

ผลของจุลินทรีย์ *Lactobacillus ingluviei* C37 รูปแบบเซลล์ตายในอาหาร ต่อลักษณะซาก คุณภาพเนื้อ และสุขภาพลำไส้ของไก่เนื้อที่ได้รับความเครียดจากความร้อน

The Efficacy of Dietary Dead Cell *Lactobacillus ingluviei* C37 on Carcass Characteristics, Meat Quality and Gut Health in Broilers Subjected to Heat Stress

สิทธิพงษ์ รักงาม¹ เมริสา ศิริโสภางษ์¹ ชญาณันท์ ปักกิ่ง¹ และ สุติศา เข้มพะกา^{1*}
Sitthipong Rakngam¹, Merisa Sirisopapong¹, Chayanant Pukkung¹ and Sutisa Khempaka^{1*}

บทคัดย่อ

ความเครียดจากความร้อนเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่สำคัญซึ่งส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมสัตว์ปีกทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ *L. ingluviei* C37 รูปแบบเซลล์ตาย (DC-LIC37) ต่อลักษณะซาก คุณภาพเนื้อ และสุขภาพลำไส้ของไก่เนื้อภายใต้ภาวะความเครียดจากความร้อน ใช้ไก่เนื้อเพศผู้สายพันธุ์รอส 308 (อายุ 1 วัน) จำนวน 360 ตัว แบ่งเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 6 ซ้ำ ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 1) กลุ่มควบคุมเลี้ยงภายใต้สภาวะที่อยู่อย่างสบาย อุณหภูมิ $21 \pm 1^\circ\text{C}$ และได้รับอาหารพื้นฐาน (control) ขณะที่กลุ่ม 2-6 เลี้ยงภายใต้ภาวะที่ได้รับความเครียดจากความร้อนแบบเรื้อรัง อุณหภูมิ $32 \pm 1^\circ\text{C}$ วันละ 5 ชั่วโมง ตั้งแต่อายุ 15 วัน จนสิ้นสุดการทดลองและได้รับอาหารกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งดังนี้ 2) กลุ่มควบคุมได้รับอาหารพื้นฐานที่ปราศจากสารเสริม (NC) 3) กลุ่มควบคุมบวกได้รับอาหารพื้นฐานและเสริม Zinc bacitracin ที่ระดับ 0.05 ก./กก. อาหาร (PC) 4-6) กลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารพื้นฐานและเสริม DC-LIC37 ระดับ 1×10^7 1×10^8 และ 1×10^9 ซีเอฟยู/กก. อาหาร ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า DC-LIC37 สามารถปรับปรุงน้ำหนักมีชีวิต ซาก เนื้ออก หัวใจ ม้ามและตับของไก่เนื้อในภาวะความเครียดจากความร้อนได้ นอกจากนี้ DC-LIC37 ยังช่วยลดผลกระทบจากการเกิดลิปิดออกซิเดชัน (TBARS) เพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ในเนื้อสะโพก ปรับปรุงสัญญาณวิทยาของลำไส้ และปรับเปลี่ยนประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ ผลการทดลองบ่งชี้ว่าการเสริม DC-LIC37 ในอาหารที่ระดับ 1×10^9 ซีเอฟยู/กก. อาหาร สามารถปรับปรุงลักษณะซาก คุณภาพเนื้อ และสุขภาพลำไส้ในไก่เนื้อที่เลี้ยงภายใต้ภาวะเครียดจากความร้อนได้

คำสำคัญ: *L. ingluviei* C37 รูปแบบเซลล์ตาย ความเครียดความร้อน สุขภาพลำไส้ ไก่เนื้อ

Abstract

Heat stress (HS) is a serious problem affecting the worldwide poultry industry, especially in hot and humid countries like Thailand. The aim of this work was to evaluate the efficacy of dead cell *L. ingluviei* C37 (DC-LIC37) on carcass characteristics, meat quality and gut health (gut morphology and cecal microbial population) in broilers under heat stress. Three hundred and sixty male broilers Ross 308 (1-d-old) were allocated into 6 groups with 6 replications each in a completely randomized design (CRD). 1) the control group was raised

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

¹ School of Animal Technology and Innovation, Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology, Mueang, Nakhon-Ratchasima 30000

* Corresponding author, E-mail: Khempaka@sut.ac.th

under thermoneutral zone conditions at $21 \pm 1^\circ\text{C}$ (TNZ) and received basal diets (control). In contrast, the 15-day-old groups 2-6 were exposed to chronic HS at $32 \pm 1^\circ\text{C}$ for 5 h daily, until the end of the experiment and received one of the following 5 diets: 2) the negative control group received basal diet without any supplementation (NC); 3) the positive control group received basal diet + Zinc bacitracin 0.05 g/kg diet (PC); 4-6) the treatment groups received basal diet + DC-LIC37 at levels 1×10^7 , 1×10^8 , and 1×10^9 CFU/kg diet, respectively. The results revealed that DC-LIC37 can improve live, carcass, breast, liver, spleen, and heart weight in the HS condition. In addition, feeding DC-LIC37 in broilers subjected to HS can also mitigate the negative effect on lipid oxidation (decreased TBARS), activate the antioxidant activity (increased DPPH) in the thigh meat, and improve gut morphology and cecal microbial population in HS groups. The results indicated that DC-LIC37 supplementation at level of 1×10^9 CFU/kg diet has the potential to improve carcass characteristics, meat quality and gut health in broilers under HS.

Keywords: dead cell *L. ingluviei* C37, heat stress, broilers, gut health

คำนำ

ปัจจุบันทั่วโลกกำลังประสบกับปัญหาภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศอย่างรุนแรง ซึ่งภาวะดังกล่าวโน้มนำให้สัตว์เกิดความเครียดจากความร้อนและสร้างความเสียหายต่อระบบอุตสาหกรรม การผลิตสัตว์ปีกเป็นวงกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตไก่เนื้อในภูมิภาคเขตร้อนชื้นอย่างประเทศไทย (Renaudeau et al., 2012) ความเครียดจากความร้อนก่อให้เกิดอนุมูลอิสระที่มีผลรบกวนระบบภูมิคุ้มกัน เซลล์ลำไส้และสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ ส่งผลให้ความสามารถในการย่อยและใช้ประโยชน์ได้ของโภชนาการด้อยประสิทธิภาพลดลง สมรรถนะการเจริญเติบโตลดลง ลักษณะและองค์ประกอบซากเกิดความผิดปกติ (Mujahid et al., 2007; Quinteiro-Filho et al., 2010) รวมถึงคุณภาพเนื้อและการเน่าเสียอย่างรวดเร็วจากการเกิดลิวติฟิเคชัน (Cramer et al., 2018) ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการใช้ยาปฏิชีวนะในระดับที่ต่ำกว่าการรักษาเพื่อเป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโตและรักษาสุขภาพทางเดินอาหาร (Rahimi & Khaksefid, 2006) แต่อย่างไรก็ตามการใช้ในปริมาณมากและระยะเวลาที่นานจะทำให้เกิดการตกค้างในเนื้อและผลิตภัณฑ์และยังทำให้เชื้อจุลินทรีย์เกิดการดื้อยา (Shazali et al., 2014; Odore et al., 2015) นำไปสู่การประกาศห้ามใช้ยาปฏิชีวนะของสหภาพยุโรปและอีกหลาย ๆ ประเทศตั้งแต่ปี ค.ศ. 2006 (Van Boeckel et al., 2015)

จุลินทรีย์โพรไบโอติก (live cell probiotics) จึงเป็นสารเสริมอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการปรับปรุงสุขภาพทางเดินอาหารและกระตุ้นการเจริญเติบโตในภาวะความเครียดจากความร้อนได้ (Jahromi et al., 2016; Sugiharto et al., 2017) แต่อย่างไรก็ตามการใช้โพรไบโอติกมีข้อกังวลและกำลังเป็นประเด็นถกเถียงในการส่งถ่ายยีนดื้อยา (Shazali et al., 2014) รวมถึงข้อจำกัดเรื่องความคงตัวระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาหลังกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ ในปัจจุบันมีการพัฒนาใช้ในรูปแบบของโอสไบโอติก (postbiotics) เพื่อลดความกังวลและข้อจำกัดดังกล่าว เช่น การใช้ในรูปแบบของเซลล์ไม่มีชีวิตหรือเซลล์ตาย (dead cell probiotics) โดยการให้ความร้อน ซึ่งความร้อนจะทำลายผนังเซลล์และมีการปลดปล่อยองค์ประกอบของเซลล์ออกมา อาทิเช่น Exopolysaccharide (EPS), Lipoteichoic acids, Peptidoglycans, Surface layer proteins รวมถึงสารเมแทบอไลต์ต่าง ๆ องค์ประกอบเหล่านี้มีคุณสมบัติ

ลดการอักเสบ กระตุ้นภูมิคุ้มกัน เสริมสร้างความแข็งแรงและปรับปรุงสุขภาพลำไส้ได้ไม่แตกต่างกับเซลล์มีชีวิต (Adams, 2010; Piqué et al., 2019; Zhu et al., 2020)

จุลินทรีย์โพรไบโอติก *L. ingluviei* C37 เป็นจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้จากทางเดินอาหารของไก่โคราช ซึ่งมีคุณสมบัติสำคัญของโพรไบโอติก เช่น ความสามารถในการทนกรดและเกลือในทางเดินอาหาร ความไวต่อยาปฏิชีวนะ ความสามารถในการยึดเกาะผนังลำไส้ และความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรค อีกทั้งยังมีคุณสมบัติจำเพาะบางประการ เช่น คุณสมบัติในการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน และคุณสมบัติในการลดคอเลสเตอรอล การใช้ *L. ingluviei* C37 แบบเซลล์ตายในเซลล์แมคโครฟาจของหนูที่ถูกกระตุ้นให้เกิดการอักเสบด้วยไลโปโพลีแซคคาไรด์ (lipopolysaccharide, LPS) ที่ได้จากผนังเซลล์ของ *E. coli* ซึ่งผลการศึกษาพบว่า *L. ingluviei* C37 ที่คัดแยกได้ สามารถลดการหลั่งสารที่กระตุ้นกระบวนการอักเสบ (TNF α และ IL-6) และกระตุ้นการหลั่งสารที่ลดการอักเสบ (IL-10) ได้ (Tsukagoshi et al., 2020) อีกทั้งยังสามารถเพิ่มการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรง ลดการอักเสบและบรรเทาความเสียหายของผนังลำไส้ในไก่เนื้อที่ถูกกระตุ้นด้วยไลโปโพลีแซคคาไรด์ได้อีกด้วย (Sirisopapong et al., 2021) อย่างไรก็ตามการใช้จุลินทรีย์โพรไบโอติกในรูปแบบเซลล์ตายในการลดผลกระทบที่เกิดจากความเครียดจากความร้อนยังไม่มีการศึกษา ประกอบกับประเด็นคุณภาพซาก คุณภาพเนื้อและสุขภาพทางลำไส้ก็เป็นประเด็นน่าสนใจที่สะท้อนผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ *L. ingluviei* C37 รูปแบบเซลล์ตาย (DC-LIC37) ต่อลักษณะซาก คุณภาพเนื้อ และสุขภาพลำไส้ของไก่เนื้อภายใต้ภาวะความเครียดจากความร้อน

วิธีการศึกษา

การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์ DC-LIC37 โดยขยายต้นเชื้อลงในอาหาร Lactobacillus MRS Broth ในอัตราส่วน 0.5 ml ต่ออาหาร 400 ml นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37°C กวนด้วยความเร็ว 200 rpm และวัดค่า OD₆₀₀ ทุก ๆ 3 ชั่วโมง จนค่า OD₆₀₀ ได้ 2 ซึ่งจะมีจำนวนมวลเซลล์ขั้นต่ำที่ความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 10⁸ CFU/ml (ระยะเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง) จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 8,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 15 นาที และเติม PBS เพื่อล้างและรักษาสภาพเซลล์ จำนวน 3 รอบ แล้วนำส่วนที่มีเฉพาะตัวเซลล์ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปทำแห้งแบบเยือกแข็ง

การทดลองได้ผ่านการพิจารณา อนุมัติ และปฏิบัติตามกฎระเบียบที่คณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์ทดลองเพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (U1-02000-2558) ใช้ไก่เนื้อเพศผู้สายพันธุ์อรอส 308 อายุ 1 วัน จำนวน 360 ตัว แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 6 ซ้ำ ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ไก่แต่ละกลุ่มถูกเลี้ยงในห้องควบคุมอุณหภูมิบนพื้นแกลบ กรงขนาด 0.8 × 1 × 1 เมตร ทำการกักให้ความอบอุ่นแก่ลูกไก่เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยอายุ 1-10 วันแรกจะทำการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 32 ± 1°C จากนั้นค่อย ๆ ลดอุณหภูมิจนถึง 21 ± 1°C ที่ 14 วัน เมื่ออายุครบ 15 วัน กลุ่มที่ 1 เลี้ยงภายใต้สภาวะที่อยู่อย่างสบายที่อุณหภูมิ 21 ± 1°C และได้รับอาหารพื้นฐาน ขณะที่กลุ่ม 2 3 4 5 และ 6 เลี้ยงภายใต้สภาวะที่ได้รับผลกระทบจากความเครียดแบบเรื้อรัง (chronic heat stress) ด้วยเครื่องให้ความร้อน อุณหภูมิ 32 ± 1°C วันละ 5 ชั่วโมง (11.00-16.00 น.) จนสิ้นสุดการทดลองและได้รับอาหารพื้นฐานและสารเสริมกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งดังนี้ กลุ่มที่ 2 ปราศจากสารเสริม กลุ่มที่ 3 เสริมยาปฏิชีวนะ Zinc bacitracin ที่ระดับ 0.05 ก./กก. อาหาร กลุ่มที่ 4-6 เสริม DC-LIC37 ที่ระดับ 1×10⁷ 1×10⁸ และ 1×10⁹ ซีเอฟยู/กก. อาหาร ตามลำดับ ไก่แต่ละกลุ่มได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ โดยอาหารมีปริมาณ

โภชนะครบถ้วนตรงตามความต้องการของร่างกาย ตามคำแนะนำของ NRC (1994) ร่วมกับมาตรฐานสายพันธุ์ Ross (2019) แบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้ 1) ระยะไก่เล็ก ระยะไก่รุ่น และระยะไก่ขุน (Table 1)

การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เมื่ออายุครบ 21 วัน สุ่มไก่ฆ่าละ 2 ตัว ทำสลายด้วยการรอมคลอโรฟอร์มและเชือดเอาเลือดออก จากนั้นทำการเก็บสิ่งย่อยในซีกัมไสในโตรเจนเหลว เพื่อวิเคราะห์ประชากรจุลินทรีย์ด้วยเทคนิค Real-time PCR ตามวิธีการของ Navidshad et al. (2012) โดยใช้ไพรเมอร์ที่มีความจำเพาะ (Table 2) และเก็บลำไส้เล็กทั้ง 3 ส่วน (duodenum, jejunum, ileum) ใส่ฟอร์มาลิน 10% เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้ ตามวิธีการของ Humam et al. (2019) เมื่ออายุครบ 42 วัน สุ่มไก่ฆ่าละ 2 ตัว ทำการชั่งน้ำหนัก เชือดเอาเลือดออก ถอนขน ตัดส่วนคอและขาออก ก่อนวัดคุณภาพซาก ชั่งน้ำหนักส่วนต่าง ๆ ประกอบด้วย หัวใจ ม้าม ตับ กึ๋น ไขมันช่องท้องและต่อมเบอซา จากนั้นนำซากที่ตัดแต่งไปแช่ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดคุณภาพเนื้อออก (pH, L*, b*, a*) และตัดแต่งชิ้นส่วน ออก น่อง สะโพก ปีกและบันทึกน้ำหนัก เก็บเนื้อส่วนสะโพก สำหรับวิเคราะห์ TBARS และ DPPH ตามวิธีการของ Cramer et al. (2018) ข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS software 16.0 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Tukey's HSD และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองด้วย Orthogonal contrasts กำหนดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

Table 1 Ingredient and nutrient composition of basal diets.

Item	Starter (1-10 d)	Grower (11-21 d)	Finisher (22-42 d)
Ingredients (%)			
Corn	56.28	58.10	62.30
Soybean meal	30.40	28.75	25.10
Corn gluten meal	6.21	5.30	3.70
Palm oil	1.80	3.16	4.25
Limestone	1.49	1.34	1.24
Monocalcium phosphate	1.62	1.45	1.31
Salt	0.50	0.49	0.50
DL-methionine	0.31	0.27	0.27
L-lysine	0.47	0.37	0.46
L-threonine	0.20	0.14	0.13
L-arginine	0.22	0.13	0.24
Vitamin-mineral premix	0.50	0.50	0.50
Calculated nutrients			
Metabolizable energy (kcal ME/kg)	3,000	3,100	3,200
Protein (%)	23.0	21.5	19.5
Fat (%)	4.31	5.69	6.86
Fiber (%)	3.37	3.29	3.12
Methionine + cysteine (%)	0.95	0.87	0.80
Lysine (%)	1.28	1.15	1.13
Calcium (%)	0.96	0.87	0.79
Available phosphorus (%)	0.48	0.44	0.40

Table 2 The primer sequences of cecum targeting bacteria.

Target microbes	Primer sequence 5' - 3'	Product size (bp)
Lactic acid bacteria	F-GCAGCAGTAGGGAATCTTCCA R-GCATTYCACCGCTACACATG	200
<i>Bifidobacterium</i>	F-GGGTGGTAATGCCGGATG R-TAAGCCATGGACTTTTCACACC	278
<i>Enterobacterium</i>	F-CATTGACGTTACCGCAGAAGAAGC R-CTCTACGAGACTCAAGCTTGC	195
<i>Escherichia coli</i>	F-GTGTGATATCTACCGCTTCGC R-AGAACGCTTTGTGGTTAATCAGGA	82

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของการเสริม DC-LIC37 ในอาหารต่อลักษณะซากของไก่เนื้อที่ได้รับความเครียดจากความร้อน

ผลของการเสริม DC-LIC37 ในอาหารต่อลักษณะซากของไก่เนื้อที่ได้รับความเครียดจากความร้อน (Table 3) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองแบบ Orthogonal contrasts พบว่าไก่กลุ่มที่เลี้ยงภายใต้ภาวะเครียดจากความร้อนมีน้ำหนักมีชีวิตและน้ำหนักซากเย็นหลังจากเก็บรักษาที่ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่ำกว่ากลุ่มที่เลี้ยงภายใต้สภาวะที่อยู่อย่างสบาย นอกจากนี้ยังมีสัดส่วนน้ำหนักหัวใจ ม้าม และเนื้อส่วนอกที่ลดลงและสัดส่วนน้ำหนักปีกที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักตัว ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามไก่กลุ่มที่เลี้ยงภายใต้ภาวะความเครียดจากความร้อนและเสริมด้วย DC-LIC37 มีน้ำหนักมีชีวิตดีกว่ากลุ่มควบคุมบวก (เสริมยาปฏิชีวนะ) และกลุ่มควบคุมลบ (ปราศจากสารเสริม) นอกจากนี้ยังมีผลให้สัดส่วนน้ำหนักปีกลดลง สัดส่วนน้ำหนักตับและเนื้อส่วนอกเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมลบ ($p < 0.05$) การเสริม DC-LIC37 ที่ระดับ 1×10^7 และ 1×10^9 ซีเอฟยู/กก. อาหาร ส่งผลให้สัดส่วนน้ำหนักตับและเนื้ออกมากกว่ากลุ่มควบคุมบวก กลุ่มควบคุมลบและการเสริมที่ระดับ 1×10^9 ซีเอฟยู/กก. ยังส่งผลให้สัดส่วนน้ำหนักปีกและอกเทียบเท่ากับกลุ่มควบคุม ($p < 0.05$)

เมื่อไก่ได้รับความเครียดจากความร้อนอุณหภูมิของร่างกายจะเพิ่มขึ้น ซึ่งสัตว์จะมีกลไกในการรักษาอุณหภูมิด้วยการหอบหายใจ ลดการกินอาหารเพื่อลดความร้อนจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของโภชนาและกินน้ำมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารและอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าการเลี้ยงในสภาวะที่อยู่อย่างสบาย (Lara & Rostagno, 2013) การทดลองนี้พบว่าในสภาวะอากาศร้อนมีผลทำให้น้ำหนักหัวใจ ม้ามและเนื้อส่วนอกลดลง และน้ำหนักปีกเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามน้ำหนักเครื่องในที่ลดลงยังไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้อย่างแน่ชัด แต่คาดว่าน่าเป็นผลมาจากการปรับตัวที่มีผลมาจากการกินอาหารที่ลดลงและฮอร์โมนคอติซอลที่มีผลยับยั้งการพัฒนาของอวัยวะน้ำเหลืองที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน (Quinteiro-Filho et al., 2010) น้ำหนักปีกที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจากการที่สัตว์พยายามกระพือปีกเพื่อระบายความร้อน และน้ำหนักอกที่ลดลงอาจเป็นเพราะเนื้อส่วนอกประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวเร็วและต้องใช้กลูโคส (fast glycolytic fibers) ทำให้ต้องอาศัยพลังงานไกลโคเจนที่มาจากอาหารมาใช้ในการพัฒนาที่มากกว่ากล้ามเนื้อส่วนอื่น ๆ ร่วมกับปริมาณการกินได้ที่ลดลง ส่งผลให้พลังงานไม่เพียงพอและลดการสร้างเนื้อส่วนอก (Weng et al., 2022) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Zeferino et al. (2016) ที่รายงานว่าสภาวะอากาศร้อนมีผลทำให้น้ำหนักตับ หัวใจและเนื้อส่วนอกลดลง และน้ำหนักปีกเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อน้ำหนักสะโพกและน่อง

และการรายงานของ Sohail et al. (2013) ที่พบว่าภาวะความเครียดจากความร้อนมีผลให้น้ำหนักม้ามลดลงเช่นกัน การเสริม DC-LIC37 ในภาวะความเครียดจากความร้อนส่งผลให้ไก่มีน้ำหนักมีชีวิตมากขึ้น อาจเป็นผลมาจากคุณสมบัติของผนังเซลล์ DC-LIC37 ที่ช่วยลดการอักเสบจากอนุมูลอิสระและเพิ่มความแข็งแรงของผนังลำไส้ ส่งผลให้ลำไส้มีสุขภาพดี ทำให้การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ของโภชนาดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Sirisopapong et al. (2021) ที่รายงานว่า การเสริม *L. ingluviei* C37 สามารถเพิ่มความแข็งแรงของผนังลำไส้และลดการอักเสบในไก่เนื้อที่ถูกกระตุ้นด้วยไลโปโพลีแซคคาไรด์ น้ำหนักอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึม (ตับ) และเนื้อส่วนนอกเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่เสริม DC-LIC37 เป็นผลมาจากน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Ahmed et al. (2019) รายงานว่าการเสริมโพรไบโอติก PROBAC plus ในสภาวะอากาศร้อนมีผลในการเพิ่มน้ำหนักซาก หัวใจ ม้ามและตับ น้ำหนักปีกที่ลดลงอาจเป็นผลมาจากการกระตุ้นการตอบสนองผ่านกลไก Hypothalamic-pituitary-adrenal axis ที่ลดลง (Mohammed et al., 2018)

ผลของการเสริม DC-LIC37 ในอาหารต่อคุณภาพเนื้อของไก่เนื้อที่ได้รับความเครียดจากความร้อน

ผลของการเสริม DC-LIC37 ในอาหารต่อคุณภาพเนื้อของไก่เนื้อที่ได้รับความเครียดจากความร้อน (Table 4) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองแบบ Orthogonal contrasts พบว่าไก่กลุ่มที่เลี้ยงภายใต้ภาวะความเครียดจากความร้อนมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในเนื้อส่วนสะโพกลดลง (ค่าการเกิดลิปิดออกซิเดชัน TBARS เพิ่มขึ้น และค่า DPPH ลดลง) ($p < 0.05$) การเสริม DC-LIC37 สามารถเพิ่มคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของไก่กลุ่มที่เลี้ยงภายใต้ภาวะความเครียดจากความร้อนได้ดีขึ้น (ค่า TBARS ลดลง และค่า DPPH เพิ่มขึ้น) ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมบวกและกลุ่มควบคุมลบ โดยการเสริม DC-LIC37 ที่ระดับ 1×10^7 - 1×10^9 ซีเอฟยู/กก. อาหาร ส่งผลให้ค่า TBARS และ DPPH เทียบเท่ากับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้เนื้อส่วนนอกของไก่กลุ่มที่ได้รับการเสริม DC-LIC37 ยังมีความสว่าง (L^*) ลดลง และค่าความแดง (a^*) สูงขึ้นกว่ากลุ่มควบคุมลบ ($p < 0.05$)

เมื่อไก่ได้รับความเครียดจากความร้อน (ทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง) เซลล์ต่าง ๆ ในร่างกายจะต้องการพลังงานเพิ่มขึ้น โดยร่างกายจะมีกลไกการปรับตัวในการสร้างพลังงานให้เพียงพอกับความต้องการผ่านกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอนและออกซิเดชันของลิปิดเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจะเกิดการรั่วไหลของโปรตอนและก่อให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กระบวนการขนส่งอิเล็กตรอนไม่มีประสิทธิภาพและก่อให้เกิดอนุมูลอิสระมากกว่าความสามารถของร่างกายจะกำจัดได้ (Akbarian et al., 2016) และเหนี่ยวนำให้เกิดลิปิดออกซิเดชันในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ส่งผลให้ปริมาณ MDA ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของ TBARS เพิ่มขึ้น (Azad et al., 2010) นอกจากนี้อนุมูลอิสระยังมีผลให้เกิดการออกซิเดชันของเส้นใยโปรตีนในกล้ามเนื้อ และลด proteolytic susceptibility เป็นผลให้เนื้อมีความชื้นและเ็นน้ำ (Zaboli et al., 2019) แต่การเสริม DC-LIC37 สามารถเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ทำให้ลดการเกิดลิปิดออกซิเดชันและโปรตีนออกซิเดชันลดลงเป็นผลให้ค่าความสว่างของเนื้อลดลงและความแดงเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Cramer et al. (2018) ที่ทำการเสริม *Bacillus subtilis* ในไก่ที่ถูกกระตุ้นด้วยความร้อนสามารถเพิ่มการต้านอนุมูลอิสระ ลดการเกิดลิปิดออกซิเดชันและลดความสว่างของเนื้อได้นอกจากนี้ Kim et al., (2016) รายงานว่าการเสริมโพรไบโอติก สามารถช่วยลดการเกิดลิปิดออกซิเดชันในเนื้อระหว่างการเก็บรักษาได้เช่นกัน

Table 3 The effect of dietary DC-LIC37 on carcass characteristics in broilers subjected to heat stress.

Parameters	Control	NC	PC	DC-LIC37			SEM	p-Value	Orthogonal contrasts			
				Level 1	Level 2	Level 3			1	2	3	4
Live weight (g)	3305.04 ^a	3106.65 ^c	3108.38 ^c	3179.07 ^{bc}	3137.51 ^{bc}	3250.12 ^{ab}	15.21	0.0001	0.0001	0.002	0.02	0.02
Cold carcass weight (g)	2464.41 ^a	2353.97 ^b	2348.63 ^b	2399.99 ^{ab}	2388.21 ^{ab}	2409.01 ^{ab}	11.06	0.03	0.004	0.03	NS	NS
Visceral organs (% of live weight)												
Heart	0.48 ^a	0.4 ^c	0.43 ^{ab}	0.43 ^{ab}	0.42 ^c	0.44 ^{ab}	0.006	0.01	0.001	0.003	NS	NS
Spleen	0.10 ^a	0.08 ^b	0.09 ^{ab}	0.1 ^{ab}	0.08 ^{ab}	0.01 ^{ab}	0.003	0.01	0.02	NS	NS	NS
Liver	1.56 ^{ab}	1.47 ^b	1.54 ^{ab}	1.65 ^a	1.58 ^{ab}	1.62 ^a	0.01	0.003	NS	NS	NS	0.0001
Gizzard	1.07	1.08	1.13	1.11	1.13	1.11	0.01	0.54	NS	NS	NS	NS
Bursa of fabricius	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.06	0.002	0.22	NS	NS	NS	NS
Abdominal fat	1.27	1.28	1.22	1.33	1.21	1.20	0.02	0.46	NS	NS	NS	NS
Body composition (% of cold carcass weight)												
Thigh	16.90	17.82	17.35	17.25	17.46	17.83	0.11	0.18	NS	NS	NS	NS
Drumstick	13.73	13.90	13.90	13.96	13.98	14.04	0.06	0.78	NS	NS	NS	NS
Wing	9.64 ^a	10.28 ^b	9.92 ^{ab}	9.90 ^{ab}	9.88 ^{ab}	9.81 ^a	0.05	0.01	0.01	NS	NS	0.01
Breast	36.32 ^a	32.86 ^b	34.58 ^{ab}	35.77 ^a	34.69 ^{ab}	35.06 ^a	0.24	0.0001	0.002	0.045	NS	0.0001

^{a-c} Means with different superscripts in the same row indicate significant difference ($p < 0.05$). Control = Thermoneutral zone condition (TNZ) + basal diet, NC = Heat stress (HS) + basal diet, PC = HS + basal diet + zinc bacitracin 0.05 g/kg diet, Level 1 = HS + basal diet + DC-LIC37 1×10^7 CFU/kg diet, Level 2 = HS + basal diet + DC-LIC37 1×10^8 CFU/kg diet, Level 3 = HS + basal diet + DC-LIC37 1×10^9 CFU/kg diet. SEM = standard error of means. NS = non-significant difference. Orthogonal contrasts: 1 = TNZ vs HS, 2 = Control vs DC-LIC37, 3 = PC vs DC-LIC37, 4 = NC vs DC-LIC37.

Table 4 The effect of dietary DC-LIC37 on meat quality in broilers subjected to heat stress.

Parameters	Control	NC	PC	DC-LIC37			SEM	p-Value	Orthogonal contrasts			
				Level 1	Level 2	Level 3			1	2	3	4
pH 24 h	5.78	5.75	5.77	5.73	5.74	5.73	0.02	0.77	NS	NS	NS	NS
L*	51.14	52.69	51.04	50.08	51.12	51.43	0.31	0.29	NS	NS	NS	0.04
a*	-1.21	-1.57	-1.21	-1.32	-1.09	-1.12	0.07	0.27	NS	NS	NS	0.03
b*	5.15	4.03	5.22	5.1	4.77	4.66	0.18	0.40	NS	NS	NS	NS
TBARS (nmol/ml)	0.5 ^a	0.94 ^b	0.92 ^b	0.55 ^a	0.51 ^a	0.54 ^a	0.05	0.001	0.04	NS	0.001	0.0001
DPPH (%)	80.76 ^a	55.13 ^b	55.98 ^{ab}	68.35 ^{ab}	71.74 ^{ab}	79.16 ^{ab}	2.80	0.01	0.01	NS	0.02	0.02

^{a-b} Means with different superscripts in the same row indicate significant difference ($p < 0.05$). Control = Thermoneutral zone condition (TNZ) + basal diet, NC = Heat stress (HS) + basal diet, PC = HS + basal diet + zinc bacitracin 0.05 g/kg diet, Level 1 = HS + basal diet + DC-LIC37 1×10^7 CFU/kg diet, Level 2 = HS + basal diet + DC-LIC37 1×10^8 CFU/kg diet, Level 3 = HS + basal diet + DC-LIC37 1×10^9 CFU/kg diet. SEM = standard error of means. NS = non-significant difference. Orthogonal contrast: 1 = TNZ vs HS, 2 = Control vs DC-LIC37, 3 = PC vs DC-LIC37, 4 = NC vs DC-LIC37.

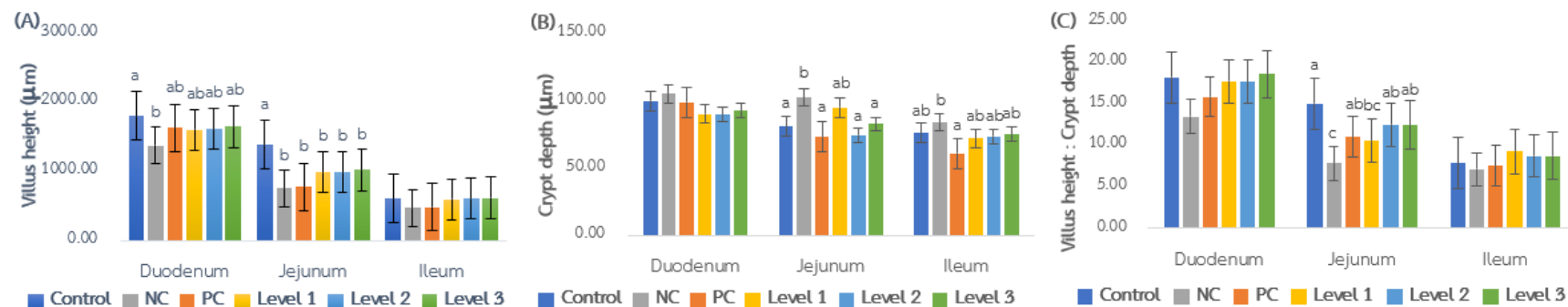


Figure 1 The effect of dietary DC-LIC37 on gut morphology in broilers subjected to heat stress (A-C).

^{a-b} Means in different letters on standard error bars indicate significant difference ($p < 0.05$). Control = Thermoneutral zone condition (TNZ) + basal diet, NC = Heat stress (HS) + basal diet, PC = HS + basal diet + zinc bacitracin 0.05 g/kg diet, Level 1 = HS + basal diet + DC-LIC37 1×10^7 CFU/kg diet, Level 2 = HS + basal diet + DC-LIC37 1×10^8 CFU/kg diet, Level 3 = HS + basal diet + DC-LIC37 1×10^9 CFU/kg diet.

ผลของการเสริม DC-LIC37 ในอาหารต่อลักษณะสัญญาณวิทยาของลำไส้ไก่เนื้อที่ได้รับความเครียดจากความร้อน

ผลของการเสริม DC-LIC37 ในอาหารต่อลักษณะสัญญาณวิทยาของลำไส้ไก่เนื้อที่ได้รับความเครียดจากความร้อน (Figure 1A-1C) พบว่าการเสริม DC-LIC37 สามารถปรับปรุงลักษณะทางสัญญาณวิทยาของลำไส้ไก่เนื้อที่เลี้ยงภายใต้ภาวะความเครียดจากความร้อนได้ โดยการเสริม DC-LIC37 ที่ระดับ 1×10^7 - 1×10^9 ซีเอฟยู/กก. อาหาร สามารถเพิ่มความสูงของวิลโลที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น ลดความลึกของเซลล์คิริปต์ที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนกลางและส่วนท้าย รวมถึงเพิ่มสัดส่วนความสูงของวิลโลต่อความลึกเซลล์คิริปต์ที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนกลางได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม นอกจากนี้การเสริม DC-LIC37 ที่ระดับ 1×10^8 - 1×10^9 ซีเอฟยู/กก. อาหาร ยังสามารถลดความลึกของเซลล์คิริปต์ที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนกลางได้เทียบเท่ากับกลุ่มควบคุมและกลุ่มควบคุมบวก

ตามปกติเมื่อไก่เกิดภาวะความเครียดจากความร้อนจะพยายามระบายความร้อนออกจากร่างกายโดยเพิ่มการไหลเวียนเลือดไปยังบริเวณผิวหนัง ลดการไหลเวียนเลือดไปที่บริเวณลำไส้ และกระตุ้นให้มีการหลั่งฮอร์โมนคอร์ติซอล (cortisol) จากต่อมหมวกไตเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผลให้เกิดอนุมูลอิสระในร่างกายและมีผลไปทำลายเยื่อเมือกเซลล์ผนังลำไส้และก่อให้เกิดการอักเสบ (Quinteiro-Filho et al., 2012) ส่งผลให้ในการย่อยได้และการดูดซึมโภชนาการโดยประสิทธิภาพลง (Rostagno, 2020) DC-LIC37 เป็นจุลินทรีย์ที่ถูกทำให้ตายด้วยความร้อน ซึ่งความร้อนจะทำลายผนังเซลล์และกระตุ้นให้มีการปลดปล่อยองค์ประกอบของผนังเซลล์ เช่น Peptidoglycans, Lipoteichoic acids และ Surface-layer protein (Piqué et al., 2019) ซึ่งมีคุณสมบัติในการจับกับผนังลำไส้ กระตุ้นให้มีการสร้างเยื่อเมือกและยับยั้งการหลั่งไซโตไคน์หรือสารที่ก่อให้เกิดการอักเสบ (Konstantinov et al., 2008; Wu et al., 2015) โดย *L. ingluviei* C37 รูปแบบเซลล์ตายในเซลล์แมโครฟาจของหนูที่ถูกกระตุ้นให้เกิดการอักเสบด้วย LPS สามารถลดการหลั่งสารที่กระตุ้นกระบวนการอักเสบ (TNF α และ IL-6) และกระตุ้นการหลั่งสารที่ลดการอักเสบ (IL-10) ได้ (Tsukagoshi et al., 2020) และอาจเป็นผลให้สัญญาณวิทยาของลำไส้ถูกทำลายจากอนุมูลอิสระในภาวะความเครียดจากความร้อนที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Danladi et al. (2022) ที่รายงานว่า การเสริม *L. plantarum* RI11 และ RG14 รูปแบบเซลล์ตายสามารถเพิ่มความสูงของวิลโล ลดความลึกของเซลล์คิริปต์และเพิ่มสัดส่วนความสูงของวิลโลต่อความลึกเซลล์คิริปต์ได้ และการทดลองของ Humam et al. (2019) ที่รายงานว่า การเสริม *L. plantarum* RI11 ในสภาวะความร้อนสามารถเพิ่มความสูงของวิลโล ลดความลึกของเซลล์คิริปต์และเพิ่มสัดส่วนความสูงของวิลโลต่อความลึกเซลล์คิริปต์ในลำไส้ได้เช่นกัน

ผลของการเสริม DC-LIC37 ในอาหารต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมไก่เนื้อที่ได้รับความเครียดจากความร้อน

ผลของการเสริม DC-LIC37 ในอาหารต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อที่ได้รับความเครียดจากความร้อน (Figure 2) พบว่าสภาวะอากาศร้อนมีผลทำให้จุลินทรีย์ก่อโรค *Enterobacterium* และ *E. coli* เพิ่มขึ้น โดยการเสริม DC-LIC37 ในสภาวะอากาศร้อนสามารถลดจำนวนประชากรกลุ่มจุลินทรีย์ก่อโรคเหล่านี้ได้ การเสริม DC-LIC37 ที่ระดับ 1×10^7 - 1×10^9 ซีเอฟยู/กก. อาหาร สามารถลดจุลินทรีย์ก่อโรค ได้เทียบเท่ากับกลุ่มควบคุมและกลุ่มควบคุมบวกที่มีการเสริมยาปฏิชีวนะแต่อย่างไรก็ตาม DC-LIC37 ไม่มีผลในการในการปรับเปลี่ยนจำนวนประชากรจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ Lactic acid bacteria และ *Bifidobacterium*

การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในสภาวะอากาศร้อนอาจเนื่องมาจากกลไก Hypothalamic-pituitary-adrenal axis (HPA) ซึ่งเป็นกลไกการควบคุมและปรับตัวตอบสนองต่อการเกิดความเครียดจากความร้อน เมื่อไก่อยู่ในสภาวะความเครียดจากความร้อน สมองส่วน Hypothalamus จะพยายามรักษาอุณหภูมิร่างกาย โดยลดการกินอาหารเพื่อลดความร้อนจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของโภชนา และเพิ่มการกินน้ำมากขึ้น ทำให้อาหารเกิดการไหลผ่านในท่อทางเดินอาหารเร็วขึ้นและสิ่งย่อยมีความหนืดมากขึ้น ส่งผลให้สภาพแวดล้อมในลำไส้เกิดการเปลี่ยนแปลงและมีผลรบกวนสมดุลของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุม Gut brain axis (Cao et al., 2021; Kers et al., 2018; Metzler-Zebeli et al., 2019) การเสริม DC-LIC37 สามารถเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ก่อโรคได้นั้น อาจเป็นผลมาจาก DC-LIC37 มีการปลดปล่อยองค์ประกอบของผนังเซลล์และสารต่าง ๆ เช่น Surface-layer protein และ EPS (Nguyen et al., 2020; Piqué et al., 2019) โดย EPS สามารถแย่งจับกับผนังลำไส้และยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มของเชื้อก่อโรค รวมถึงจับกับผนังเซลล์ของเชื้อก่อโรคแบบหลวม ๆ และขับออก (Fanning et al., 2012) กลไกดังกล่าวอาจเป็นผลให้เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคกลุ่ม *Enterobacterium* และ *E. coli* ในซีกัมไก่อที่เลี้ยงภายใต้สภาวะความเครียดจากความร้อนและเสริมด้วย DC-LIC37 มีจำนวนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Liu et al. (2017) ที่พบว่า ESP สามารถลดการจับกับและการสร้างไบโอฟิล์มของเชื้อ *E. coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* ได้

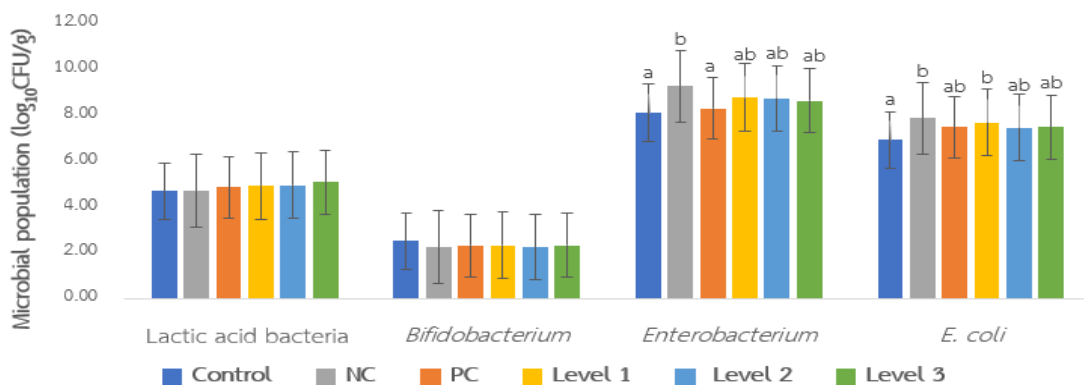


Figure 2 The effect of dietary DC-LIC37 on cecal microbial population in broilers subjected to heat stress.

^{a-b} Means in different letters on standard error bars indicate significant difference ($p < 0.05$). Control = Thermoneutral zone condition (TNZ) + basal diet, NC = Heat stress (HS) + basal diet, PC = HS + basal diet + zinc bacitracin 0.05 g/kg diet, Level 1 = HS + basal diet + DC-LIC37 1×10^7 CFU/kg diet, Level 2 = HS + basal diet + DC-LIC37 1×10^8 CFU/kg diet, Level 3 = HS + basal diet + DC-LIC37 1×10^9 CFU/kg diet.

สรุปผลการศึกษา

การเสริมจุลินทรีย์ DC-LIC37 ที่ระดับ 1×10^9 ซีเอฟยู/กก. อาหารในไก่เนื้อที่เลี้ยงภายใต้ภาวะความเครียดจากความร้อน มีผลในการปรับปรุงน้ำหนักมีชีวิต ซากหลังแช่เย็น เนื้ออก ปีก หัวใจ ม้าม และตับได้ นอกจากนี้ DC-LIC37 ยังช่วยลดผลกระทบจากการเกิดลิสปิดออกซิเดชัน เพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในเนื้อ ปรับปรุงสัญญาณวิทยาของลำไส้ และปรับเปลี่ยนประชากรจุลินทรีย์ก่อโรคลำไส้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่มอบทุนกิตติบัณฑิตและทำให้มีโอกาสศึกษาต่อในระดับปริญญาโท การอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือจากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและความช่วยเหลือจากสมาชิกห้องปฏิบัติการโภชนาการสัตวศาสตร์สัตว์กระเพาะเดี่ยวทุก ๆ ท่าน

เอกสารอ้างอิง

- Adams, C. A. (2010). The probiotic paradox: Live and dead cells are biological response modifiers. **Nutrition Research Reviews**. 23(1), 37–46.
- Ahmed, E., Abdelrahman, M., & Gahreab, K. (2019). Effect of probiotic on growth performance, carcass traits, and clinical health parameters of broilers reared under heat stress in upper Egypt. **SVU-International Journal of Veterinary Sciences**. 2(2), 27–44.
- Akbarian, A., et al. (2016). Association between heat stress and oxidative stress in poultry; mitochondrial dysfunction and dietary interventions with phytochemicals. **Journal of Animal Science and Biotechnology**. 7(1), 1–14.
- Azad, M. A. K., Kikusato, M., Sudo, S., Amo, T., & Toyomizu, M. (2010). Time course of ROS production in skeletal muscle mitochondria from chronic heat-exposed broiler chicken. **Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology**. 157(3), 266–271. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.07.011>
- Cao, C., Chowdhury, V. S., Cline, M. A., & Gilbert, E. R. (2021). The microbiota-gut-brain axis during heat stress in chickens: A review. **Frontiers in Physiology**. 12(October), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.752265>
- Cramer, T. A., et al. (2018). Effects of probiotic (*Bacillus subtilis*) supplementation on meat quality characteristics of breast muscle from broilers exposed to chronic heat stress. **Poultry Science**. 97(9), 3358–3368. <https://doi.org/10.3382/ps/pey176>
- Danladi, Y., Loh, T. C., Foo, H. L., Akit, H., & Tamrin, N. A. (2022). Effects of probiotics and paraprobiotics as replacements for antibiotics on growth performance, carcass characteristics, small intestine histomorphology, immune status and hepatic growth gene expression in broiler chickens. **Animals**. 12(197), 1–18.
- Fanning, S., et al. (2012). Bifidobacterial surface-exopolysaccharide facilitates commensal-host interaction through immune modulation and pathogen protection. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. 109(6), 2108–2113. <https://doi.org/10.1073/pnas.1115621109>
- Humam, A. M., Loh, T. C., Foo, H. L., & Samsudin, A. A. (2019). Effects of feeding different postbiotics produced by *Lactobacillus plantarum* on growth performance, carcass yield, intestinal morphology, gut microbiota composition, immune status, and growth gene expression in broilers under heat stress. **Animals**. 9(644), 1–20.

- Jahromi, M. F., et al. (2016). Dietary supplementation of a mixture of *Lactobacillus* strains enhances performance of broiler chickens raised under heat stress conditions. **International Journal of Biometeorology**. 60(7), 1099–1110. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1103-x>
- Kers, J. G., et al. (2018). Host and environmental factors affecting the intestinal microbiota in chickens. **Frontiers in Microbiology**, 9(2), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00235>
- Kim, H. W., Yan, F. F., Hu, J. Y., Cheng, H. W., & Kim, Y. H. B. (2016). Effects of probiotics feeding on meat quality of chicken breast during postmortem storage. **Poultry Science**. 95(6), 1457–1464. <https://doi.org/10.3382/ps/pew055>
- Konstantinov, S. R., et al. (2008). S layer protein A of *Lactobacillus acidophilus* NCFM regulates immature dendritic cell and T cell functions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. 105(49), 19474–19479. <https://doi.org/10.1073/pnas.0810305105>
- Lara, L. J., & Rostagno, M. H. (2013). Impact of heat stress on poultry production. **Animals**. 3(2), 356–369. <https://doi.org/10.3390/ani3020356>
- Liu, Z., et al. (2017). Characterization and bioactivities of the exopolysaccharide from a probiotic strain of *Lactobacillus plantarum* WLPL04. **Journal of Dairy Science**. 100(9), 6895–6905. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11944>
- Metzler-Zebeli, B. U., et al. (2019). Feed restriction modifies intestinal microbiota-host mucosal networking in chickens divergent in residual feed intake. **American Society for Microbiology**. 4(1). <https://doi.org/10.1128/msystems.00261-18>
- Mohammed, A. A., Jacobs, J. A., Murugesan, G. R., & Cheng, H. W. (2018). Animal well-being and behavior: Effect of dietary synbiotic supplement on behavioral patterns and growth performance of broiler chickens reared under heat stress. **Poultry Science**. 97(4), 1101–1108. <https://doi.org/10.3382/ps/pex421>
- Mujahid, A., Akiba, Y., & Toyomizu, M. (2007). Acute heat stress induces oxidative stress and decreases adaptation in young white leghorn cockerels by downregulation of avian uncoupling protein. **Poultry Science**. 86(2), 364–371. <https://doi.org/10.1093/ps/86.2.364>
- Navidshad, B., Liang, J. B., & Jahromi, M. F. (2012). Correlation coefficients between different methods of expressing bacterial quantification using real time PCR. **International Journal of Molecular Sciences**. 13(2), 2119–2132. <https://doi.org/10.3390/ijms13022119>
- Nguyen, P. T., et al. (2020). Exopolysaccharide production by lactic acid bacteria: The manipulation of environmental stresses for industrial applications. **AIMS Microbiology**. 6(4), 451–469. <https://doi.org/10.3934/MICROBIOL.2020027>
- NRC. 1994. **Nutrient requirements of poultry**. 9th Edition. National Academy Press, Washington D.C
- Odore, R., et al. (2015). Cytotoxic effects of oxytetracycline residues in the bones of broiler chickens following therapeutic oral administration of a water formulation. **Poultry Science**. 94(8), 1979–1985. <https://doi.org/10.3382/ps/pev141>
- Piqué, N., Berlanga, M., & Miñana-Galbis, D. (2019). Health benefits of heat-killed (Tyndallized) probiotics: An overview. **International Journal of Molecular Sciences**. 20(10), 1–30. <https://doi.org/10.3390/ijms20102534>
- Quinteiro-Filho, W. M., et al. (2012). Heat stress impairs performance and induces intestinal inflammation in broiler chickens infected with *Salmonella Enteritidis*. **Avian Pathology**. 41(5), 421–427. <https://doi.org/10.1080/03079457.2012.709315>
- Quinteiro-Filho, W. M., et al. (2010). Heat stress impairs performance parameters, induces intestinal injury, and decreases macrophage activity in broiler chickens. **Poultry Science**. 89(9), 1905–1914. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00812>
- Rahimi, S., & Khaksefidi, A. (2006). A comparison between the effects of a probiotic (Bioplus 2B) and an

- antibiotic (virginiamycin) on the performance of broiler chickens under heat stress condition. **Iranian Journal of Veterinary Research**. 7(3), 23–28.
- Renaudeau, D., et al. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. **Animal**. 6(5), 707–728. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>
- ROSS. 2019. **Nutritional specifications**. An Aviagen Brand.
- Rostagno, M. H. (2020). Effects of heat stress on the gut health of poultry. **Journal of Animal Science**. 98(4), 1–9. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa090>
- Shazali, N., Foo, H. L., Loh, T. C., Choe, D. W., & Abdul Rahim, R. (2014). Prevalence of antibiotic resistance in lactic acid bacteria isolated from the faeces of broiler chicken in Malaysia. **Gut Pathogens**. 6(1). <https://doi.org/10.1186/1757-4749-6-1>
- Sirisopapong, M., Okratok, S., Pukkung, C., & Khempaka, S. (2021). *kān soēm læk tobāsinlat ‘inkalūwī’i sī sām sip chet chuāi lot khwāmkhriat thāng phūmkhumkan læk phoēm kān sadāng’ōk khōng yīn thī kiēokhōng kap khwām khāengrāng khōng lamsai nai kai nūathi thuk kratun duai laipopholīsækkharai [Lactobacillus ingluviei C37 supplementation alleviates immunological stress and improves intestinal barrier gene expression in lipopolysaccharide challenged broiler chickens]*. **Khon Kaen Agriculture Journal**. 42(2), 929.
- Sohail, M. U., et al. (2013). Effect of supplementation of mannan oligosaccharide and probiotic on growth performance, relative weights of viscera, and population of selected intestinal bacteria in cyclic heat-stressed broilers. **Journal of Applied Poultry Research**. 22(3), 485–491. <https://doi.org/10.3382/japr.2012-00682>
- Sugiharto, S., Yudiarti, T., Isroli, I., Widiastuti, E., & Kusumanti, E. (2017). Dietary supplementation of probiotics in poultry exposed to heat stress - A review. **Annals of Animal Science**. 17(3), 591–604. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0062>
- Tsukagoshi, M., et al. (2020). *Lactobacillus ingluviei* C37 from chicken inhibits inflammation in LPS-stimulated mouse macrophages. **Animal Science Journal**. 91(1), 1–7. <https://doi.org/10.1111/asj.13436>
- Van Boeckel, T. P., et al. (2015). Global trends in antimicrobial use in food animals. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. 112(18), 5649–5654. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503141112>
- Weng, K., et al. (2022). Fiber characteristics and meat quality of different muscular tissues from slow - and fast-growing broilers. **Poultry Science**. 101(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101537>
- Wu, Z., Pan, D., Guo, Y., Sun, Y., & Zeng, X. (2015). Peptidoglycan diversity and anti-inflammatory capacity in *Lactobacillus* strains. **Carbohydrate Polymers**. 128, 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.04.026>
- Zaboli, G., Huang, X., Feng, X., & Ahn, D. U. (2019). How can heat stress affect chicken meat quality? - A review. **Poultry Science**. 98(3), 1551–1556. <https://doi.org/10.3382/ps/pey399>
- Zeferino, C. P. et al. (2016). Carcass and meat quality traits of chickens fed diets concurrently supplemented with vitamin C and E under constant heat stress. **The Animal consortium**. 10(1), 163–171. <http://doi.org/10.1017/S1751731115001998>
- Zhu, C., et al. (2020). Effect of heat-inactivated compound probiotics on growth performance, plasma biochemical indices, and cecal microbiome in Yellow-Feathered broilers. **Frontiers in Microbiology**. 11(October), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.585623>

วันรับบทความ (Received date) : 20 มิ.ย. 65

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 11 ส.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 15 ส.ค. 65