บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สุขภาพทั่วไป การกินอาหาร และการเจริญเติบโต

ในระหว่างการทดลอง แพะทดลองในกลุ่มควบคุมเป็นปกติดีตลอดการทดลอง ส่วนแพะทดลองในกลุ่มเสริมทองแดง 20 ppm (+ Cu 20 ppm) ตายหนึ่งตัวในวันที่ 143 ของการทดลอง เนื่องจากอุบัติเหตุศรีษะไปขัดกับกรงในเวลากลางคืน แพะที่เหลือมีสุขภาพดีจนสิ้นสุดการทดลอง แต่แพะทดลองในกลุ่มเสริมทองแดง 50 ppm (+ Cu 50 ppm) ตายสองตัว ในวันที่ 84 และ 119 ของการทดลอง ก่อนตายทั้งสองตัวมีอาการเบื่ออาหาร ซึม ไม่มีแรง จากรายงานผลการตรวจทางพยาธิวิทยาจากศูนย์ชันสูตรโรคสัตว์ภาคเหนือสัณนิษฐานว่าทั้งสองตัวน่าจะตายเนื่องจากการติดเชื้อที่ปอด เนื่องจากตรวจพบวิการของ fibrinopurulent pleuropneumonia และการตรวจทางแบคทีเรียพบเชื้อ *Moraxella* spp. และยีสต์จากทุกอวัยวะภายในที่ส่งตรวจ ร่วมกับการมีสภาพร่างกายที่อ่อนแอจากการได้รับอาหารไม่เพียงพอ แพะที่ตายทั้งสองตัวไม่พบลักษณะวิการที่แสดงความเป็นพิษที่เกิดจากทองแดง แพะอีกหนึ่งตัวในกลุ่มนี้แสดงอาการซึม กินอาหารลดลง แต่ยังคงมีชีวิตจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนแพะตัวสุดท้ายยังคงสุขภาพดี เมื่อสิ้นสุดการทดลองได้ฆ่าแพะที่เหลือทุกตัวในทุกกลุ่มเพื่อชันสูตรซาก ปรากฏว่าไม่พบลักษณะสำคัญที่น่าจะเกิดจากความเป็นพิษที่เกิดจากทองแดง ได้แก่ ภาวะดีซ่านที่เนื้อเยื่อใต้หนังและไขมัน การเปลี่ยนแปลงลักษณะของตับ ไต และถุงน้ำดี หลังจากการชันสูตรซากแล้ว ได้เก็บชิ้นส่วนอวัยวะภายใน ได้แก่ ตับ ไต และม้าม นำไปวัดความเข้มข้นของทองแดง ซึ่งผลการวัดจะได้กล่าวในส่วนต่อไป แพะทดลองในกลุ่ม + Cu 50 ppm ที่ตายทั้งสองตัวสืบเนื่องจากการกินอาหารได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการทำให้ร่างกายอ่อนแอจนติดเชื้อ แสดงถึงผลกระทบจากปริมาณทองแดงที่เสริมลงในอาหารที่ระดับสูงกว่ากลุ่มอื่น ทำให้อาหารมีความน่ากินต่ำ สัตว์กินอาหารได้น้อย ดังนั้นการเสริมทองแดงในอาหารแพะที่ระดับ 50 ppm จึงเสี่ยงต่อการเกิดผลเสียหายต่อสุขภาพของแพะ

การกินอาหารและการเพิ่มน้ำหนักตัวของแพะทดลองแสดงในตารางที่ 7 ทั้งสามกลุ่มมีปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยกลุ่ม + Cu 20 ppm กินอาหารเฉลี่ยต่อวันมากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มควบคุม และกลุ่ม + Cu 50 ppm กินอาหารเฉลี่ยต่ำที่สุด (487.27 $\pm$ 90.08, 388.45 $\pm$ 159.34 และ 258.51 $\pm$ 144.02 ก./วัน ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาปริมาณ

อาหารที่กินได้ในแต่ละระยะทดลองดังรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่ม + Cu 20 ppm มีแนวโน้มการกินอาหารเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ขณะที่กลุ่ม + Cu 50 ppm มีแนวโน้มการกินอาหารลดลงตั้งแต่เริ่มการทดลอง และเนื่องจากแพะสองตัวในกลุ่มนี้ตายระหว่างการทดลองดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น ค่าเฉลี่ยการกินอาหารในช่วง 90-150 วันจึงเป็นค่าเฉลี่ยจากแพะสองตัวที่เหลือ

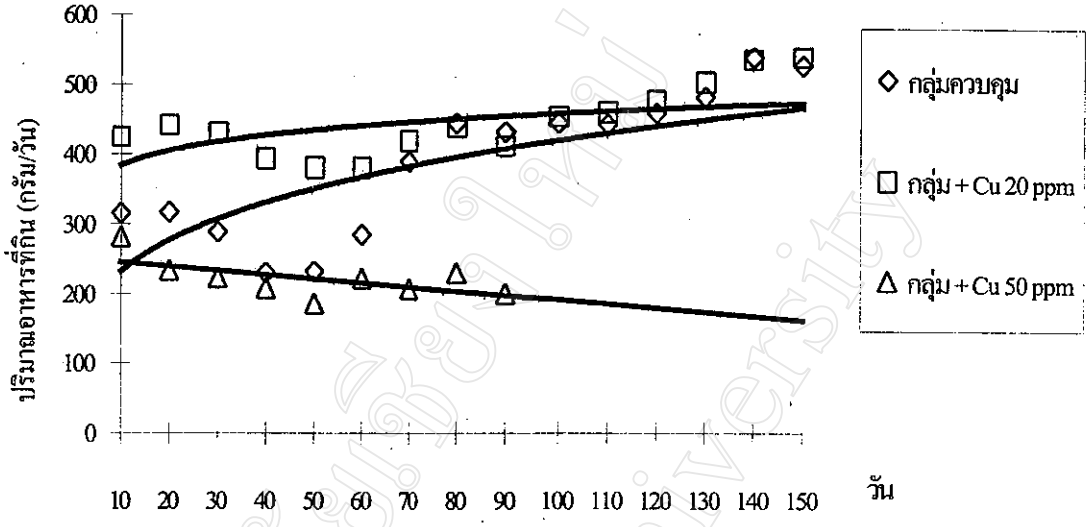
เมื่อพิจารณาปริมาณอาหารที่กินได้คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักตัว พบว่า การกินอาหารของกลุ่มควบคุมและกลุ่ม + Cu 20 ppm เท่ากับ 2.45 และ 2.64 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตาม แนวโน้มการกินอาหารคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักตัวในแต่ละระยะทดลองของกลุ่มควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนกลุ่ม + Cu 20 ppm กลับมีแนวโน้มลดลง แต่ทั้งสองกลุ่มกินอาหารได้ในระดับที่เพียงพอความต้องการ (ค่าปกติประมาณร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักตัว) และมากกว่ากลุ่ม + Cu 50 ppm ซึ่งกินอาหารได้เพียงร้อยละ 1.92 ของน้ำหนักตัวเท่านั้น ($P < 0.05$)

ตารางที่ 7 การกินอาหาร (ก./วัน และร้อยละของน้ำหนักตัว) และอัตราการเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ย (ก./วัน) ของแพะทดลองในระยะต่าง ๆ

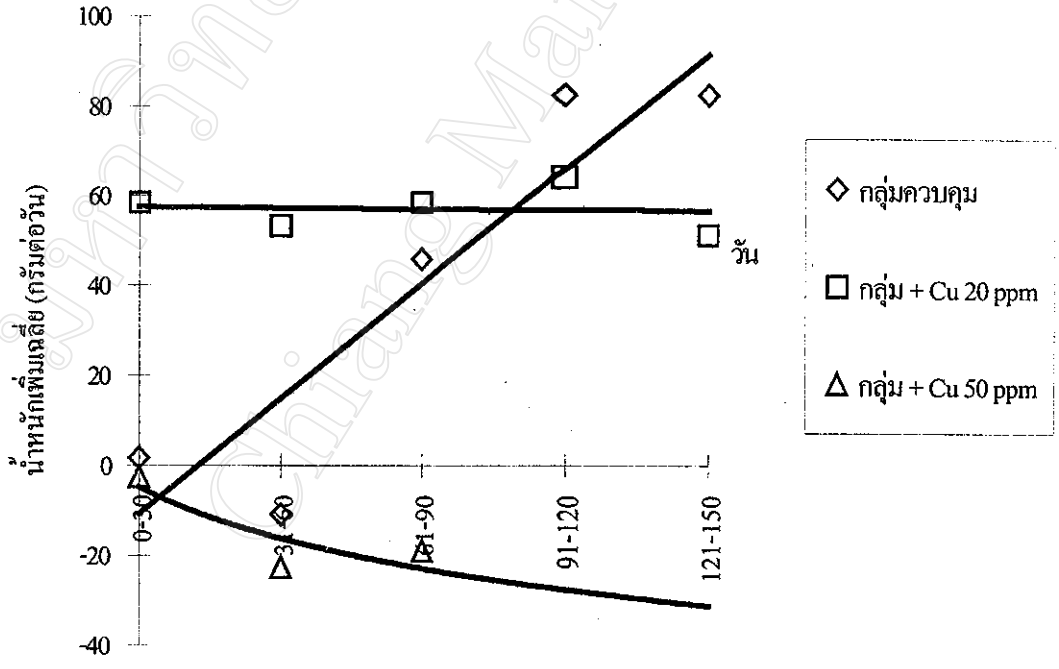
	วันที่					
	0-30	**30-60**	**60-90**	**90-120**	**120-150**	**เฉลี่ย ± SD**
ปริมาณอาหารที่กินได้เฉลี่ย (วัตถุแห้ง ก./วัน)						
กลุ่มควบคุม	306.92	248.75	422.33	448.67	515.58	388.45 ± 159.34[a]
กลุ่ม + Cu 20 ppm	444.42	442.50	492.25	511.58	550.44	487.27 ± 90.08[b]
กลุ่ม + Cu 50 ppm	265.00	226.58	214.71	272.21*	358.17*	258.51 ± 144.02[c]
ร้อยละของน้ำหนักตัว (วัตถุแห้ง)						
กลุ่มควบคุม	2.27	1.89	2.84	2.53	2.73	2.45 ± 0.38[a]
กลุ่ม + Cu 20 ppm	2.93	2.63	2.66	2.50	2.47	2.64 ± 1.80[a]
กลุ่ม + Cu 50 ppm	1.91	1.67	1.78	2.06*	2.17*	1.92 ± 0.20[b]
อัตราการเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ย (ก./วัน)						
กลุ่มควบคุม	1.67	-10.83	45.83	82.5	82.5	40.33 ± 55.31[a]
กลุ่ม + Cu 20 ppm	58.33	53.33	58.33	64.17	51.11	57.37 ± 24.84[a]
กลุ่ม + Cu 50 ppm	-2.5	-22.5	-18.87	15.55*	1.67*	-6.00 ± 60.16[b]

[a, b, c] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

* เฉลี่ยจากแพะสองตัวที่ยังมีชีวิต



รูปที่ 7 ปริมาณอาหารที่กินของแพะที่ได้รับทองแดงระดับต่าง ๆในแต่ละระยะของการทดลอง



รูปที่ 8 น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยของแพะที่ได้รับทองแดงระดับต่าง ๆในแต่ละระยะของการทดลอง

การกินอาหารของแพะที่ยังมีชีวิตจนสิ้นสุดการทดลองสองตัวในกลุ่ม + Cu 50 ppm มีแนวโน้มการกินอาหารต่างกัน ตัวหนึ่งกินอาหารลดลงตลอดการทดลอง แต่อีกตัวหนึ่งแม้จะกินอาหารได้น้อยเมื่อเริ่มการทดลอง แต่มีแนวโน้มกินอาหารได้เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการทดลองไป 60 วัน แสดงถึงความสามารถในการปรับตัวต่ออาหารที่มีทองแดงระดับสูงที่ไม่เท่ากันของแพะแต่ละตัว ซึ่ง Haque *et al.* (1993) รายงานว่า แม้ความต้องการและความต้านทานต่อทองแดงในอาหารของสัตว์แต่ละชนิดจะขึ้นกับปัจจัยทางสรีระของสัตว์แต่ละชนิดเป็นหลัก แต่ก็พบว่าสัตว์พันธุ์เดียวกัน อายุใกล้เคียงกัน และเลี้ยงในสภาพแวดล้อมปกติก็ยังมีความแปรปรวนภายในกลุ่มค่อนข้างสูง

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวโดยเฉลี่ยของแพะทดลองในกลุ่มควบคุมและกลุ่ม + Cu 20 ppm พบว่า แพะทดลองมีน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ (40.33 และ 57.37 ก./วัน ตามลำดับ) แม้จะมีแนวโน้มว่ากลุ่ม + Cu 20 ppm จะมีอัตราการเพิ่มน้ำหนักมากกว่า โดยเฉพาะในช่วง 90 วันแรกของการทดลอง แต่ช่วง 90-150 วัน กลุ่มควบคุมกลับมีแนวโน้มการเพิ่มน้ำหนักได้มากกว่า ในรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มน้ำหนักของกลุ่ม + Cu 20 ppm ค่อนข้างคงที่ ขณะที่กลุ่มควบคุม เพิ่มน้ำหนักได้ดีขึ้น ส่วนแพะในกลุ่ม + Cu 50 ppm น้ำหนักตัวลดลงเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ -6.00 $\pm$ 60.16 ก./วัน ต่ำกว่าสองกลุ่มแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แพะในกลุ่มนี้มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยลดลง เพราะกินอาหารได้น้อยตั้งแต่เริ่มทดลอง ผลการทดลองนี้ขัดแย้งกับการทดลองของ Zervas *et al.* (1991) ซึ่งทดลองเสริมทองแดงให้ลูกแพะอายุ 12 สัปดาห์ ที่ระดับ 0, 30 และ 60 ppm เป็นเวลา 20 สัปดาห์ คณะวิจัยรายงานว่าไม่พบความแตกต่างของการกินอาหารและการเติบโตของแพะทั้งสามกลุ่ม ผลการศึกษาที่ต่างกันนี้อาจจะเนื่องจากอายุของแพะที่ใช้ทดลอง การทดลองนี้แพะมีอายุเฉลี่ย 45 สัปดาห์ สูงกว่าแพะทดลองของ Zervas *et al.* (1991) ซึ่งลูกแพะที่อายุน้อยอาจจะปรับตัวต่ออาหารที่มีทองแดงระดับสูงได้ดีกว่าแพะที่อายุมาก

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณทองแดงที่แพะทดลองในแต่ละกลุ่มได้รับ (ตารางที่ 8) พบว่า การได้รับทองแดงของแพะในกลุ่มควบคุม และกลุ่ม + Cu 20 ppm มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.52 $\pm$ 0.98 และ 14.03 $\pm$ 1.32 ม.ก./วัน ตามลำดับ ความแตกต่างของปริมาณทองแดงที่ได้รับนี้มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ภายในกลุ่มของทั้งสองกลุ่มแพะทดลองได้รับทองแดงแตกต่างกันไม่มาก โดยในกลุ่มควบคุมแพะได้รับทองแดงอยู่ในช่วง 2.31 – 4.06 ม.ก./วัน และกลุ่ม + Cu 20 ppm ได้รับในช่วง 12.37 – 15.79 ม.ก./วัน ส่วนกลุ่ม + Cu 50 ppm ปริมาณทองแดงที่ได้รับมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.32 ม.ก./วัน แพะทดลองกลุ่มนี้ได้รับทองแดงในช่วงตั้งแต่ 9.60 – 22.75 ม.ก./วัน ซึ่งมีความแปรปรวนมาก ดังนั้นแม้ค่าเฉลี่ยการได้รับทองแดงของแพะกลุ่ม + Cu 20 และ 50 ppm จะไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ผลกระทบที่เกิดกับแพะแต่ละกลุ่มกลับต่างกันมาก

ตารางที่ 8 ปริมาณทองแดงเฉลี่ยที่แพะได้รับ (ม.ก./วัน)

		วันที่					
	ตัวที่	1-30	31-60	61-90	91-120	121-150	เฉลี่ย ± SD
กลุ่มควบคุม	1	3.10	1.37	2.06	1.64	3.38	2.31 ± 0.88
	2	3.31	2.89	4.27	4.83	4.98	4.06 ± 0.92
	3	2.48	2.25	4.66	5.01	5.40	3.96 ± 1.48
	4	2.22	2.50	4.29	4.76	4.90	3.73 ± 1.27
	เฉลี่ย	2.78	2.25	3.82	4.06	4.67	3.52 ± 0.98[a]
กลุ่ม + Cu	1	14.44	12.29	12.69	14.81	15.51	13.95 ± 1.39
20 ppm	2	11.77	10.69	12.97	12.88	13.53	12.37 ± 1.13
	3	11.56	12.41	14.71	15.05	16.39[1/]	14.02 ± 1.98
	4	13.32	15.48	16.22	16.08	17.85	15.79 ± 1.63
	เฉลี่ย	12.77	12.72	14.15	14.70	15.82	14.03 ± 1.32[b]
กลุ่ม + Cu	1	20.22	22.51	9.77	11.43	12.75	15.34 ± 5.65
50 ppm	2	16.24	13.34	25.36	29.22	29.60	22.75 ± 7.52
	3	13.91	8.85	9.87	5.76[2/]		9.60 ± 3.36
	4	12.30	8.89	7.62[3/]			9.60 ± 2.41
	เฉลี่ย	15.67	13.40	13.16	15.47	21.17	14.32 ± 3.23[b]

[a, b] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

[1/, 2/ และ 3/] คำนวณจากจำนวนวันก่อนแพะเสียชีวิต 23, 29 และ 24 วัน ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าปริมาณทองแดงที่แพะได้รับมีผลกระทบต่อการกินอาหารและการเติบโต ซึ่งเห็นได้จากแพะกลุ่ม + Cu 50 ppm ซึ่งได้รับทองแดงจากอาหารเมื่อเริ่มทดลองสูงที่สุด (ในช่วง 30 วันแรกเฉลี่ย 15.67 ม.ก./วัน) การได้รับทองแดงระดับสูงอย่างรวดเร็วอาจจะส่งผลกระทบต่อการกินอาหาร ทำให้แพะในกลุ่มนี้กินอาหารได้น้อย แต่ผลกระทบนี้ไม่เกิดกับแพะทดลองในกลุ่ม + Cu 20 ppm แม้ว่าในช่วงปลายของการทดลอง (121 – 150 วัน) จะได้รับทองแดงในระดับ 15.87 ม.ก./วันเช่นกัน แต่กลับไม่มีผลต่อการกินอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากแพะกลุ่มนี้มีเวลาปรับตัวในการได้รับทองแดงที่นานกว่า และในลักษณะเดียวกันแพะทดลองในกลุ่ม + Cu 50 ppm สองตัวซึ่งมีชีวิตอยู่ตลอดระยะการทดลอง แพะตัวหนึ่งสามารถปรับตัวต่อการรับทองแดงระดับสูงได้ ทำให้กินอาหาร

ได้มากขึ้น ตลอดการทดลองแพะตัวนี้จึงได้รับทองแดงสูงถึง 22.75 ม.ก./วัน แต่โดยรวมแล้วผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการเสริมทองแดงระดับสูง 50 ppm ลงในอาหารแพะส่งผลกระทบในด้านลบต่อการกินอาหารและการเจริญเติบโตอย่างชัดเจน

4.2 ผลของทองแดงระดับต่าง ๆ ในอาหารต่อค่าโลหิตวิทยา

ค่าโลหิตวิทยาที่ตรวจวัดได้แก่ จำนวนเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว ปริมาณฮีโมโกลบิน และปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น การเจาะเลือดกระทำทุก ๆ 30 วัน ตารางที่ 9 แสดงผลการวัดค่าโลหิตวิทยาของแพะทดลองทั้งสามกลุ่มในแต่ละระยะของการทดลอง ผลการตรวจวัดพบว่า แพะทดลองในกลุ่มควบคุมและกลุ่ม + Cu 20 ppm มีค่าโลหิตวิทยาทุกค่าที่ตรวจวัดโดยเฉลี่ยตลอดการทดลองแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ และไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่าโลหิตวิทยาของทั้งสองกลุ่มในแต่ละระยะของการทดลอง (0, 30, 60, 90, 120 และ 150 วัน)

เมื่อพิจารณาในระยะ 60 วันแรกของการทดลอง ซึ่งแพะทดลองทุกกลุ่มยังมีจำนวนเท่ากัน (ตารางที่ 10) พบว่า กลุ่ม + Cu 50 ppm มีค่าเฉลี่ยจำนวนเม็ดเลือดแดง และฮีโมโกลบิน เท่ากับ 13.65×10^6 เซลล์/ม.ล. และ 9.36 ก./100 ม.ล. ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่ม + Cu 20 ppm อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ส่วนปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่นของกลุ่ม + Cu 50 ppm ไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม แต่ต่ำกว่ากลุ่ม + Cu 20 ppm อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ขณะที่จำนวนเม็ดเลือดขาวของทั้งสามกลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าโลหิตวิทยาเฉลี่ยของแพะในกลุ่ม + Cu 50 ppm ในแต่ละระยะการทดลอง (0, 30 และ 60 วัน) พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญเช่นกัน

การที่ค่าเฉลี่ยจำนวนเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบิน และเม็ดเลือดแดงอัดแน่นของแพะกลุ่ม + Cu 50 ppm ต่ำกว่าอีกสองกลุ่ม เป็นผลสืบเนื่องจากการกินอาหารได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย มีผลให้ประสิทธิภาพการสร้างเม็ดเลือดแดงลดลง และแม้ค่าเฉลี่ยจำนวนเม็ดเลือดขาวของทั้งสามกลุ่มจะไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยเม็ดเลือดขาวภายในกลุ่ม + Cu 50 ppm พบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งแสดงว่าเกิดการติดเชื้อขึ้นกับแพะในกลุ่มนี้ ซึ่งแพะทั้งสองตัวที่ตายระหว่างการทดลองนั้นทั้งสองตัวก็ตรวจพบว่ามีการติดเชื้อในอวัยวะภายใน

ตารางที่ 9 ค่าโลหิตวิทยาของแพะที่ได้รับทองแดงระดับต่าง ๆในแต่ละระยะของการทดลอง

	วันที่							
	0	**30**	**60**	**90***	**120***	**150***	**เฉลี่ย**	**ค่าปกติ****
เม็ดเลือดแดง (10^6 เซลล์/ม.ล.)								12-20
กลุ่มควบคุม	13.79	13.96	14.04	14.22	14.18	13.91	14.02	
กลุ่ม + Cu 20 ppm	13.91	14.25	14.01	14.43	14.21	14.54	14.21	
กลุ่ม + Cu 50 ppm	13.70	13.68	13.58	14.06	14.42	14.12	13.93	
เม็ดเลือดขาว (10^3 เซลล์/ม.ล.)								6-16
กลุ่มควบคุม	8.96	8.97	9.23	9.00	8.93	9.34	9.07	
กลุ่ม + Cu 20 ppm	8.59	8.88	8.93	8.98	9.10	8.84	8.88	
กลุ่ม + Cu 50 ppm	8.87	9.06	10.17	10.14	9.08	9.68	9.50	
ฮีโมโกลบิน (ก./100 ม.ล.)								8-14
กลุ่มควบคุม	9.56	9.52	9.60	9.49	9.43	9.52	9.52	
กลุ่ม + Cu 20 ppm	9.51	9.51	9.56	9.48	9.61	9.52	9.53	
กลุ่ม + Cu 50 ppm	9.40	9.38	9.30	9.28	9.39	9.32	9.34	
ปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (%)								24-48
กลุ่มควบคุม	29.36	29.53	29.84	29.84	29.69	29.64	29.64	
กลุ่ม + Cu 20 ppm	29.52	29.91	30.07	30.48	29.56	29.77	29.88	
กลุ่ม + Cu 50 ppm	28.80	28.71	29.63	29.65	30.06	29.50	29.39	

ค่าโลหิตวิทยาของแต่ละกลุ่มในแต่ระยะของการทดลองและค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

* ค่าเฉลี่ยของกลุ่ม + Cu 50 ppm วันที่ 90 คิดจากแพะ 3 ตัว และวันที่ 120 และ 150 คิดจากแพะ 2 ตัว

** อ้างอิงจาก Benjamin (1961)

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณทองแดงที่แพะทดลองได้รับ ในกลุ่มควบคุมและกลุ่ม + Cu 20 ppm แม้แพะทดลองของแต่ละกลุ่มจะได้รับทองแดงจากอาหารต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (3.52 และ 14.05 ก./วัน ตามลำดับ) แต่ค่าโลหิตวิทยาทุกค่าที่ศึกษาไม่แตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่า ในกลุ่ม + Cu 50 ppm แพะทดลองตัวหนึ่งได้รับทองแดงเฉลี่ยตลอดการทดลองสูงถึง 22.75 ม.ก./วัน แต่ค่าโลหิตวิทยายังคงไม่แตกต่างจากแพะตัวอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่าการได้รับทองแดงเพิ่มขึ้นไม่มีผลทำให้ค่าโลหิตวิทยาเปลี่ยนแปลง ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Howell and Gooneratne (1987) ซึ่งศึกษาผลการได้รับทองแดงระดับสูงในแกะต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าโลหิต

ตารางที่ 10 ค่าโลหิตวิทยาเฉลี่ยของแพะทดลองที่ได้รับทองแดงระดับต่าง ๆในวันที่ 0, 30 และ 60 ของการทดลอง

	เม็ดเลือดแดง (10^6 เซลล์/ม.ล.)	เม็ดเลือดขาว (10^3 เซลล์/ม.ล.)	ฮีโมโกลบิน (ก./100 ม.ล.)	ปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (%)
กลุ่มควบคุม	13.93[a]	9.06[a]	9.56[a]	29.58[ab]
กลุ่ม + Cu 20 ppm	14.06[a]	8.80[a]	9.52[a]	29.83[a]
กลุ่ม + Cu 50 ppm	13.65[b]	9.37[a]	9.36[b]	29.05[b]

[a,b] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

วิทยา พบว่าค่าโลหิตวิทยาไม่เปลี่ยนแปลง จนกว่าอาการเป็นพิษจะแสดงออกในขั้น hemolysis จึงจะพบการเปลี่ยนแปลง Theil and Calvert (1978) รายงานผลการศึกษาทำนองเดียวกันในการเสริมทองแดงที่ระดับ 20 ม.ก./ก.ก.น้ำหนักตัวต่อวันให้แกะเป็นเวลา 9 สัปดาห์ และพบว่า คุณสมบัติของเม็ดเลือดแดงไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งขนาด และปริมาณฮีโมโกลบิน เช่นกัน

4.3 ผลของทองแดงระดับต่าง ๆ ในอาหารต่อความเข้มข้นของทองแดงในซีรั่ม อวัยวะภายในและการทำงานของ ceruloplasmin

การวัดความเข้มข้นของทองแดงในซีรั่มและการทำงานของ ceruloplasmin ซึ่งตรวจวัดทุก 30 วันเช่นเดียวกับการวัดค่าโลหิตวิทยา ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 11 และ 12 ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดการทดลองของทองแดงในซีรั่มของแพะทดลองในกลุ่ม + Cu 20 มีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มควบคุม (87.83 และ 83.45 ไมโครกรัม/เดซิลิตร ตามลำดับ) แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ส่วนในกลุ่ม + Cu 50 ppm เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยวันที่ 0, 30 และ 60 กับกลุ่มควบคุมและกลุ่ม + Cu 20 ppm พบว่า ไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน (88.85, 81.65 และ 87.05 ไมโครกรัม/เดซิลิตร ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของทองแดงในซีรั่มของแพะกลุ่มที่ได้รับการเสริมทองแดงทั้งสองกลุ่มมีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มควบคุม ทองแดงที่เพิ่มขึ้นในซีรั่มนี้ Gawthorne (1987) กล่าวว่าเกิดจากการสร้างสารประกอบ trichloroacetic acid (TCA) insoluble copper ในกระแสเลือดมากขึ้น ทองแดงส่วนนี้จะจับอยู่กับโปรตีน albumin ไหลเวียนอยู่ในกระแสเลือด ร่างกายไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ตารางที่ 11 ความเข้มข้นของทองแดงเฉลี่ยในซีรั่ม (ไมโครกรัม/เดซิลิตร) ของแพะที่ได้รับทองแดงระดับต่าง ๆ ในแต่ละระยะของการทดลอง

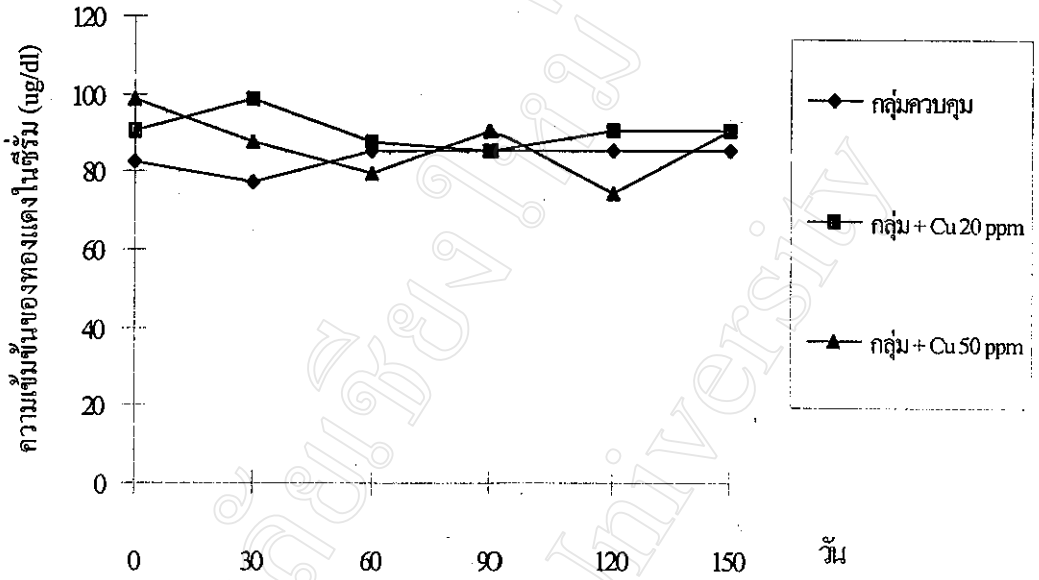
	วันที่						
	0	30	60	90	120	150	เฉลี่ย
กลุ่มควบคุม	82.55	77.16	85.25	85.25	85.25	85.25	83.45
กลุ่ม + Cu 20 ppm	90.65	82.55	87.95	85.25	90.65	90.65	87.83
กลุ่ม + Cu 50 ppm	98.74	87.95	79.86	90.65*	74.46*	90.65*	

ความเข้มข้นของทองแดงในซีรั่มของแต่ละกลุ่มที่แต่ระยะและค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

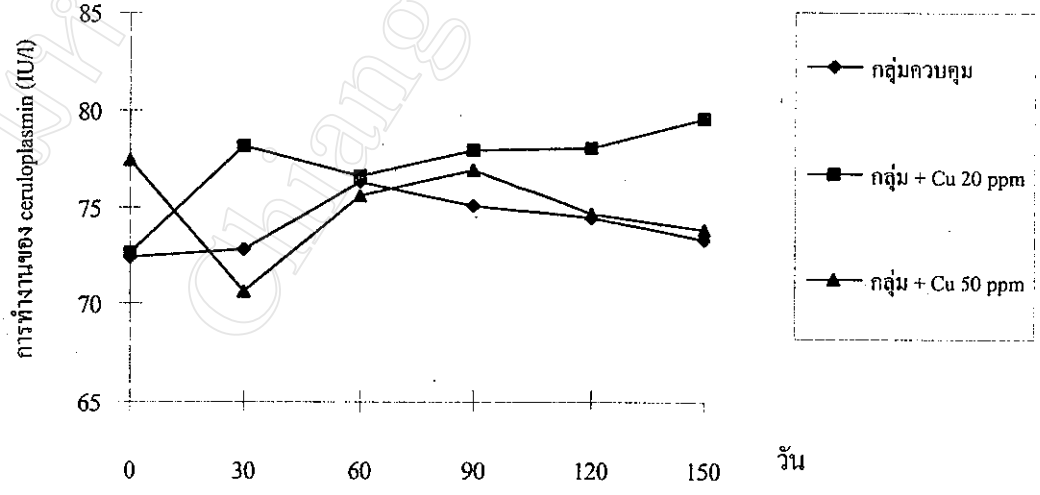
* ค่าเฉลี่ยของกลุ่ม + Cu 50 ppm วันที่ 90 คิดจากแพะ 3 ตัว และวันที่ 120 และ 150 คิดจากแพะ 2 ตัว

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของทองแดงในซีรั่มของทุกกลุ่มในแต่ละระยะของการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทุกระยะของแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วงค่าปกติซึ่งอยู่ระหว่าง 70-130 ไมโครกรัม/เดซิลิตร (รัมภา และคณะ, 2537) จากรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นของทองแดงในซีรั่มของแพะทั้งสามกลุ่มค่อนข้างคงที่ตลอดระยะการทดลอง แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของทองแดงในซีรั่ม ไม่สามารถใช้บอกภาวะการได้รับทองแดงจากอาหารได้ Ledoux *et al.* (1996) รายงานว่าระดับของทองแดงในซีรั่มจะไม่เพิ่มขึ้นสูงขึ้นจากระดับปกติ แม้ว่าสัตว์กำลังอยู่ในภาวะทองแดงเป็นพิษแบบเรื้อรัง จนกว่าสัตว์จะมีอาการถึงระดับ hemolysis ซึ่งระดับทองแดงในเลือดจะสูงขึ้นกว่าปกติ 4-10 เท่า

การทำงานของ ceruloplasmin ของแพะทดลองแสดงในตารางที่ 12 พบว่า กลุ่มควบคุมและกลุ่ม + Cu 20 ppm มีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 74.06 และ 73.82 ยูนิต/ลิตร ตามลำดับซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) การทำงานของ ceruloplasmin ในแต่ละระยะทดลองของทั้งสองกลุ่มก็แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญเช่นกัน ในช่วง 60 วันแรก ผลการเปรียบเทียบการทำงานของ ceruloplasmin ของแพะทั้งสามกลุ่ม พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ จากรูปที่ 10 จะเห็นว่าการทำงานของ ceruloplasmin ของแพะแต่ละกลุ่มในแต่ละระยะทดลองแทบจะไม่เปลี่ยนแปลง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Du *et al.* (1996a) ซึ่งศึกษาผลการเสริมทองแดงต่อ



รูปที่ 9 ความเข้มข้นของทองแดงในซีรั่มของแพะที่ได้รับทองแดงระดับต่าง ๆ ในแต่ละระยะของการทดลอง



รูปที่ 10 การทำงานของ ceruloplasmin ของแพะที่ได้รับทองแดงระดับต่าง ๆ ในแต่ละระยะของการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตารางที่ 12 การทำงานของ ceruloplasmin เฉลี่ย (ยูนิต/ลิตร) ของแพะที่ได้รับทองแดงระดับต่าง ๆ ในแต่ละระยะของการทดลอง

	วันที่						
	0	**30**	**60**	**90**	**120**	**150**	**เฉลี่ย**
กลุ่มควบคุม	72.38	72.77	76.31	75.10	74.42	73.35	74.06
กลุ่ม + Cu 20 ppm	72.63	78.15	76.55	77.91	78.00	79.59	73.82
กลุ่ม + Cu 50 ppm	77.37	70.64	75.58	76.87*	74.61*	73.84*	

การทำงานของ ceruloplasmin ของแต่ละกลุ่มที่แต่ระยะและค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

* ค่าเฉลี่ยของกลุ่ม + Cu 50 ppm วันที่ 90 คิดจากแพะ 3 ตัว และวันที่ 120 และ 150 คิดจากแพะ 2 ตัว

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของทองแดงในเลือดและการทำงานของ ceruloplasmin พบว่าแม้โคจะได้รับทองแดงที่ระดับ 80 ppm แต่ทั้งสองค่าไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง 60 วัน และได้สรุปว่าระดับความเข้มข้นของทองแดงในเลือดและการทำงานของ ceruloplasmin ไม่สามารถนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้สถานภาพของระดับทองแดงในร่างกาย เนื่องจากตัวบ่งชี้ทั้งสองไม่ตอบสนองต่อระดับทองแดงที่สัตว์ได้รับ

อวัยวะภายใน ได้แก่ ตับ ไต และม้าม ของแพะที่ตายระหว่างการทดลอง และจากการตรวจซากเมื่อสิ้นสุดการทดลอง จะถูกตัดแช่ในน้ำเกลือไร้ประจุเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -4 °c แล้วนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของทองแดง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 13 พบว่า ความเข้มข้นของทองแดงในตับของแพะในกลุ่มควบคุมน้อยกว่ากลุ่ม + Cu 20 และ 50 ppm อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.001$) (256.83 เทียบกับ 447.48 และ474.46 ม.ก./ก.ก.วัตถุแห้ง ตามลำดับ) และความเข้มข้นของทองแดงในไตของกลุ่มควบคุมน้อยกว่ากลุ่ม + Cu 20 และ 50 ppm อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยวัดได้ 25.90, 32.64 และ 30.84 ม.ก./ก.ก.วัตถุแห้ง ตามลำดับ ความเข้มข้นของทองแดงทั้งในตับและไตของแพะกลุ่ม + Cu 20 ppm มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่ม + Cu 50 ppm เล็กน้อยแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดงในม้ามของแพะทั้งสามกลุ่มพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 9.06 – 9.33 ม.ก./ก.ก.วัตถุแห้ง

ตารางที่ 13 ความเข้มข้นของทองแดงในอวัยวะภายใน (ม.ก./ก.ก. วัตถุแห้ง) ของแพะที่ได้รับทองแดงระดับต่าง ๆ

อวัยวะภายใน	กลุ่มควบคุม	กลุ่ม + Cu 20 ppm	กลุ่ม + Cu 50 ppm	
ตับ	256.84[a]	447.48[b]	474.46[b]	P < 0.001
ไต	25.90[a]	32.64[b]	30.84[b]	P < 0.05
ม้าม	9.06[a]	9.33[a]	9.33[a]	ns

[a,b] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ระดับทองแดงเฉลี่ยที่พบในตับของแพะที่ได้รับการเสริมทองแดงทั้งสองกลุ่มสูงกว่ากลุ่มควบคุมมาก แสดงให้เห็นว่าตับเป็นแหล่งสำคัญของการสะสมทองแดง ผลการทดลองนี้ปรากฏชัดเจนว่า การได้รับทองแดงในอาหารเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ทองแดงในตับของแพะสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากความเข้มข้นของทองแดงในตับของกลุ่ม + Cu 20 และ 50 ppm สูงกว่าค่าทองแดงในตับของกลุ่มควบคุม และค่าทองแดงในตับของกลุ่ม + Cu 50 ppm สูงกว่ากลุ่ม + Cu 20 ppm แม้ว่าจะไม่แตกต่างทางสถิติก็ตาม ด้วยเหตุนี้ การตรวจสอบภาวะการได้รับทองแดงของสัตว์จึงแนะนำให้พิจารณาจากความเข้มข้นของทองแดงในตับ ในโค Committee on Mineral Nutrition (1973) แนะนำว่าระดับปกติของทองแดงในตับมีค่าเท่ากับ 400 ppm วัตถุแห้ง ถ้าระดับทองแดงในตับสูงถึง 700 ppm จะเป็นระดับวิกฤตที่อาจเกิดพิษของทองแดงได้ ความเข้มข้นของทองแดงในไตมีลักษณะเดียวกับที่พบในตับ กล่าวคือ แพะกลุ่มควบคุมมีระดับทองแดงในไตต่ำกว่ากลุ่ม + Cu 20 และ 50 ppm ค่าทองแดงที่เพิ่มขึ้นน่าจะเกิดจากที่ร่างกายมีการขับทองแดงที่เกินความต้องการออกมากขึ้น โดยเฉพาะมีการสลายของ albumin ที่จับกับ TCA insoluble copper มากขึ้นใน tubular cells (Gawthorne, 1987) ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการสะสมทองแดงในตับและไตมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณทองแดงที่สัตว์ได้รับ (ค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.86 และ 0.62 ตามลำดับ) สำหรับผลการศึกษาความเข้มข้นของทองแดงในม้าม พบว่าแม้ม้ามจะเป็นอวัยวะที่มีการสะสมทองแดงแต่ความเข้มข้นของทองแดงในม้ามไม่แปรผันกับปริมาณทองแดงที่เข้าสู่ร่างกาย

4.4 ผลของทองแดงระดับต่าง ๆ ในอาหารต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน

4.4.1 การทดสอบประสิทธิภาพการทำลายแบคทีเรียของ neutrophils

การทดสอบประสิทธิภาพการทำลายแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* โดย neutrophils ของแพะทดลอง แบ่งการทดสอบเป็นสองส่วน คือ ทดสอบร้อยละของแบคทีเรียที่ถูกกินโดย neutrophils และร้อยละของแบคทีเรียที่ตายหลังจากถูกกินเข้าไป โดยเปรียบเทียบผลระหว่างกลุ่มทดลองในระยะทดลองเดียวกัน และเปรียบเทียบผลภายในกลุ่มในแต่ละระยะการทดลอง โดยวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

ผลการทดสอบพบว่าร้อยละของแบคทีเรียที่ถูกกินโดย neutrophils ในแพะทดลองกลุ่มควบคุมและกลุ่ม + Cu 20 ppm แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะทดลองเดียวกัน และภายในแต่ละกลุ่มของทั้งสองกลุ่ม พบว่า ร้อยละของแบคทีเรียที่ถูกกินในวันที่ 0, 30, 60, 90, 120 และ 150 ของการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดการทดลอง ดังผลที่แสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ร้อยละของแบคทีเรียที่ถูกกินโดย neutrophils ของแพะที่ได้รับทองแดงระดับต่าง ๆ ในแต่ละระยะของการทดลอง

	วันที่					
	0	**30**	**60**	**90**	**120**	**150**
กลุ่มควบคุม	99.26	99.85	99.85	99.58	98.51	98.32
กลุ่ม + Cu 20 ppm	99.47	99.80	99.84	99.50	99.47	98.75
กลุ่ม + Cu 50 ppm	99.19	99.93	99.80	99.76*	98.66*	98.01*

ร้อยละของแบคทีเรียที่ถูกกินโดย neutrophils ในแถวเดียวกันและในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

* ค่าเฉลี่ยของกลุ่ม + Cu 50 ppm วันที่ 90 คิดจากแพะ 3 ตัว และวันที่ 120 และ 150 คิดจากแพะ 2 ตัว

การเปรียบเทียบร้อยละของแบคทีเรียที่ถูกกินของทั้งสามกลุ่มที่ระยะ 60 วัน พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญเช่นกัน แพะในกลุ่ม + Cu 50 ppm สองตัวมีสภาพร่างกายที่อ่อนแอและตายในระยะต่อมา โดยแพะตัวหนึ่งตายหลังจากวันที่ 60 เป็นเวลา 24 วัน และอีกตัวหนึ่งตายหลังจากวันที่ 90 เป็นเวลา 29 วัน ซึ่งก่อนตายไม่ได้ทดสอบประสิทธิภาพของ neutrophils การทดสอบในวันที่ 60 และ 90 จึงมีการกินแบคทีเรียไม่ต่างจากแพะทดลองตัวอื่น

การตรวจสอบการตายของแบคทีเรียที่ถูก neutrophils กิน แสดงผลในตารางที่ 15 กลุ่มควบคุมและกลุ่ม + Cu 20 ppm มีค่าเฉลี่ยร้อยละของการตายของแบคทีเรียไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะทดลองเดียวกัน และร้อยละของการตายของแบคทีเรียในแต่ละช่วงเวลาของทั้งสองกลุ่มก็ไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน ส่วนการเปรียบเทียบร้อยละของการตายของแบคทีเรียของทั้งสามกลุ่มที่ระยะ 60 วัน พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ และไม่พบการเปลี่ยนแปลงในแต่ละระยะทดลองของกลุ่ม + Cu 50 ppm เช่นเดียวกันกับสองกลุ่มแรก

จากผลการเปรียบเทียบทั้งร้อยละของแบคทีเรียที่ถูกกินและถูกทำลายโดย neutrophils ของแพะที่ได้รับทองแดงทุกระดับจากการทดลองนี้ พบว่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกัน แสดงว่าการเสริมทองแดงแก่แพะทดลองไม่มีผลต่อการทำลายแบคทีเรียของ neutrophils ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Naylor *et al.* (1989) ซึ่งได้เปรียบเทียบผลการเสริมและไม่เสริมทองแดงให้ลูกโคที่

ตารางที่ 15 ร้อยละของการตายของแบคทีเรียที่ถูกกิน โดย neutrophils ของแพะที่ได้รับทองแดงระดับต่าง ๆในแต่ละระยะของการทดลอง

	วันที่					
	0	**30**	**60**	**90**	**120**	**150**
กลุ่มควบคุม	99.97	99.99	99.99	99.98	99.99	99.99
กลุ่ม + Cu 20 ppm	99.98	99.99	99.99	99.94	99.98	99.99
กลุ่ม + Cu 50 ppm	99.94	99.99	99.99	99.99*	99.95*	99.99*

ร้อยละของการตายของแบคทีเรียที่ถูกกินโดย neutrophils ในแถวเดียวกันและในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

* ค่าเฉลี่ยของกลุ่ม + Cu 50 ppm วันที่ 90 คิดจากแพะ 3 ตัว และวันที่ 120 และ 150 คิดจากแพะ 2 ตัว

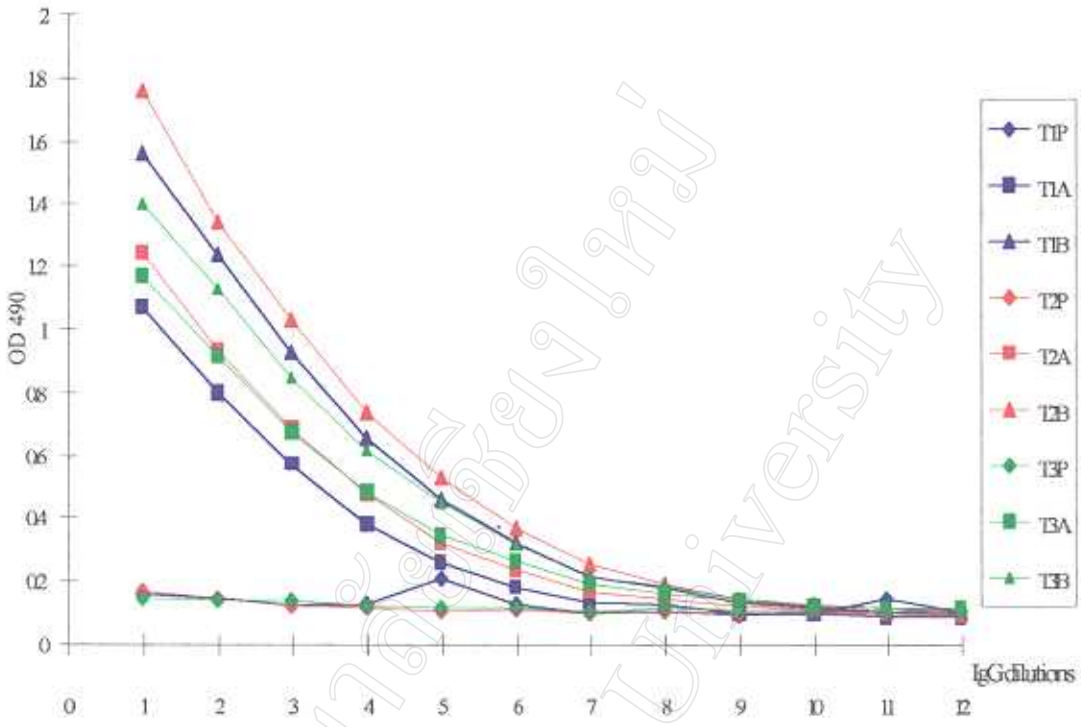
เกิดจากแม่ที่ได้รับทองแดงพอเพียง ปรากฏว่าการเสริมทองแดงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำลายเชื้อ Candida ของ neutrophil ของลูกโคดังกล่าว อย่างไรก็ตาม คณะวิจัยพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับลูกโคที่เกิดจากแม่ที่แสดงอาการขาดทองแดงและไม่ได้เสริมทองแดงให้ ประสิทธิภาพของลูกโคทั้งสองกลุ่มที่เกิดจากแม่ที่ไม่ขาดทองแดงดีกว่าที่พบในลูกโคที่เกิดจากแม่ที่ขาดทองแดง Lukasewycz and Prohaska (1992) กล่าวว่าการขาดทองแดงมีผลทำให้ neutrophils มีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อโรคลดลง เนื่องจากทองแดงเป็นองค์ประกอบสำคัญของเอนไซม์ superoxide dismutase การขาดทองแดงจะทำให้ขาดเอนไซม์นี้ด้วย ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการทำลายเชื้อโรคของ neutrophils ในร่างกายโดยตรง ดังนั้นสัตว์ที่มีสภาพร่างกายปกติ เมื่อไม่ขาดทองแดงจะไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของ neutrophils ในการทดลองนี้ แพะทั้งสามกลุ่มได้รับทองแดงอย่างเพียงพอ ดังนั้นประสิทธิภาพการทำลายเชื้อ *S. aureus* จึงไม่แตกต่างกัน

4.4.2 การสร้างแอนติบอดีจากการกระตุ้นด้วย Human Serum Albumin (HSA) วัดโดยวิธี Indirect ELISA

แอนติบอดีไตเตอร์ของแพะทดลองทุกกลุ่มก่อนการกระตุ้นด้วย HSA ต่ำกว่า 200 แสดงว่าแพะที่ใช้ในการทดลองไม่เคยได้รับแอนติเจนที่ใช้ในการทดลอง คือ HSA มาก่อน แอนติบอดีไตเตอร์เฉลี่ยของกลุ่มควบคุมที่ได้จากการกระตุ้นครั้งแรกต่ำกว่ากลุ่ม + Cu 20 และ 50 ppm (1600, 3200 และ 3200 ตามลำดับ) แต่แอนติบอดีไตเตอร์เฉลี่ยที่ได้จากการกระตุ้นครั้งที่สองของทุกกลุ่มมีค่าเท่ากัน (6400) ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 16 อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่าระดับของแอนติบอดีต่อ HSA ของกลุ่ม + Cu 20 ppm มีแนวโน้มสูงที่สุดจากการกระตุ้นทั้งสอง

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยแอนติบอดีไตเตอร์ชนิด IgG ของแพะที่ได้รับทองแดงระดับต่าง ๆ เมื่อถูกกระตุ้นด้วย HSA โดยวิธี Indirect ELISA

	การกระตุ้นครั้งที่		
	ก่อนการกระตุ้น	**1**	**2**
กลุ่มควบคุม	< 200	1600	6400
กลุ่ม + Cu 20 ppm	< 200	3200	6400
กลุ่ม + Cu 50 ppm	< 200	3200	6400



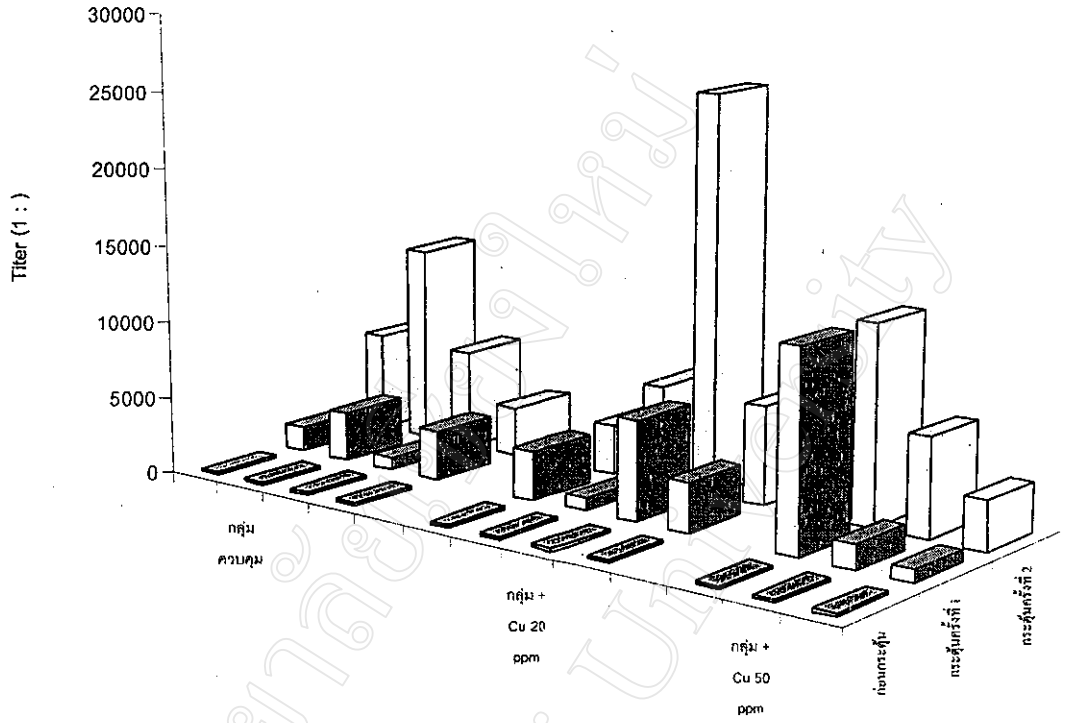
T1 = กลุ่มควบคุม ; T2 = กลุ่ม + Cu 20 ppm ; T3 = กลุ่ม + Cu 50 ppm

P = pre-immunized serum ; A = primary immunized serum ; B = secondary immunized serum

* IgG dilutions เริ่มจากอัตราส่วน 1 : 200 (1) และเพิ่มขึ้นทีละ 2 เท่า

รูปที่ 11 ค่าการดูดกลืนแสงของการวัดระดับแอนติบอดีชนิด IgG เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วย HSA ด้วยวิธี Indirect ELISA ในแพะที่ได้รับทองแดงระดับต่าง ๆ

ครั้งเมื่อเปรียบเทียบกับอีกสองกลุ่ม ระดับแอนติบอดีต่อ HSA ของกลุ่มควบคุมจากการกระตุ้นครั้งแรกต่ำกว่ากลุ่ม + Cu 50 ppm แต่ระดับแอนติบอดีต่อ HSA ที่ได้จากการกระตุ้นครั้งที่สองของกลุ่มควบคุมกลับมีแนวโน้มสูงขึ้นกว่ากลุ่ม + Cu 50 ppm อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองพบว่าความสามารถในการผลิตแอนติบอดีของแพะแต่ละตัวในแต่ละกลุ่มมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง (รูปที่ 12) ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่าการทดลองนี้แพะทั้งสามกลุ่มมีความแตกต่างกันในด้านการสร้างแอนติบอดี เช่นเดียวกับการทดลองของ Eide *et al.* (1992) ซึ่งรายงานการกระตุ้นแพะด้วย HSA และพบว่าแอนติบอดีไตเตอร์มีความแปรปรวนสูงมากระหว่างแพะแต่ละตัว การทดลองนี้พบว่าแม้ว่าค่าเฉลี่ยของแอนติบอดีไตเตอร์จากการกระตุ้นครั้งแรกของกลุ่มควบคุมจะมีแอนติบอดีไต-



รูปที่ 12 แอนติบอดีไตเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ Indirect ELISA ของแพะแต่ละตัวในแต่ละกลุ่ม

เตอร์ต่ำกว่ากลุ่ม + Cu 20 และ 50 ppm แต่การกระตุ้นครั้งที่สองกลับได้ค่าแอนติบอดีไตเตอร์เท่ากันทั้งสามกลุ่ม แสดงให้เห็นว่าการเสริมทองแดงในระดับที่ศึกษาอาจจะไม่มีผลต่อการสร้างแอนติบอดีของแพะ ผลการศึกษานี้คล้ายกับรายงานของ Prasad and Kundu (1995) ซึ่งทดลองเสริมทองแดงและ/หรือสังกะสีลงในนมที่ระดับ 25 และ 100 ppm ตามลำดับ แก่ลูกโคเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการผลิตแอนติบอดีชนิด IgG และ IgM โดยใช้เม็ดเลือดแดงของแกะเป็นตัวกระตุ้น พบว่า ลูกโคในกลุ่มเสริมทองแดงอย่างเดียวไม่มีความแตกต่างของระดับ IgG และ IgM เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ขณะที่ลูกโคกลุ่มที่ได้รับสังกะสีและกลุ่มที่ได้รับทั้งทองแดงและสังกะสีมีแนวโน้มการตอบสนองที่สูงกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมทองแดงเพียงอย่างเดียว และการทดลองของ Niederman *et al.* (1994) ซึ่งทดลองเสริมทองแดงในรูปเกลือของแร่ธาตุปลีกย่อย (trace mineral salt mixture) ให้โค พบว่า การตอบสนองของภูมิคุ้มกันด้านสารน้ำ (humoral immunity) ต่อการกระตุ้นด้วย chicken gamma-globulin ไม่แตกต่างจากโคกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมทองแดง และการทดลองของ Kornegay *et al.* (1981) ซึ่งพบว่าการเสริมทองแดงไม่ช่วยให้ภูมิคุ้มกันด้านสารน้ำตอบสนองต่อการกระตุ้นด้วยเม็ดเลือดแดงแกะดีขึ้นเช่นกัน