ผลการเสริม Quercetin ในน้ำยาแช่แข็งต่อคุณภาพน้ำเชื้อแพะพ่อพันธุ์หลังการละลาย

Effects of Quercetin Supplementation in Freezing Extender on Post-thaw Quality of Buck Semen

นนทพัทธ์ ดาพันธ์

Nonthaphat Daphan

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทคัดย่อ

การผสมเทียมด้วยน้ำเชื้อแช่แข็งเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญในการปรับปรุงพันธุ์แพะ แต่กระบวนการแช่แข็งมักเหนี่ยวนำให้เกิดความเครียดจากออกซิเดชันและอนุมูลอิสระ ซึ่งทำลายเยื่อหุ้มเซลล์และลดคุณภาพของอสุจิหลังการละลาย สัมมนานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมและวิเคราะห์ผลของการเสริมเควอซิทิน (Quercetin) ในน้ำยาแช่แข็งน้ำเชื้อแพะต่อคุณภาพน้ำเชื้อหลังการละลาย จากการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการจำนวน 3 ฉบับ ช่วงปี ค.ศ. 2017-2024 พบว่า การเสริม Quercetin สามารถเพิ่มอัตราการเคลื่อนที่ (Motility) การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Progressive motility) อัตราการรอดชีวิต (Viability) และพารามิเตอร์ทางจลนศาสตร์ (Kinetic parameters) ของอสุจิได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริม อย่างไรก็ตาม ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมมีความแตกต่างกันในแต่ละการศึกษา โดยพบว่าช่วงความเข้มข้นที่ให้ผลดีที่สุดอยู่ระหว่าง 5 ถึง 25 μM ในขณะที่การใช้ความเข้มข้นที่สูงเกินไป (40 μM) ส่งผลเสียหรือเกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ สรุปได้ว่า ควรมีการเสริม Quercetin ในน้ำยาแช่แข็งน้ำเชื้อแพะเพื่อลดความเสียหายจากอนุมูลอิสระ โดยแนะนำให้เสริมที่ระดับความเข้มข้น 5-25 μM ซึ่งเป็นระดับพื้นฐานที่ปลอดภัยและให้ผลเชิงบวก

คำสำคัญ : แพะ เควอซิทิน คุณภาพน้ำเชื้อ

บทนำ

แพะถือเป็นแหล่งรายได้ที่สำคัญสำหรับผู้คนทั่วโลก โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา เนื่องจากความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่หลากหลายและมีอาหารที่จำกัด การใช้เทคโนโลยีการผสมเทียมด้วยน้ำเชื้อแช่แข็งจึงมีความสำคัญในการอนุรักษ์พันธุกรรมของพ่อพันธุ์ชั้นดีและปรับปรุงผลผลิตของสัตว์ อย่างไรก็ตาม กระบวนการแช่แข็งน้ำเชื้ออาจทำให้ความมีชีวิตของสเปิร์มลดลงถึง 50% หลังจากการแช่แข็งและละลาย โดยความเสียหายนี้เกิดจากความเครียดจากออกซิเดชัน การเกิดผลึกน้ำแข็ง และการช็อคจากความเย็น ซึ่งกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระ (ROS) ที่ทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของสเปิร์ม นอกจากนี้ เอนไซม์ Phospholipase A ในน้ำเชื้อยังทำปฏิกิริยากับไข่แดงในน้ำยาเจือจาง ทำให้เกิดสารพิษ จำเป็นต้องทำการปั่นล้างน้ำเชื้อเพื่อลดพิษจากสารป้องกันการแข็งตัว โดยการใช้กลีเซอรอล ซึ่งเป็นสารมาตรฐาน อาจก่อให้เกิดพิษต่อน้ำเชื้อได้

เพื่อลดความเสียหายจากอนุมูลอิสระ มีการนำสารต้านอนุมูลอิสระมาเสริมในน้ำยาเจือจาง หนึ่งในสารที่น่าจับตามองคือ เควอซิทิน (Quercetin) ซึ่งเป็นฟลาโวนอยด์ที่พบในผักและผลไม้ โดยมีคุณสมบัติในการกำจัดอนุมูลอิสระอย่างมีประสิทธิภาพ และทำหน้าที่ส่งถ่ายอิเล็กตรอนเพื่อหยุดวงจรการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาทางเลือกอื่น เช่น การใช้สารกลุ่มเอไมด์ (DMA) แทนกลีเซอรอล เพื่อลดความเป็นพิษ ดังนั้น วัตถุประสงค์ของสัมมนานี้คือ เพื่อศึกษาผลของการเสริม Quercetin ในน้ำยาแช่แข็งต่อคุณภาพน้ำเชื้อแพะพ่อพันธุ์หลังการละลายและประโยชน์ที่มีต่ออัตราการผสมติดในสัตว์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำผสมเทียมในแพะ และเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้ที่สนใจในอนาคต

ผลการเสริม Quercetin ในน้ำยาแช่แข็งต่อการเคลื่อนที่ของอสุจิหลังการละลาย (Motlity)

Batool et al. (2024) ได้ดำเนินการศึกษาเพื่อประเมินผลของความเข้มข้นของ Quercetin ที่มีต่อคุณภาพและความสมบูรณ์ของน้ำเชื้อแพะหลังการละลายน้ำแข็ง โดยศึกษาในความเข้มข้น 0, 1, 5, 10 และ 15 µM ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากลุ่มที่ใช้ Quercetin ในความเข้มข้น 5, 10 และ 15 µM ไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติในด้านการเคลื่อนที่ (motility) และการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Progressive Motility) ($P>0.05$, Table 2) แต่มีค่าการเคลื่อนที่และการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าที่สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ใช้ Quercetin 0 µM นอกจากนี้ กลุ่มที่ใช้ Quercetin 1 µM พบว่ามีการเคลื่อนที่และการเคลื่อนที่ไปข้างหน้ามากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$, Table 2) สอดคล้องกับการศึกษาโดย Almadaly et al. (2024) โดยทดสอบ Quercetin ในความเข้มข้น 10, 15, 25 และ 40 µM ในการแช่แข็งของน้ำเชื้อแพะ พบว่าทุกกลุ่มที่ใช้ Quercetin มีการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (progressive motility) สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่มี Quercetin ($P<0.05$, Table 3)

ในขณะที่การศึกษาของ Seifi Jamadi et al. (2017) โดยใช้ความเข้มข้นของ Quercetin ที่ 0, 10 และ 20 µM พบว่ากลุ่มที่ใช้ Quercetin 10 µM มีการเคลื่อนที่และการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าสูงที่สุด แต่ไม่พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มที่ใช้ Quercetin 0 และ 20 µM ($P>0.05$, Table 1)

Quercetin ที่ความเข้มข้นประมาณ 10 µM ถือเป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเชื้อแพะ อย่างไรก็ตาม การใช้ในระดับที่สูงเกินไปอาจนำไปสู่ความเป็นพิษต่อเซลล์ หรืออาจทำให้สารนี้เปลี่ยนบทบาทจากสารต้านอนุมูลอิสระไปเป็นสารที่กระตุ้นการผลิตอนุมูลอิสระ (Seifi Jamadi et al. 2017)

Table 1 Post-thaw characteristic of Mahabadi goat sperm (means ± SE)

Variable/Treat	Quercetin (µM)			P-value
	0	10	20	
Total Motility (%)	53.41^{b} ± 1.51	61.33^{a} ± 1.52	52.08^{b} ± 2.68	0.004
Progressive Motility (%)	38.75^{b} ± 0.92	43.17^{a} ± 0.94	34.67^{c} ± 1.20	0.001
Viability (%)	57.36^{b} ± 1.28	63.52^{b} ± 1.56	55.46^{b} ± 1.23	0.003
SRT (%)	70.90 ± 3.09	65.00 ± 3.48	62.70 ±3.90	Ns
LIN (%)	62.28 ± 2.63	69.27 ± 4.70	61.49 ± 5.50	Ns
VSL (%)	60.27 ± 1.71	66.36 ± 2.79	61.08 ± 2.78	Ns
VCL (%)	98.87 ± 5.30	98.66 ± 5.08	103.77 ± 5.19	Ns
VAP (%)	69.93 ± 4.36	63.27 ± 3.39	63.72 ± 3.85	Ns

LIN = Linearity, Ns = non-significant, Q0 = 0 (µM) Quercetin, Q10 = 10 (µM) quercetin, Q20 = 20 (µM) quercetin, VSL = straight line velocity, VCL Curvilinear velocity, VAP = Average path velocity, Different superscripts (a, b and c) within same line are differ significantly (P<0.05)

Source: Seifi Jamadi et al. (2017)

Seifi Jamadi et al. (2017) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับผลของการเติมสาร Quercetin ในระดับความเข้มข้น 0, 10 และ 20 µM เพื่อตรวจสอบคุณภาพและความสมบูรณ์ของน้ำเชื้อแพะหลังการละลายแช่แข็ง ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มที่มีการเติม Quercetin ที่ความเข้มข้น 10 µM มีอัตราการรอดชีวิตและการเคลื่อนที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่เติมสารและกลุ่มที่มีความเข้มข้น 20 µM อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มที่มีความเข้มข้นของ Quercetin ที่ 10 µM แสดงให้เห็นการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและอัตราการรอดชีวิตที่สูงสุดเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่เติมและกลุ่มที่มีความเข้มข้น 20 µM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ผลการเสริม Quercetin ในน้ำยาแช่แข็งต่ออัตราการรอดชีวิต (Viability)

Almadaly et al. (2024) พบว่ากลุ่มที่ได้รับ Quercetin ที่ความเข้มข้น 25 และ 40 µM มีอัตราการมีชีวิตรอด (Viability) สูงสุด โดยไม่พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างทั้งสองกลุ่ม (P>0.05, Table 3) และพบว่ากลุ่มที่ใช้ Quercetin ความเข้มข้น 10 และ 15 µM มีอัตราการมีชีวิตรอดในระดับปานกลาง และไม่มีความ

แตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05, Table 3) อย่างไรก็ตาม กลุ่มทดลองทั้งหมดมีอัตราการมีชีวิตรอดสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ใช้ Quercetin (0 µM) อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05, Table 3)

นอกจากนี้ Batool et al. (2024) รายงานว่ากลุ่มที่ใช้ Quercetin ความเข้มข้น 5, 10 และ 15 µM มีอัตราการมีชีวิตรอดสูงสุดเช่นกัน โดยไม่พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างทั้งสามกลุ่ม (P>0.05, Table 3) ถึงแม้ว่ากลุ่มที่ใช้ Quercetin 1 µM จะมีอัตราการมีชีวิตรอดที่ต่ำกว่า แต่ก็ยังสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ใช้ Quercetin 0 µM อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05, Table 2)

ในขณะเดียวกัน Seifi Jamadi et al. (2017) รายงานว่ากลุ่มที่ใช้ Quercetin ความเข้มข้น 10 µM มีอัตราการมีชีวิตรอดสูงสุดและมีค่ามากกว่ากลุ่มที่ใช้ Quercetin ความเข้มข้น 0 และ 20 µM อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05, Table 1) ในขณะที่กลุ่มที่ใช้ความเข้มข้น 0 และ 20 µM มีผลต่ออัตราการมีชีวิตรอดไม่แตกต่างกัน (P>0.05, Table 1)

การเติม Quercetin มีผลดีอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการมีชีวิตรอดของอสุจิ (P < 0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ใช้ Quercetin (0 µM) โดย Quercetin มีคุณสมบัติในการปกป้องเยื่อหุ้มเซลล์จากการทำลายของอนุมูลอิสระในระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิและการเยือกแข็ง ระดับความเข้มข้นที่ 10-15 µM ถือเป็นช่วงที่ปลอดภัยและให้ผลเชิงบวกที่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองที่มีความแตกต่างกันในระดับความเข้มข้นสูงอย่าง 20 µM และ 40 µM แสดงให้เห็นว่า ชนิดของน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อและสายพันธุ์ของแพะอาจเป็นปัจจัยแฝงที่มีผลกระทบต่อการทำงานของ Quercetin (Barranco et al., 2015)

Table 2 Effect of adding quercetin in semen extender on post-thawed spermatozoa quality parameters

Parameters	Quercetin (µM)					P-value
	0	1	5	10	15	
TM (%)	43.00 ± 6.93^{c}	60.33 ± 3.12^{b}	85.33 ± 1.20^{a}	80.67 ± 1.86^{a}	85.00 ± 1.00^{a}	<0.001
PM (%)	22.33 ± 2.11^{c}	33.20 ± 1.80^{a}	34.14 ± 1.16^{a}	28.40 ± 2.11^{b}	27.60 ± 1.22^{b}	<0.004
VB (%)	62.96 ± 1.30^{b}	65.58 ± 2.89^{ab}	71.79 ± 1.77^{a}	71.20 ± 1.19^{a}	72.41 ± 1.27^{a}	<0.0013
VAP (µm/s)	62.33 ± 0.88^{b}	62.67 ± 3.48^{b}	75.67 ± 3.84^{a}	67.00 ± 1.00^{ab}	69.67 ± 0.88^{ab}	<0.009
VSL (µm/s)	45 ± 0.00^{c}	45.67 ± 2.19^{c}	55.00 ± 3.61^{a}	49.33 ± 1.33^{b}	48.67 ± 0.88^{b}	<0.038
VCL (µm/s)	91 ± 3.00^{c}	95.67 ± 3.76^{bc}	119.67 ± 5.24^{a}	107.67 ± 1.20^{ab}	112.33 ± 2.19^{a}	<0.001
STR (%)	68.33 ± 0.33	70.33 ± 0.88	69.0 ± 1.16	70.67 ± 1.20	67.67 ± 0.88	0.196
LIN (%)	46.67 ± 1.76	46.67 ± 1.76	45.67 ± 0.67	46.00 ± 1.00	43.67 ± 0.88	0.073

Values are displayed as mean ± standard error, progressive motility, PM = average path velocity, TM = Total Motility VB = Viability,VAP = Average path velocity, VSL = straight line velocity, VCL = Curve line velocity, STR = straightness, LIN = linearity

Source: Batool et al. (2024)

Batool et al. (2024) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของการเติมสาร Quercetin ในระดับความเข้มข้น 0, 1, 5, 10 และ 15 μM พบว่ากลุ่มที่มีความเข้มข้นของ Quercetin ที่ 5 μM มีอัตราการมีชีวิตรอดและการเคลื่อนที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเติมและกลุ่มที่มีความเข้มข้น 1, 10 และ 15 μM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ กลุ่มที่มีความเข้มข้นของ Quercetin ที่ 10 μM ยังแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและการมีชีวิตรอดสูงสุดอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเติม ($P<0.05$) (Table 2)

ผลการเสริม Quercetin ในน้ำยาแช่แข็งต่อคุณสมบัติเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวและความเร็ว

Batool et al. (2024) พบว่าการใช้ Quercetin ในความเข้มข้น 0, 1, 5, 10 และ 15 μM ส่งผลให้มีอัตราความเร็วในหลายด้าน เช่น ความเร็วเส้นโค้ง ความเร็วเส้นตรง และความเร็วเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$, Table 2) โดยกลุ่มที่ใช้ Quercetin ในระดับ 5 μM มีอัตราความเร็วที่ดีที่สุดในทุกด้าน (VCL, VSL, VAP) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม 0 μM แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$, Table 2) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ Quercetin ในระดับ 10-15 μM ส่งผลให้ความเร็วเส้นตรง ความเร็วเส้นโค้ง และความเร็วเฉลี่ย แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$, Table 2) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Almadaly et al. (2024) ที่ระบุว่าทุกกลุ่มที่ใช้ Quercetin มีอัตราความเร็วที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$, Table 3) โดยกลุ่มที่ใช้ Quercetin ในความเข้มข้น 25 μM แสดงผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม 0 μM

ในขณะเดียวกัน Seifi Jamadi et al. (2017) รายงานว่า การใช้ Quercetin ในความเข้มข้น 0, 10 และ 20 μM ไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติในอัตราความเร็วในหลายด้าน ($P > 0.05$, Table 1) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าผลกระทบของความเข้มข้นของ Quercetin อาจแตกต่างกันไปตามการทดลองและเงื่อนไขที่ใช้ในแต่ละการศึกษา

การใช้ Quercetin ในการแช่แข็งเซลล์สเปิร์มส่งผลกระทบต่ออัตราความเร็วในด้านต่างๆ เช่น ความเร็วเส้นโค้ง ความเร็วเส้นตรง และความเร็วเฉลี่ย รวมถึงคุณสมบัติการเคลื่อนที่อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ Quercetin ในความเข้มข้น 25 μM แสดงถึงผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม 0 μM ต่ออัตราความเร็วในหลายด้าน โดยเฉพาะในแง่ของความเร็วเส้นโค้ง ความเร็วเส้นตรง และความเร็วเฉลี่ย มีรายงานว่า Quercetin ช่วยเสริมสร้างการต้านอนุมูลอิสระได้เมื่อรวมกับสารเติมแต่งอื่น ๆ ซึ่งช่วยปกป้องเยื่อหุ้มพลาสมาจากความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระ (ROS) นอกจากนี้ ยังมีส่วนช่วยในการปรับปรุงการเคลื่อนไหวและพารามิเตอร์ทางจลนศาสตร์ของเซลล์สเปิร์ม (Seifi-Jamadi et al. 2017)

Almadaly et al. (2024) พบว่าการเติม Quercetin ในทุกระดับความเข้มข้นที่ 10, 15, 25 และ 40 μM ส่งผลให้มีประสิทธิภาพดีกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเติมอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นที่ดีที่สุดคือ 25 μM ซึ่งช่วยรักษาความแข็งแรง การเคลื่อนที่ และความเร็วของอสุจิแพะหลังจากการแช่แข็งและละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$, Table 3)

Table 3 Effect of different concentrations of quercetin (QUE) on sperm progressive motility and kinetic parameters of frozen-thawed buck semen (mean ± SEM)

Parameter	Quercetin (μM)				
	0	10	15	25	40
PM (%)	54.41 ± 2.28^{c}	56.84 ± 1.76^{bc}	62.77 ± 2.17^{ac}	66.94 ± 1.85^{a}	65.88 ± 2.02^{ab}
VB (%)	62.17 ± 1.74^{b}	67.83 ± 2.17^{ab}	70.50 ± 1.80^{ab}	75.00 ± 2.08^{a}	72.67 ± 2.03^{a}
VCL (μm/s)	35.40 ± 1.89^{d}	37.35 ± 1.21^{d}	42.19 ± 1.40^{c}	58.38 ± 2.33^{a}	53.66 ± 1.95^{b}
VSL (μm/s)	26.74 ± 1.34^{c}	28.87 ± 1.51^{c}	33.88 ± 1.86^{bc}	53.65 ± 2.04^{a}	38.85 ± 1.97^{b}
VAP (μm/s)	43.19 ± 2.11^{c}	40.95 ± 1.41^{c}	57.40 ± 2.71^{b}	74.12 ± 2.83^{a}	74.12 ± 2.83^{a}
LIN (%)	75.83 ± 4.23^{ab}	77.23 ± 1.58^{ab}	80.33 ± 4.05^{ab}	91.90 ± 2.39^{a}	73.83 ± 2.97^{b}
STR (%)	62.07 ± 3.30^{ab}	70.57 ± 3.41^{ab}	59.43 ± 2.02^{b}	72.50 ± 2.77^{a}	59.23 ± 1.82^{b}

*Within the same row, means bearing one common superscript were non-significantly (P≥0.05) different, PM = Progressive motility, VB = Viability, VCL = Curve line velocity, VSL = Straight line velocity, VAP = Average path velocity, LIN = Linearity, STR = Straightness

Source: Almadaly et al. (2024)

สรุปผล

สารเควอซิทิน (Quercetin) มีความสามารถในการเพิ่มเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ การมีชีวิต และความเร็วในการเคลื่อนที่ของอสุจิ เพิ่มโอกาสความสำเร็จในการผสมติด โดยความเข้มข้นที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 5-25 μM

เอกสารอ้างอิง

Almadaly, E.A., Elbendary, M.A., Sahwan, F.M., Shehabeldin, A.M., El-Domany, W.B., El-Kon, I.I. and Ramoun, A.A. 2024. “Quercetin Supplementation in Tris Egg Yolk Extender Improves the Post-Thaw Quality of Zaraibi Buck Semen”. **Egyptian Journal of Veterinary Sciences.** 55: 1-9.

Batool, I., Fayyaz, M.H., Hameed, A., Andrabi, S.M.H., Kausar, R., Shahzad, M., Mubashir, Y., Omur, A.D., Murtaza, G., Ditta, A. and Hussain, T. 2024. “Quercetin in semen extender improves frozen-thawed spermatozoa quality and in-vivo fertility in crossbred Kamori goats”. **Frontiers in Veterinary Science.** 11: 1385642.

Seifi-Jamadi, A., Ahmad, E., Ansari, M. and Kohram, H. 2017. “Antioxidant effect of quercetin in an extender containing DMA or glycerol on freezing capacity of goat semen”. **Cryobiology.** 75: 15-20.