

สมรรถภาพการผลิตไข่ และความแข็งของเปลือกไข่ในเป็ดไข่ที่ได้รับอาหารเสริมส่วนผสมของไบโอแคลเซียมและวิตามินดี

Egg performance and eggshell hardness in laying ducks fed dietary mixture of bio-calcium and vitamin D

เสฐียรพงษ์ มุลสถาน¹, ณรกมล เล่าห์รอดพันธ์², วันดี ทาตระกุล^{1,3}
และ ทศพร อินเจริญ^{1,3*}

Sateanpong Moonsatan¹, Norakamol Laorodpun², Wandee Tartrakoon^{1,3}
and Tossaporn Incharoen^{1,3*}

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของการเสริมส่วนผสมของไบโอแคลเซียมและวิตามินดีในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ ความแข็ง และองค์ประกอบแร่ธาตุของเปลือกไข่ ใช้เป็ดไข่สายพันธุ์กากีแคมเบลล์ อายุ 30 สัปดาห์ จำนวน 80 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 4 ซ้ำๆ ละ 5 ตัว ระยะเวลาการทดลองทั้งหมด 4 สัปดาห์ ประกอบด้วย กลุ่มที่ได้รับอาหารพื้นฐาน + ส่วนผสมของไบโอแคลเซียมและวิตามินดี (Biocalcio™) ที่ระดับ 0 (T1), 0.05 (T2), 0.10 (T3), และ 0.20 (T4) เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลอง พบว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่มีค่าเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) ในกลุ่ม T2 และ T4 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม T1 น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟองและมวลไข่มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ยกเว้นกลุ่ม T2 ที่น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟองมีค่าลดลงเล็กน้อย ($P < 0.05$) ปริมาณอาหารที่กินได้เฉลี่ยต่อวันมีค่าสูงสุดในกลุ่ม T4 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ 1 กิโลกรัม มีค่าดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่ T2, T3 และ T4 ตามลำดับ ในขณะที่ เปอร์เซ็นต์เปลือกไข่ เปอร์เซ็นต์ไข่ขาว เปอร์เซ็นต์ไข่แดง ค่าสีไข่แดง ค่าความสูงไข่ขาว ค่าสอก ความหนาของเปลือกไข่ และปริมาณแคลเซียมในเปลือกไข่ มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ยกเว้นความแข็งของเปลือกไข่ที่มีค่าเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) ในกลุ่ม T4 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ การทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่า ส่วนผสมของไบโอแคลเซียมและวิตามินดีสามารถนำไปใช้เป็นสารเสริมในอาหารเพื่อช่วยเพิ่มสมรรถภาพการผลิตไข่ และค่าความแข็งของเปลือกไข่ให้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเสริมในอาหารเป็ดไข่ที่ระดับ 0.20%

คำสำคัญ: ไบโอแคลเซียม, คุณภาพเปลือกไข่, สมรรถภาพการผลิตไข่, เป็ดไข่, วิตามินดี

¹ สาขาสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
Division of Animal Science and Feed technology, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University

² สาขาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
School of Animal Science, Faculty of Food and Agricultural Technology, Pibulsongkram Rajabhat University

³ สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านนวัตกรรมเกษตรและปศุสัตว์ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
Center of Excellence for Agricultural and Livestock Innovations, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment
Naresuan University

* Corresponding author: tossaporni@nu.ac.th

ABSTRACT: The objective of this research was to evaluate the effect of dietary mixture of bio-calcium and vitamin D on egg performance, egg quality, hardness and mineral compositions of eggshell in laying ducks. A total of 80 thirty week-old laying ducks (Khaki Cambell breed) were divided into 4 treatment groups, each with four replicates of five laying ducks. Birds were fed diet supplemented with mixture of bio-calcium and vitamin D at 0 (T1), 0.05 (T2), 0.10 (T3), and 0.20 (T4) %, respectively during 4 weeks of experimental period. The result demonstrated that hen-day egg production significantly improved in T2 and T4 groups ($P<0.05$) compared to T1 group. There were no significant differences ($P>0.05$) on egg weight and egg mass among groups, except T2 group showed a lower egg weight ($P<0.05$). Highest average daily feed intake was found in T4 group when compared to other groups. Feed conversion per 1 kilogram of egg was improved ($P<0.05$) in T2, T3 and T4 groups, respectively. On the other hand, no significant differences were observed ($P>0.05$) on eggshell ratio, albumen ratio, yolk ratio, yolk color, albumen height, haugh units, eggshell thickness and calcium content in eggshell. Eggshell breaking strength increased ($P<0.05$) in T4 group compared with other groups. In conclusion, a mixture of bio-calcium and vitamin D can be used as feed supplement to improve egg performance and eggshell hardness, especially 0.20% level.

Keywords: bio-calcium, eggshell quality, egg performance, laying ducks, vitamin D

บทนำ

การเลี้ยงเป็ดไข่ในโรงเรือนหรือพื้นที่ที่จำกัดนั้นจำเป็นต้องมีการจัดการการให้อาหารที่มีประสิทธิภาพ และอาหารที่ให้ต้องมีโภชนะที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการตามระยะการให้ผลผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งควรมีการพิจารณาการใช้และแหล่งของแคลเซียมและวิตามินดีที่เหมาะสม เพราะถือว่าเป็นโภชนะพื้นฐานที่มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อคุณภาพเปลือกไข่ แคลเซียมมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายสัตว์ปีก โดยเฉพาะกระบวนการสร้างเปลือกไข่ ซึ่งแคลเซียมจะมีทำงานร่วมกันอย่างใกล้ชิดกับฟอสฟอรัสและวิตามินดี 3 โดยทั่วไปแหล่งแคลเซียมที่นิยมใช้ในอาหารสัตว์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แคลเซียมอินทรีย์ (Organic calcium) และแคลเซียมอนินทรีย์ (Inorganic calcium) ถึงแม้ว่าแคลเซียมอินทรีย์ หรืออาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าไบโอแคลเซียม (Bio-calcium) จะมีราคาสูงกว่ามาก แต่จะประกอบไปด้วยเปปไทด์ที่มีชีวปริมาณออกฤทธิ์ (Bioavailability) สูงกว่าแคลเซียมอนินทรีย์ โดยเปปไทด์ดังกล่าวสามารถจับกับแคลเซียม (Calcium chelating) และป้องกันการตกตะกอนของแคลเซียมในรูปเกลือแคลเซียมฟอสเฟต มีคุณสมบัติในการช่วยเพิ่มการดูดซึม และสามารถ

นำไปใช้ประโยชน์ได้ดี (Jung et al., 2006) วิตามินดี หรือ แคลซิไทรอล (Calcitriol) จัดเป็นวิตามินที่มีคุณสมบัติสามารถละลายได้ดีในไขมัน มีหน้าที่สำคัญในการรักษาสมดุลของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกายสัตว์ โดยเพิ่มการดูดซึมของแคลเซียมบริเวณเยื่อผนังลำไส้เล็กพร้อมกับไขมันและเกลือน้ำดี ด้วยการกระตุ้นการสร้างโปรตีนที่จับกับแคลเซียม ส่งผลให้แคลเซียมในกระแสเลือดสัตว์เพิ่มขึ้น (Leeson and Summers, 2001; Nascimento et al., 2014) ซึ่งมีความจำเป็นต่อการกระบวนการสร้างกระดูกและเปลือกไข่ โดยจะไปช่วยเพิ่มการสะสมแคลเซียมในกระดูก ทำให้กระดูกมีการเจริญเติบโตแล้ว ยังช่วยในการนำแคลเซียมไปใช้ในกระบวนการสร้างไข่ได้อีกด้วย Chen (2000) รายงานว่า การเสริมวิตามินดี 3 ปริมาณ 1000 และ 2000 ICU ต่อ กิโลกรัม ช่วยเพิ่มผลผลิตไข่ และความแข็งแรงของเปลือกไข่ในไข่เป็ด อีกทั้งการเสริมวิตามินดี 3 ยังสามารถเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดได้ ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้ จึงได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการเสริมส่วนผสมของไบโอแคลเซียมและวิตามินดีระดับต่างๆ ในอาหารเป็ดไข่ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ ความแข็งแรงและองค์ประกอบแร่ธาตุของเปลือกไข่

วิธีการทดลอง

สัตว์ทดลองและการวางแผนการทดลอง

ใช้เปิดไข่ เพศเมีย สายพันธุ์กากีแคมเบลล์ อายุ 30 สัปดาห์ จำนวน 80 ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design; CRD) โดยแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 4 ซ้ำๆ ละ 5 ตัว เปิดจะได้รับอาหารพื้นฐาน + ส่วนผสมของไบโอแคลเซียมและวิตามินดี ที่ระดับ 0 (T1), 0.05 (T2), 0.10 (T3) และ 0.20 (T4) เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนผสมของไบโอแคลเซียมและวิตามินดี (Bicalcio™) ประกอบไปด้วยไบโอแคลเซียม 50 กรัม/กิโลกรัม และวิตามินดี 2,500,000 IU/กิโลกรัม อาหารพื้นฐานที่ใช้ในการทดลองถูกกำหนดคุณค่าทางโภชนาว่าไม่ต่ำกว่าความต้องการประจำวัน (17.5% CP; 2,850 kcal/kg) เปิดไข่ถูกเลี้ยงแบบปล่อยพื้นในคอกขนาด 1.44 ตารางเมตร โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ส่วน คือ พื้นที่สำหรับนอนและวางไข่จะเป็นพื้นคอนกรีตปูรองด้วยแกลบหนา 2-3 นิ้ว และพื้นที่เล่นน้ำและกินน้ำจะเป็นพื้นสแลทพลาสติกพร้อมวางรางน้ำไว้ในแต่ละคอก โรงเรือนที่ใช้ทดลองเป็นโรงเรือนระบบระเหยไอน้ำ (Evaporative cooling system) เปิดจะได้รับอาหารอย่างไม่จำกัด (Ad libitum) และได้รับน้ำตลอดเวลา ให้แสงสว่าง 17 ชั่วโมงต่อวัน ตลอดระยะเวลาการทดลองทั้งหมด 4 สัปดาห์ จะทำการบันทึกปริมาณอาหารที่กิน จำนวนไข่ และน้ำหนักไข่ เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณหาสมรรถภาพการผลิตไข่

การวิเคราะห์คุณภาพไข่และปริมาณแคลเซียมในเปลือกไข่

ตลอดระยะเวลาทำการทดลองในแต่ละสัปดาห์จะสุ่มไข่เปิด จำนวน 48 ฟอง จากกลุ่มทดลองทั้ง 4 กลุ่มๆ ละ 12 ฟอง (3 ฟอง/คอก) เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพไข่ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์เปลือกไข่ เปอร์เซ็นต์ไข่ขาว เปอร์เซ็นต์ไข่แดง ค่าสีไข่แดง ค่าความสูงไข่ขาว ค่าชอก (Haugh unit) ค่าความหนาของเปลือกไข่ และค่าความแข็งของเปลือกไข่ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ไข่อัตโนมัติ (EMT-7300, Robotmation Co. Ltd., Tokyo, Japan) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมใน

เปลือกไข่ โดยการนำตัวอย่างเปลือกไข่ มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.1 มิลลิเมตร และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณของแร่ธาตุด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-ray Spectrometer : EDS)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างที่พหุคูณด้วยค่า F-test เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Tests ที่ระดับนัยสำคัญ $P < 0.05$

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของการเสริมส่วนผสมของไบโอแคลเซียมและวิตามินดีในอาหารพื้นฐานของเปิดไข่ ที่อายุ 30 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (Table 1) พบว่า เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่มีค่าเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) ในกลุ่ม T2 และ T4 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม T1 น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟองและมวลไข่มีค่าไม่แตกต่างกันในทุกกลุ่มการทดลอง ($P > 0.05$) ยกเว้นกลุ่ม T2 ที่น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟองมีค่าลดลงเล็กน้อย ($P < 0.05$) ปริมาณอาหารที่กินได้เฉลี่ยต่อวันมีค่าสูงสุดในกลุ่ม T4 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ 1 กิโลกรัม มีค่าดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมส่วนผสมของไบโอแคลเซียมและวิตามินดี (T2, T3 และ T4) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chen (2000) ที่ทำการศึกษการเสริมวิตามินดี 3 ในอาหารเปิดไข่ พบว่าการเสริมวิตามินดี 3 จำนวน 1,000 ICU/kg ขึ้นไปสามารถช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ 1 กิโลกรัม Table 2 แสดงผลคุณภาพภายในฟองไข่และเปลือกไข่ของเปิดไข่ที่ได้รับอาหารเสริมส่วนผสมของไบโอแคลเซียมและวิตามินดี ที่อายุ 30-34 สัปดาห์ พบว่า เปอร์เซ็นต์เปลือกไข่ เปอร์เซ็นต์ไข่ขาว เปอร์เซ็นต์ไข่แดง ค่าสีไข่แดง ค่าความสูงไข่ขาว ค่าชอก ความหนาของเปลือกไข่ และปริมาณแคลเซียมในเปลือกไข่ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในทุกกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$) ยกเว้นความแข็งแรงของเปลือกไข่ที่มีค่าเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) ในกลุ่ม T4 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆ สอดคล้องกับการศึกษาของ Bölükbaşı et al. (2005) ที่รายงานว่า การเสริมแคลเซียม และวิตามินดี 3 ในอาหารไก่ไข่ต่อระดับของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในเลือดและเปลือกไข่ พบว่าการเสริมแคลเซียมที่ระดับ 3.5% มีปริมาณแคลเซียมสะสมในเปลือกไข่สูงที่สุด ($P<0.05$) อีกทั้งเมื่อเสริมวิตามินดี 3 ร่วมด้วยทำให้มีปริมาณแคลเซียมในเลือดและการสะสมในเปลือกไข่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริม เช่นเดียวกับ Chen (2000) ที่รายงานว่า การเสริมวิตามินดี 3 ปริมาณ 1000 และ 2000 ICU ต่อ กิโลกรัม ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเปลือกไข่ในไข่เป็ดได้ นอกจากนี้แล้วยังมีความเป็นไปได้ว่า การที่เปลือกไข่มีความแข็งแรงเพิ่ม

ขึ้นมีความสัมพันธ์กับรูปแบบของแคลเซียมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ซึ่งเป็นแคลเซียมอินทรีย์ หรือไบโอแคลเซียม ด้วยเหตุผลที่ว่าแร่ธาตุอินทรีย์ประกอบไปด้วยไอออนของโลหะ (Metal ions) ที่เชื่อมกับโมเลกุลอินทรีย์ จึงส่งผลให้ชีวปริมาณออกฤทธิ์ของแร่ธาตุ (Mineral bioavailability) มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งโครงสร้างอินทรีย์จะมีความคงตัว (Stability) ในระบบย่อยอาหารและมีอัตราการดูดซึมสูง (AAFCO, 2005) คล้ายคลึงกับ Yenice et al. (2015) ที่รายงานว่า การเสริมส่วนผสมของแร่ธาตุรอง (Trace mineral mixture) ได้แก่ แมกนีเซียมสังกะสี และ ทองแดง ในรูปแบบอินทรีย์ (Organic form) ในอาหารไก่ไข่ระยะสุดท้าย มีผลทำให้อัตราการดูดซึมของแร่ธาตุรองเหล่านั้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

Table 1 Egg performance of laying ducks fed dietary mixture of bio-calcium and vitamin D during 30 to 34 weeks-old

Item	T1	T2	T3	T4	SEM	P-value
Hen-day egg production (%)	82.25 ^b	90.00 ^a	88.00 ^{ab}	89.25 ^a	1.189	0.050
Egg weight (g/egg)	67.76 ^a	65.65 ^b	66.64 ^{ab}	66.92 ^a	0.258	0.015
Egg mass (g/b/d)	55.34	58.90	58.39	59.48	0.832	0.318
Average daily feed intake (g/b/d)	140.05 ^b	139.18 ^b	141.46 ^b	154.95 ^a	3.293	0.050
Feed conversion per 1 kilogram of egg	3.42 ^b	2.69 ^a	2.86 ^a	2.83 ^a	0.097	0.021

^{a,b} Different superscripts in the same row indicate significant difference ($P<0.05$)

สรุปผล

การทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่า ส่วนผสมของไบโอแคลเซียมและวิตามินดีสามารถนำไปใช้เป็นสารเสริมในอาหารเพื่อช่วยเพิ่มสมรรถภาพการผลิตไข่ และค่าความแข็งแรงของเปลือกไข่ให้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเสริมในอาหารเป็ดไข่ที่ระดับ 0.20%

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท ออคต้า เมมโมเรียล จำกัด และ Biomix S.A. ประเทศโคลัมเบีย ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณกองการวิจัยและนวัตกรรม และคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยติดต่อประสานงาน และสนับสนุนปัจจัยในการทำงานวิจัย

Table 2 Internal egg and eggshell qualities of laying ducks fed dietary mixture of bio-calcium and vitamin D during 30 to 34 weeks-old

Item	T1	T2	T3	T4	SEM	P-value
Yolk ratio (%)	31.25	32.44	31.51	32.27	0.284	0.416
Yolk color	11.69	11.26	11.61	11.39	0.085	0.270
Albumen ratio (%)	56.95	55.95	56.65	55.65	0.308	0.446
Albumen height (mm)	5.22	5.13	5.12	5.20	0.060	0.918
Haugh units	66.19	65.63	63.03	65.96	0.614	0.241
Eggshell ratio (%)	11.80	11.91	11.85	12.08	0.079	0.656
Eggshell thickness (mm)	0.35	0.34	0.35	0.35	0.002	0.169
Eggshell breaking strength (kg/cm ²)	4.08 ^b	4.40 ^b	4.43 ^b	4.85 ^a	0.086	0.003
Calcium content in eggshell (%)	69.95	66.66	67.66	70.03	0.661	0.180

^{a,b}Different superscripts in the same row indicate significant difference (P<0.05)

เอกสารอ้างอิง

- Bölükbaşı, S.C., S. Çelebi, and N. Utlü. 2005. The effects of calcium and vitamin D3 in diet on plasma calcium and phosphorus, eggshell calcium and phosphorus levels of laying hens in late laying production period. *Int. J. Poult. Sci.* 4:600-603.
- Association of American Feed Control Officials. 2005. AAFCO Official publication. Atlanta, GA, pp 307-308.
- Chen, T.F. 2000. Effects of vitamin D3 supplementation on laying performance and eggshell quality of laying Tsaiya ducks. *Asian-australas. J. Anim. Sci.* 13:131-133.
- Chen, W., F. Zhao, Z.M. Tian, H.X. Zhang, D. Ruan, Y. Li, S. Wang, C.T. Zheng, and Y.C. Lin. 2015. Dietary calcium deficiency in laying ducks impairs eggshell quality by suppressing shell biomineralization. *J. Exp. Biol.* 218:3336-3343.
- Jung, W.K., B.J. Lee, and S.K. Kim. 2006. Fish-bone peptide increases calcium solubility and bioavailability in ovariectomised rats. *Br. J. Nutr.* 95(1):124-128.
- Leeson, S. and Summers J.D. 2001. Nutrition of the chicken. 4th ed. Guelph: University Books. p. 179-320.
- Nascimento, D.R., A.E. Murakami, A.F.Q.M. Guerra, I.C. Ospinas-Rojas, M.F.Z. Ferreira, and J.C. Fanhani. 2014. Effect of different vitamin D sources and calcium levels in the diet of layers in the second laying cycle. *Braz. J. Poult. Sci.* 16(2):37-42.

Yenice, E., C. Mizrak, M. Gültekin, Z. Atik, and M. Tunca. 2015. Effects of organic and inorganic forms of manganese, zinc, copper, and chromium on bioavailability of these minerals and calcium in late-phase laying hens. *Biol. Trace. Elem. Res.* 167:300-307.