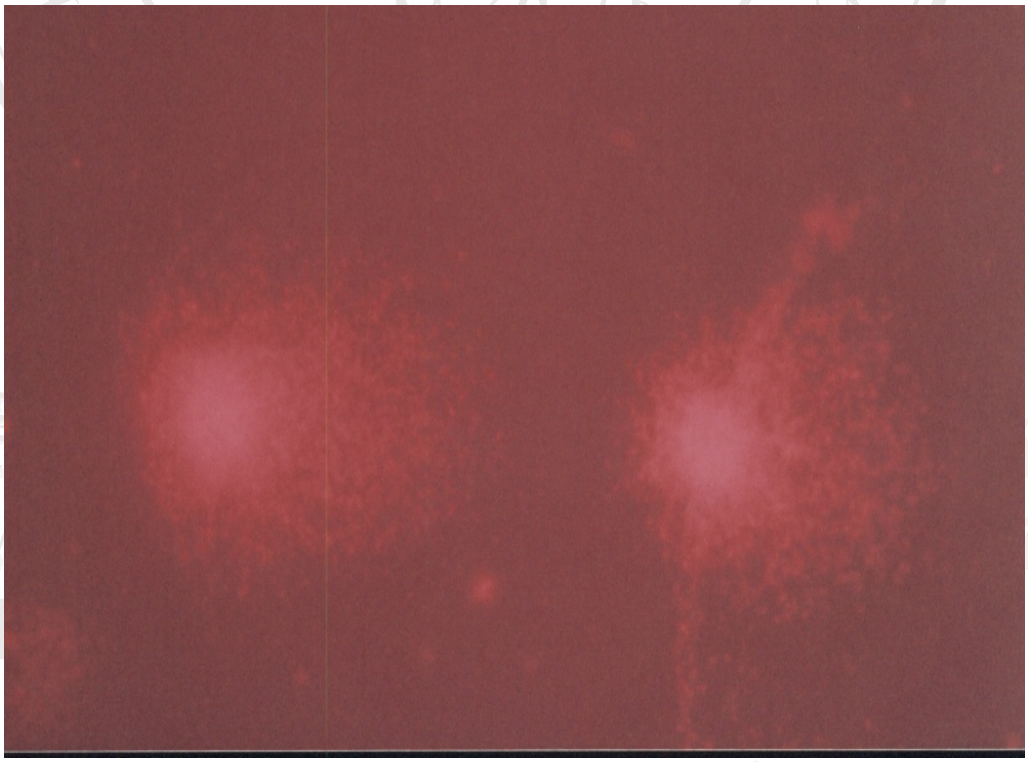

Figure 18 แสดงลักษณะการเกิด apoptosis ของเซลล์ lymphocyte ที่ทดสอบด้วย blank (ชุดควบคุมที่เป็นสารเคมีที่ใช้ในการสกัดเนื้อสุกร)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

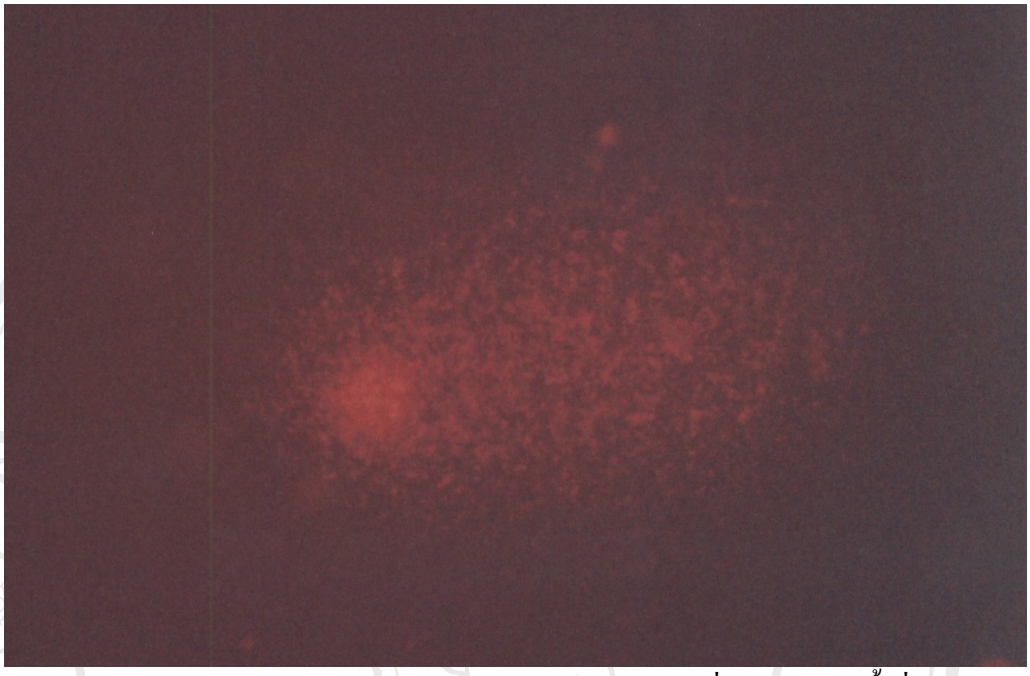

Figure 19 แสดงลักษณะการเกิด apoptosis ของเซลล์ lymphocyte ที่ทดสอบด้วยน้ำที่สกัดได้จากเนื้อสุกรที่ได้รับการเสริมสารซัลบูทามอลระดับ 0 ppm (กลุ่มควบคุม)

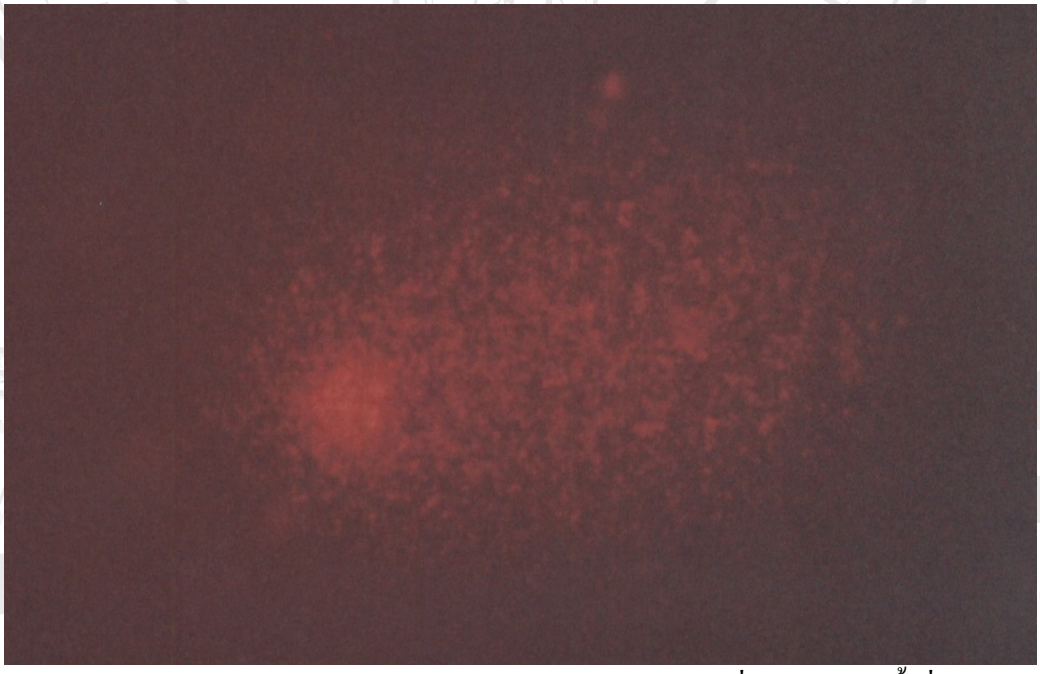

Figure 20 แสดงลักษณะการเกิด apoptosis ของเซลล์ lymphocyte ที่ทดสอบด้วยน้ำที่สกัดได้จากเนื้อสุกรที่ได้รับการเสริมสารซัลบูทามอลระดับ 4 ppm

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

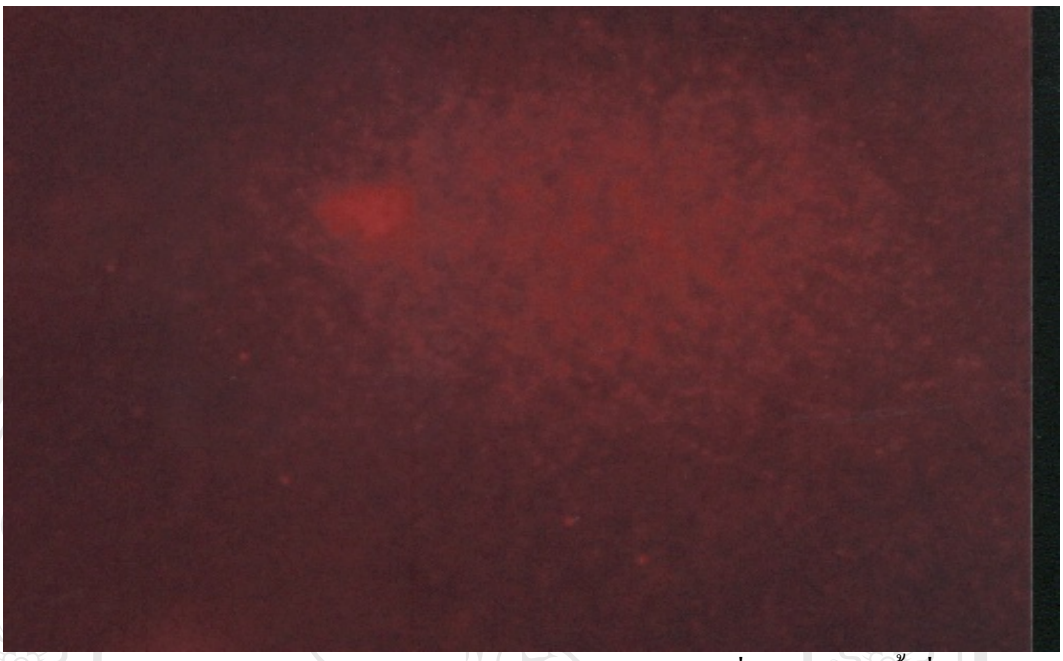

Figure 21 แสดงลักษณะการเกิด apoptosis ของเซลล์ lymphocyte ที่ทดสอบด้วยน้ำที่สกัดได้จากเนื้อสุกรที่ได้รับการเสริมสารซัลบูทามอลระดับ 8 ppm

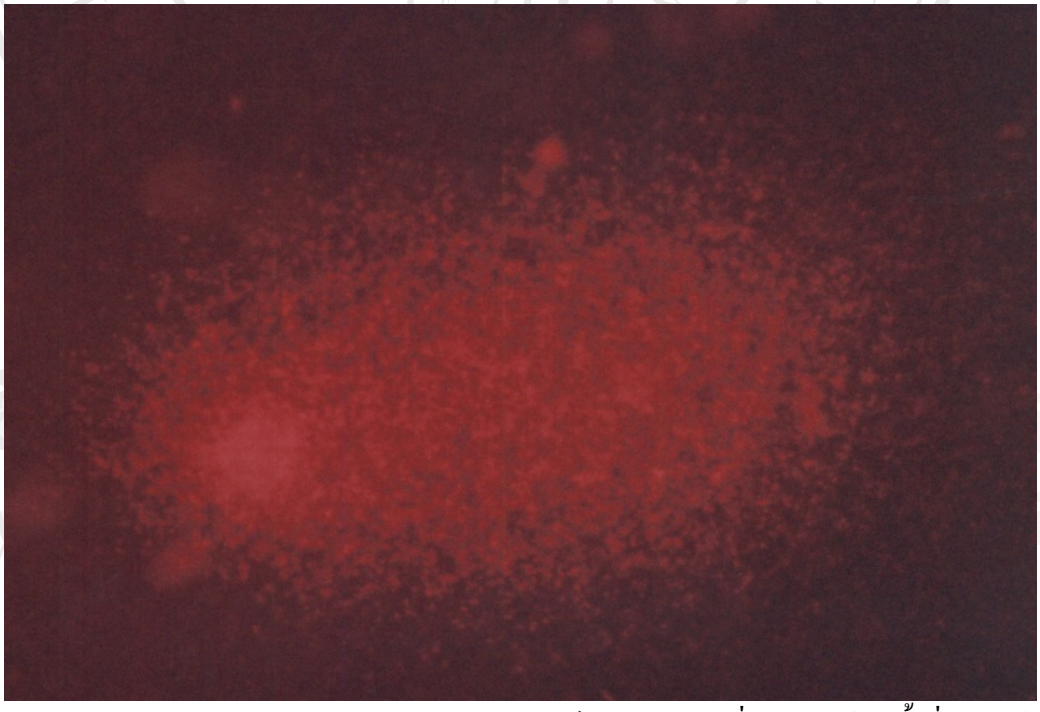

Figure 22 แสดงลักษณะการเกิด apoptosis ของเซลล์ lymphocyte ที่ทดสอบด้วย น้ำที่สกัดได้จากเนื้อสุกรที่ได้รับการเสริมสารซัลบูทามอลระดับ 12 ppm

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

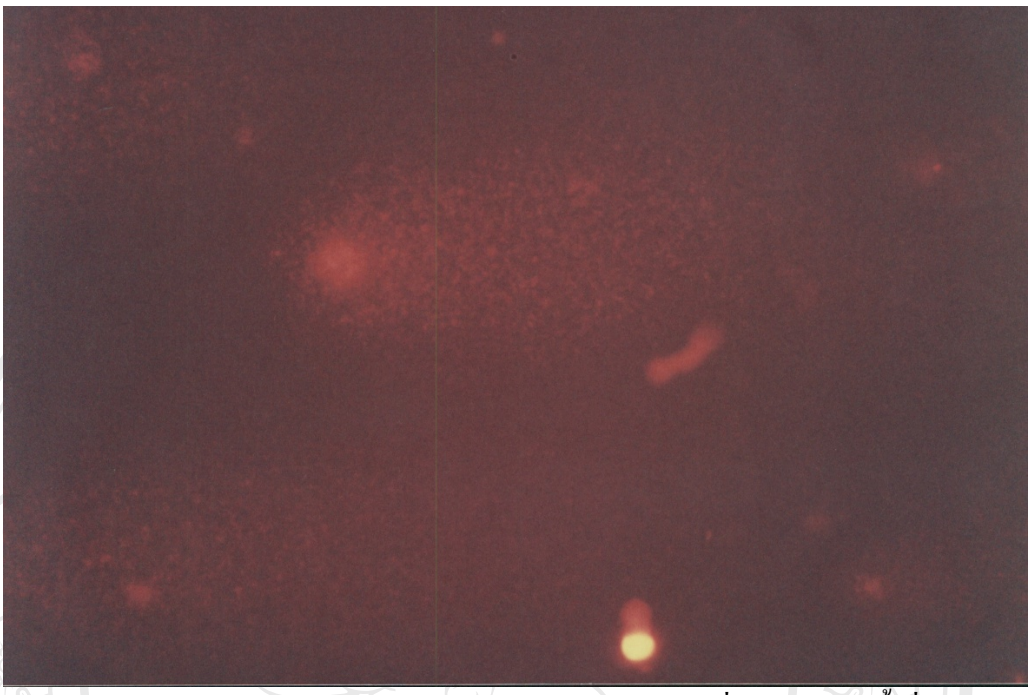

Figure 23 แสดงลักษณะการเกิด apoptosis ของเซลล์ lymphocyte ที่ทดสอบด้วยน้ำที่สกัดได้จากเนื้อสุกรที่ได้รับการเสริมสารซัลบูทามอลระดับ 16 ppm

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved