

산란계의 혈액 및 계란지질에 관한 고수준의 미세캡슐화 이눌린 급여효과

박상오 · 박병성[†]

[†]강원대학교 동물생명공학과
(2012년 4월 27일 접수 ; 2012년 6월 12일 수정 ; 2012년 6월 15일 채택)

Effect of Feeding the High Levels of Microcapsulated Inulin on Egg and Blood Lipid Profile in Laying Hens

Sang-Oh Park · Byung-Sung Park[†]

[†]Dept. of Animal Biotechnology, Kangwon National University,
Chuncheon, Gangwondo, 200-701, Korea
(Received April 27, 2012 ; Revised June 12, 2012 ; Accepted June 15, 2012)

요약 : 본 연구는 산란계 사료 내 돼지감자(*Helianthus tuberosus* L.)로부터 제조한 미세캡슐화 이눌린(microcapsulated inulin, MI)의 고수준 첨가가 혈액지질, 계란콜레스테롤 및 지방산조성에 미치는 영향을 조사하기 위해 실시하였다. 25 주령 갈색산란계를 이용하여 4 주 동안 실험사료를 급여하였으며, 실험처리구는 MI 무첨가 대조군, 800 ppm, 900 ppm 및 1,000 ppm 로 구분하였다. 혈액 중성지방, 총콜레스테롤 및 계란 콜레스테롤은 MI 무첨가군과 비교할 때 첨가군에서 유의하게 감소하였다. 계란 포화지방산 조성은 MI 무첨가군과 비교할 때 첨가군에서 낮았으나 불포화지방산은 그 반대로 유의하게 높았다. 본 연구결과는 미세캡슐화 이눌린을 산란계 사료 내 첨가해주면 혈액지질 감소에 의해 계란품질을 향상시킬 수 있음을 시사해준다.

주제어 : 돼지감자, 미세캡슐화 이눌린, 혈액지질, 계란지질.

Abstract : This study was carried out to investigate the feeding effects of microcapsulated inulin (MI) from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) on blood lipid, fatty acid composition and cholesterol of egg in laying hens. Hyline brown layers of 25 weeks old were subjected to one of the following treatments for 4 weeks: a control group without MI, 800 ppm, 900 ppm, and 1,000 ppm. Compared with control group, levels of triacylglyceride and cholesterol in blood and egg cholesterol decreased significantly in groups MI groups. Egg saturated fatty acid was lower in MI groups than control group but not unsaturated fatty acid was significantly high in MI groups as compared to the group without MI. The results suggest that the addition of microcapsulated inulin to a laying hens' diet can improve egg quality by reducing blood lipids.

Keywords : Jerusalem artichoke, microcapsulated inulin, blood lipid, egg cholesterol.

[†]주저자 (E-mail : bspark@kangwon.ac.kr)

1. 서론

친환경을 강조하는 유기축산 및 동물복지가 강조되면서 가축사료 내 첨가되는 항생제의 규제가 시작되었다. 항생제의 지속적인 사용은 내성균의 출현으로 심각한 사회적문제가 되었으며 항균성장촉진을 위한 대체물질로써 프리바이오틱스가 연구되었다 [23, 26]. 프리바이오틱스란 소화효소에 의해서 분해되지 않으며 대장 내 비피더스균의 활성효과를 갖는 것으로써 숙주동물의 건강에 도움을 주는 비분해성 올리고당이다 [12]. 이눌린은 과당이 β (2 \rightarrow 1) glycosidic bond로 연결된 선형 과당중합체로써 동물의 위액과 소화효소에 의하여 분해되지 않고 80% 이상이 대장에 도달하여 장내 미생물에 대한 성장기질로서 이용된다 [2-3, 28, 38]. 동물사료에 대한 프리바이오틱스의 첨가는 항생제를 사용하지 않고서 장 미생물 균형을 유지하는데 도움을 줌과 동시에 더욱 높은 축산물의 생산성을 나타낼 수 있어야 한다. 그러나 이눌린을 가금사료에 직접 혼합하게 되면 공기 중 보관 및 유통상태에서 쉽게 변성될 수 있으며 동물의 위에서 내산성이 약하여 대장에 도달하기 전에 분해흡수율이 높아져서 프리바이오틱스로서의 기능이 낮아질 수 있다 [7, 21]. 최근 이눌린을 항산화제인 비타민 E와 함께 고압균질화 시킨 후 위와 소장에서 안정된 강산성 및 대장 용해성이 높은 장용성 피복제제로서 제조한 미세캡슐화 이눌린 (microcapsulated inulin : MI)이 개발되었다. 미세캡슐화 이눌린이 브로일러의 면역능력, 장내 유익한 미생물 및 성장능력을 촉진함과 동시에 닭고기의 품질 및 저장성을 연장하는 개선효과가 보고되었다 [21-24]. 동물사료 내 이눌린의 첨가는 지질대사를 개선하고 소화관으로부터 미네랄 흡수율 증가를 통한 계란 콜레스테롤 감소 및 난각강도를 개선할 수 있음이 보고되었다 [2, 10]. 그러나 산란계에 대한 미세캡슐화 이눌린의 급여효과는 보고된 바 거의 없다. 본 연구는 유기축산을 위한 항균성장촉진제로써 산란계 사료 내 고수준의 미세캡슐화 이눌린의 첨가가 혈액지질 감소, 맹장 내 유익한 미생물 증식 및 계란품질 향상에 미치는 영향을 규명하기 위하여 실시하였다.

2. 실험

2.1. 이눌로 프리 바이오틱스의 제조

국산 돼지감자 (*Helianthus tuberosus* L.)로부터 French [11]에 의해서 제시된 열수, 냉각 추출 방법으로 평균 중합도 26을 지닌 이눌린을 추출, 동결건조하였다. 항산화제로써 비타민 E (α -tocopheryl acetate) 15ppm과 이눌린을 70°C의 따뜻한 물과 혼합하여 고압균질기 (T25 Basic, IKA, German)를 이용하여 고압균질물을 수득하였다. 고압균질물에 장용피복제로써 슈레테릭 (Sureteric; Colorcon, UK)을 압축공기로 쏘아서 초미세분체 피복물(고압균질물 9: 슈레테릭 1)을 제조하였다. 분무건조기 (B-191, Buchi, Swiss)에 의해서 건조하여 입자도 100-200 μ m, 이눌린 90% 이상을 함유하는 미세캡슐화 이눌린을 제조하였다 [22].

2.2. 실험설계

25주령 갈색산란계 (Hyline brown) 400마리를 이용하여 28주령까지 4주간에 걸쳐서 실험사료를 급여하였다. 처리구당 100마리를 4반복(반복당 25마리)으로 나누어서 완전임의 배치하였다. 실험처리구는 T1 (무첨가 대조군), T2 (MI 800 ppm), T3 (MI 900 ppm) 및 T4 (MI 1,000 ppm)로 구분하였다. 본 연구에서 MI의 최대 첨가수준을 1,000 ppm (0.10% 수준)으로 선정할 이유는 실제 사료회사에서 산란계 사료 내 상업적으로 이용되는 일반 첨가제의 수준을 고려한 것으로써 현실적으로 투입 가능한 농도이다. 선행연구에서 병아리 사료 내 미세캡슐화 이눌로프리바이오틱스 0.7-1.0% 첨가농도는 맹장 비피도박테리아의 선택적 증식 및 면역능력을 향상시키며 [23], 육계에 대하여 450 ppm 첨가농도는 성장능력 및 닭고기 품질을 향상시키는 것으로 보고되었다 [24]. 그러나 산란계에 대한 미세캡슐화이눌린의 첨가농도는 아직 진행된 바 거의 없으며 본 연구가 최초의 보고일 것으로 생각된다.

2.3. 동물사양관리

동물실험은 Swanson [32]에 의해서 제시된 과학적이고 윤리적인 절차와 강원대학교 동물실험위원회 (IACUC, Institutional Animal Care and Use Committee of Kangwon National University, South Korea)의 승인에 따라 수행

되었다. 실험사료는 NRC [20]에 의해서 권장된 영양소 요구량을 충족 또는 약간 높게 배합하였으며 MI의 첨가수준은 옥수수 1kg당 10g을 줄여서 배합하였다 (Table 1). 산란기간 중 점등시간은 17시간이 되도록 조절하였고 물과 실험사료는 자유섭취하도록 하였다.

Table 1. Formula and Chemical Composition of the Basal Diet for Laying Hens

Items	Basal diets (% as-fed)
Corn grain	51.42
Soybean meal	21.80
Corn gluten meal	6.30
Wheat bran	9.70
Soybean oil	1.50
Limestone	7.70
Dicalcium phosphate	0.80
Sodium chloride	0.30
DL-methionine (50%)	0.10
L-lysine (80%)	0.08
Vitamin-mineral mix. ¹⁾	0.30
Total	100
Chemical composition	
Crude protein (%)	18.78
ME (kcal/kg) ²⁾	2,900

¹⁾ Provided per kilogram of diet: vitamin A (retinyl palmitate), 1,200 IU; vitamin D3, 2,500 IU; vitamin E (dl- α -tocopheryl acetate), 20 IU; vitamin K3, 4.0 mg; thiamin, 1.5 mg; riboflavin, 50.0 mg; pantothenic acid, 17 mg; niacin, 34 mg; pyridoxine, 4.0 mg; choline chloride, 250 mg; folic acid, 0.5 mg; biotin, 0.18 mg; vitamin B12, 0.1 mg; iron, 24 mg; zinc, 40 mg; manganese, 50 mg; copper, 17 mg; iodine, 0.60 mg; selenium, 0.13 mg; cobalt, 0.70 mg. ²⁾Metabolizable energy.

2.4. 산란율과 계란품질

산란율과 난중은 매일 기록하였고 수집된 모든 자료는 전체 기간 중 평균값으로 나타냈다. 계란 품질평가는 처리구 반복당 매주 평균값에 가까운 계란 5개씩 총 20개를 선별하여 조사하였다. 호우유니트(Haugh unit, HU), 난각두께, 난각과란강도 및 난황색은 계란측정기 (egg multi tester EMT-5200, Robotmation Co. Ltd. Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다.

2.5. 계란 콜레스테롤과 지방산

상기 기술한 계란으로부터 콜레스테롤과 지방산 조성 분석을 위하여 삶은 계란난황을 분리하였다. 콜레스테롤 함량은 내부표준물질 사용 방법을 사용하여 Direct saponification gas chromatographic 방법에 따라서 실시하였다 [19]. 콜레스테롤 표준물질과 내부 표준물질 5 α -cholestane은 미국 시그마사 제품(Sigma chemical Co, St, Louis, MO, U.S.A)을 사용하였다. 콜레스테롤은 Gas chromatographic system (model GC-15A, Shimadzu Co, Kyoto, Japan)을 이용하였고 fused silica capillary column (L \times I.D. 15m \times 0.32mm)을 사용하였다. 지질은 Folch et al. [9]의 방법에 따라서 혼합 유기용매 (chloroform : methanol = 2 : 1)를 가한 후 균질화해서 지질층을 분리하였고 지질의 메틸화는 Morrison and Smith [18]의 방법을 변형하여 실시하였다. 지방산 표준용액과 내부 표준물질 nonadecanoic acid (19:0)은 미국 Supelco사 제품 (37 Component FAME mix, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO)을 사용하였다. SPTM-2560 capillary GC column (L \times I.D. 100m \times 0.25mm, df 0.20 μ m, omegawax 320 capillary column, U.S.A)을 사용하였다 [26].

2.6. 혈액 지질

매주 1회씩 각 처리구 반복당 5마리씩 총 20마리를 임의로 선정하여 혈액을 채취하였다. 경동맥으로부터 Hamilton 25 gauge needle의 주사기를 이용하여 Heparinized tubes (Becton Dickinson, Franklin Lakes, NJ USA) 속으로 혈액 1 mL를 수집하였다. 혈장을 분리한 다음 액체질소가스로써 급속동결하였고 생화학적 분석 시까지 -78 $^{\circ}$ C 냉동보관하였다. 중성지방과 총콜레스테롤은 생화학적 효소분석 키트 (Sigma

chemical Co, St, Louis, MO, U.S.A)을 사용하여 분석하였다 [25].

2.7. 맹장 미생물

실험종료 시 처리구 반복당 5마리씩 총 20마리를 선별하여 실험동물 안락사 권장 [4]에 따라서 경추탈골에 의해서 스트레스를 주지 않고 안정적으로 희생하였다. 혐기적인 방법으로 맹장을 채취한 후 AnaeroGen sachets (Oxoid, Hampshire, UK)가 갖춰진 sealed anaerobic jars (Oxoid, Basingstoke, UK)에서 혐기상태로 유지하였다. 맹장 내용물을 멸균된 혐기성 생리 식염수 (phosphorus buffered saline; PBS 0.1 M, pH 7.0)로써 10 배 희석하였고 계수를 위하여 일련의 희석을 계속하였다. 배양은 희석된 10⁻²~10⁻⁷에서 각각 100 μ L 씩 분주하여 멸균된 평판 선택배지 즉 *Lactobacillus* sp. (MRS agar, Oxoid, Basingstoke, UK); *Bifidobacterium* sp. (*Bifidobacterium* selective agar, BIM-25 medium); *Salmonella* sp. (SS agar Difco, CM0099); *E. coli* sp. (McConkey purple agar)에서 실행하였다. 37 $^{\circ}$ C에서 48 시간 배양한 후 미생물 카운터로써 균수를 조사하였다. 미생물 균락의 수는 맹장내용물 g 당 균수 (CFU, colony-forming unit/g of wet of cecum content)로써 상용로그를 취하여 제시하였다.

2.8. 통계분석

분석된 모든 자료의 통계처리는 SAS [30]의 GLM procedure를 이용하여 각 처리구의 평균과 표준오차를 구하고 분산분석을 실시한 다음 Duncan's multiple range test에 의하여 95%

수준에서 처리 평균치 간의 통계적 유의성을 검정 (P<0.05)하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 산란능력

산란계 사료 내 고수준의 MI 첨가가 산란율 및 난중에 미치는 영향은 Table 2에서 보는바와 같다. 산란율과 난중은 T2, T3, T4가 T1과 비교할 때 유의하게 높았으나 (P<0.05) T2, T3, T4 사이의 통계적인 유의차는 인정되지 않았다. 본 연구결과 산란계 사료 내 미세캡슐화 이눌린의 첨가급여로 인해서 산란율과 난중을 유의하게 높일 수 있다는 점을 확인할 수 있었고 이눌린 또는 MI를 급여하지 않은 처리군에서 산란율과 난중이 유의하게 낮아짐을 관찰하였다. 이눌린은 동물의 대장 내 비피더스균과 젓산균에 대한 뛰어난 기질이 될 뿐만 아니라 면역능력을 높이고 소화관에서 미네랄을 비롯한 각종 영양소의 흡수율을 향상시킨다 [2, 27, 29]. MI 처리군에서 산란율과 난중이 개선되었던 점은 바로 이러한 기작에 의한 것으로 생각할 수 있다.

3.2. 혈액 지질

산란계 사료 내 고수준의 MI 첨가가 혈액 지질에 미치는 영향은 Table 3, Fig. 1에서 보는바와 같다. 혈액 중성지방 및 총콜레스테롤 함량은 T1과 비교할 때 T2, T3, T4에서 유의하게 낮았으며 MI 첨가구에서 혈액 중성지방 및 총콜레스테롤은 28.35% 및 27.41%까지 감소하

Table 2. Characteristics of Egg Production in Laying Hens Fed the Experimental Diets

Items	Groups ¹⁾				PSE ²⁾
	T1	T2	T3	T4	
Egg production (%)	85.30 ^b	86.43 ^a	86.77 ^a	86.90 ^a	0.2380
Egg weight (g)	55.60 ^b	56.47 ^a	56.90 ^a	56.63 ^a	0.1710

¹⁾ T1: control, T2: MI(microcapsulated inulin) 800 ppm, T3: MI 900 ppm, T4: MI 1,000 ppm.

²⁾ PSE : Pooled standard error of mean values.

^{a,b} Mean values within a same row with unlike superscript letter were significantly different (p<0.05).

Table 3. Levels of Triacylglyceride and Total Cholesterol in Plasma from Laying Hens Fed the Experimental Diets (mg/dL)

Items ²⁾	Groups ¹⁾				PSE ³⁾
	T1	T2	T3	T4	
Triacylglyceride	305.53 ^a	230.57 ^b	227.53 ^b	218.90 ^c	10.5621
Total cholesterol	135.34 ^a	108.27 ^b	99.54 ^c	98.25 ^c	4.5320

¹⁾ The same as Table 2.

³⁾ PSE : pooled standard error of mean values.

^{a,b,c} Mean values within a same row with unlike superscript letter were significantly different ($p < 0.05$).

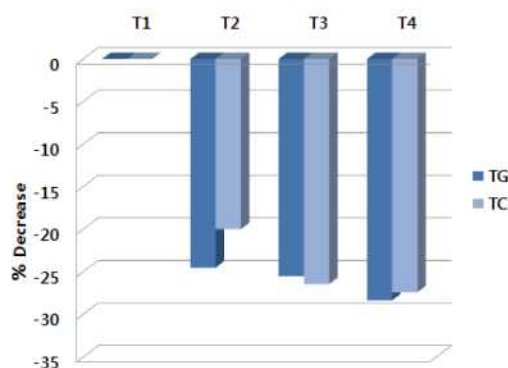


Fig. 1. % Decrease in plasma triacylglyceride (TG) and total cholesterol (TC) from laying hens fed the experimental diets.

T1: control, T2: MI(microcapsulated inulin) 800 ppm, T3: MI 900 ppm, T4: MI 1,000 ppm.

였다 ($P < 0.05$). MI 첨가구 사이의 통계적인 유의 차이가 인정되었으며 MI 첨가수준이 800ppm 이상으로 증가할수록 혈액 중성지방과 총콜레스테롤은 유의하게 감소하였다 ($P < 0.05$). 이눌린은 지방합성 억제 및 분해 촉진효과를 갖음과 동시에 혈액 지질을 낮추는 것으로 알려져 있으며 [8, 34], 고콜레스테롤 혈증의 사람에서 치커리 이눌린의 급여가 혈액 중성지방과 총콜레스테롤을 떨어뜨리는 것으로 보고되었다 [3]. 이눌린으로부터 대장에서 생성된 짧은 사슬 지방산의 작용으로 간 지방산 합성감소 및 지방

합성효소 유전자 발현이 억제되어 혈액 중성지방이 낮아질 수 있다 [5]. 이눌린으로부터 생성된 프로피온산이 지질대사 조절에 영향하거나 [36] 비피더스균과 젓산균의 콜레스테롤을 제거 작용으로 혈액 콜레스테롤이 낮아질 수 있다 [35]. 이눌린은 담즙산의 배설증가 및 콜레스테롤 합성과 관련한 제한효소, HMG-CoA reductase activity의 억압 [8, 28]을 통해서 간에서 콜레스테롤 합성을 억제함으로써 혈액 콜레스테롤을 낮출 수 있다.

3.3. 계란품질

고수준의 MI를 섭취한 산란계에서 계란의 호우유니트, 난각두께, 난각파란강도 및 난황색에 미치는 영향은 Table 4에서와 같다. 호우유니트, 난각두께, 난각파란강도는 T2, T3, T4가 T1과 비교할 때 유의하게 높았으며 MI 첨가군 사이의 통계적인 유의차가 인정되었다 ($P < 0.05$). 난황색은 각 처리구간 통계적인 유의차가 나타나지 않았다. 호우유니트, 난각두께, 파란강도 및 난황색은 계란 품질을 결정하는데 중요한 요소이다. 웰빙 시대 소비자 기호도와 관련하여 계란의 상품적인 가치를 높이는 데 있어서 내부와 외부의 품질이 우수해야 하는데 특히, 호우유니트는 내부 품질의 척도가 된다 [15]. 본 실험결과 MI 첨가구에서 계란품질이 향상되었던 점은 이눌린의 영양소 흡수율 증가 및 난각의 주요 구성분인 칼슘 흡수율 향상 효과에 기인한 것으로 추정해 볼 수 있다 [2, 10].

Table 4. Haugh Unit, Egg Shell Thickness, Egg Shell Breaking Strength and Egg Yolk Color in Laying Hens Fed the Experimental Diets

Items	Groups ¹⁾				PSE ²⁾
	T1	T2	T3	T4	
Haugh unit (HU)	73.71 ^c	87.66 ^b	87.56 ^b	90.59 ^a	1.9936
Egg shell thickness (mm)	0.23 ^b	0.31 ^a	0.31 ^a	0.34 ^a	0.0152
Egg shell breaking strength (kg/cm ²)	1.79 ^c	1.96 ^b	2.04 ^b	2.20 ^a	0.0705
Egg yolk color	6.88	6.81	6.86	6.81	0.0344

¹⁾ The same as Table 2.

²⁾ PSE : Pooled standard error of mean values.

^{a,b,c} Mean values within a same row with unlike superscript letter were significantly different (p<0.05).

Table 5. Cholesterol Content of Egg Yolk from Laying Hens Fed the Experimental Diets

Items	Groups ¹⁾				PSE ²⁾
	T1	T2	T3	T4	
Egg yolk(g/60g of egg)	15.17	15.17	15.37	15.15	0.0407
Total cholesterol					
mg/g of yolk	13.78 ^a	13.47 ^a	12.74 ^b	12.56 ^b	0.1606
mg/60 of egg	209.04 ^a	204.34 ^b	195.82 ^c	190.28 ^d	2.3285

¹⁾ The same as Table 2.

²⁾ PSE : Pooled standard error of mean values.

^{a,b} Mean values within a same row with unlike superscript letter were significantly different (p<0.05).

3.4. 계란 콜레스테롤과 지방산

고수준의 MI 첨가구에서 조사된 계란의 콜레스테롤과 지방산 조성은 Table 5 및 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 60g 기준하여 제시된 계란의 콜레스테롤은 T1이 가장 높았고 T4, T3, T2 순서로 MI 첨가구에서 8.97%까지 유의하게 감소하였다 (P<0.05). 계란 포화지방산 조성은 T2, T3, T4가 T1에 비해서 낮았으나 불포화지방산은 그 반대로 유의하게 높았다 (P<0.05). 본 연구에서 MI 첨가구가 대조구와 비교할 때

계란의 콜레스테롤 감소효과가 컸던 점은 산란계 혈액의 총 콜레스테롤 수준이 가장 낮았던 점 (Table 3)을 반영한 것으로 판단된다. MI 첨가구에서 포화지방산이 낮았고 불포화지방산이 높았던 점은 하부소화관에서 생성된 짧은 사슬지방산이 간 문맥을 통해서 간으로 유입된 후 대사되는 지방산 생합성과 관련이 있을 것으로 추정해 볼 수 있다 [14, 17, 31].

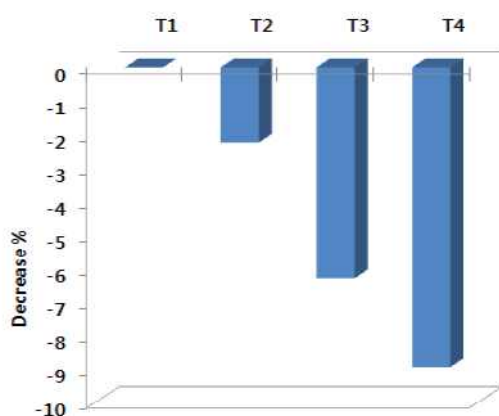


Fig. 2. % Decrease in egg cholesterol from laying hens fed the experimental diets. T1: control, T2: MI(microcapsulated inulin) 800 ppm, T3: MI 900 ppm, T4: MI 1,000 ppm.

3.5. 맹장 미생물

산란계 사료 내 고수준의 MI 첨가가 산란계 맹장 내용물의 미생물변화에 미치는 영향은 Table 7 과 같다. 맹장의 유익한 미생물, 비피더스균과 젖산균의 성장은 T2, T3, T4 가 T1 과 비교할 때 자극되었으나 이와 반대로 유해한 대장균과 살모넬라의 성장은 뚜렷하게 억제되었다 ($P<0.05$). MI 첨가구에서 맹장 내 유익한 미생물 군수가 높았고 유해한 미생물 군수가 낮았던 점은 이눌린이 위와 소장을 우회함으로써 소화효소에 의한 분해흡수율이 낮아짐과 동시에 맹장에서 발효되어 비피더스균과 젖산균의 성장을 위한 기질로서 활용되고 강력한 생체 항균활성을 나타냈기 때문으로 생각할 수 있다 [1, 14]. Rada et al., [27]은 1 주령 산란계에게 이눌린 함유사료를 급여하였을 때 맹장의 비피더스균의 유의적인 증가를 보고하여 본 결과를 뒷받침해주고 있다. 소화관에서 미생물의

Table 6. Fatty Acid Composition of Egg Yolk Lipids from Laying Hens Fed the Experimental Diets (% of total fatty acid)

Fatty acids	Groups ¹⁾				PSE ²⁾
	T1	T2	T3	T4	
14:0	0.31 ^a	0.27 ^b	0.25 ^b	0.28 ^a	0.0103
16:0	23.80 ^a	22.70 ^b	22.15 ^b	22.44 ^b	0.1877
16:1n-7	3.75 ^c	4.15 ^b	4.80 ^a	4.08 ^b	0.1241
18:0	14.32 ^a	10.50 ^c	11.10 ^b	10.03 ^d	0.5039
18:1n-9	42.55 ^c	46.01 ^a	45.69 ^b	46.40 ^a	0.4590
18:2n-6	14.80 ^d	15.70 ^b	15.50 ^c	16.20 ^a	0.1534
18:3n-6	- ³⁾	-	-	-	-
18:3n-3	0.17	0.20	0.25	0.21	0.0548
20:1n-9	0.30 ^b	0.47 ^a	0.26 ^b	0.36 ^b	0.0270
20:5n-3	-	-	-	-	-
22:6n-3	-	-	-	-	-
SFA ⁴⁾	38.43 ^a	33.47 ^b	33.50 ^b	32.75 ^c	0.6854
UFA ⁵⁾	61.57 ^c	66.53 ^b	66.50 ^b	67.25 ^a	0.6884

¹⁾ The same as Table 2. ²⁾PSE:Pooledstandarderrorofmeanvalues. ³⁾Notdetected.

⁴⁾ SFA: saturated fatty acid. ⁵⁾UFA:unsaturatedfattyacid.

a,b,c,d Mean values within a same row with unlike superscript letter were significantly different ($p<0.05$).

Table 7. Cecum Bacterial Populations from Laying Hens Fed the Experimental Diet ($\log_{10}\text{cfu/g}$)

Items	Groups ¹⁾				
	T1	T2	T3	T4	PSE ²⁾
<i>Bifidobacterium</i>	6.68 ^b	8.42 ^a	8.52 ^a	8.56 ^a	0.2474
<i>Lactobacillus</i>	6.16 ^b	7.87 ^a	7.91 ^a	7.88 ^a	0.2282
<i>E. coli</i>	7.45 ^a	6.69 ^b	6.56 ^b	6.31 ^b	0.1548
<i>Salmonella</i>	6.54 ^a	5.79 ^b	5.62 ^b	5.61 ^b	0.1322

¹⁾ The same as Table 2.

²⁾ PSE : Pooled standard error of mean values.

^{a,b} Mean values within a same row with unlike superscript letter were significantly different ($p < 0.05$).

중요성은 장 상피세포에 필요한 에너지를 공급해주는 발효산물의 합성에 있어서 장 미생물의 역할, 소화관 면역체계의 자극, 비타민 K의 합성 그리고 외인성 병원성 세균의 균락화에 대한 저항성을 나타내는 것이다 [13, 16, 23]. 비피더스균과 젖산균은 동물의 건강에서 유익한 미생물로서 잘 알려져 있으며, 대장균, 클로스트리디움과 같은 미생물은 유해할 수 있다 [6]. 비피더스균과 젖산균은 영양소의 장 부착 부위에서 병원체와 경쟁하고 있기 때문에 장 내 병원균총을 낮추고 대장균 억제물질인 박테리옌을 분비하며 유기산과 기타 미생물에 대한 기질을 생성한다. 미생물 발효로부터 생성된 유기산은 젖산과 초산이며 이러한 기질은 병원균에 의한 장 균락화를 억압할 수 있다 [33, 37]. 본 연구결과는 MI를 섭취한 산란계의 맹장에서 건강을 증진시키는 비피더스균과 젖산균의 성장을 자극하는 효과가 나타났으며 유해한 대장균과 살모넬라의 증식을 억제하는 사실을 발견하였다. 따라서 미세캡슐화 이눌린이 산란계에서 항균성장촉진제로서 잠재성을 갖는 것으로 판단되며 경제성을 고려한 미세캡슐화 이눌린의 적정 첨가수준 결정을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 본다.

4. 결론

국산 돼지감자(*Helianthus tuberosus* L.)로부터 미세캡슐화 이눌린 (microencapsulated

inulin, MI)을 제조하여 산란계 사료 내 0, 800, 900 및 1,000ppm 농도수준으로 첨가해서 급여 후 계란품질, 혈액지질, 계란지질 및 맹장 미생물변화에 미치는 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 산란율, 난중 및 호우유니트, 난각두께, 난각과란강도는 MI 무첨가군과 비교할 때 MI 첨가군에서 유의하게 높았다.
2. 혈액 중성지방 및 총콜레스테롤은 MI 무첨가군과 비교할 때 MI 첨가군에서 각각 28.30% 및 27.41%까지 유의하게 감소하였다.
3. 계란 콜레스테롤은 MI 무첨가군이 가장 높았으나 MI 농도 수준대로 낮아졌으며 MI 무첨가군과 비교할 때 첨가군에서 8.97%까지 유의하게 감소하였다.
4. 계란 포화지방산 조성은 MI 첨가군이 무첨가군에 비해서 낮았으나 불포화지방산은 그 반대로 유의하게 높았다.
5. 맹장의 유익한 비피더스균과 젖산균의 성장은 MI 첨가군이 무첨가군과 비교할 때 자극되었으나 유해한 대장균과 살모넬라균의 성장은 뚜렷하게 억제되었다.

본 연구결과는 미세캡슐화 이눌린 800 ppm을 산란계 사료 내 첨가해주면 맹장 내 유익한 미생물의 증식 및 혈액지질 감소에 의해 계란생산 및 계란품질을 향상시킬 수 있음을 시사해준다. 경제성을 고려한 미세캡슐화 이눌린의 적정 첨가수준 결정을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. J. Ahn, I. U. Grun, and A. Mustapha, Effects of Plant Extracts on Microbial Growth, Color Change, and Lipid Oxidation in Cooked beef, , **24**, 7 (2007).
2. M. A. Ortuno, C. Urban, J. J. Ceron, F. Tecles, A. Allende, and F. A. Barberan, Effect of Low Inulin doses with Different Polymerisation Degree on Lipid Metabolism, Mineral Absorption, and Intestinal Microbiota in Rats with Fat-supplemented Diet, *Food Chem*, **113**, 1058 (2009).
3. J. L. Causey, Y. Xin-chua, B. C. Tungland, J. M. Feirtag, D. G. Gallaher, and J. L. Slavin, Effect of Dietary Inulin on Serum Lipids, Blood Glucose and the Gastrointestinal Environment in Hypercholesterolemic Men, *Nutr. Res*, **20**, 191 (2000).
4. B. Close, K. Banister, V. Baumans, E. M. Bernoth, N. Bromage, J. Bunyan, W. Erhardt, P. Flecknell, N. Gregory, H. Hackbarth, D. Morton, and C. Warwick, Recommendations for Euthanasia of Experimental Animals, Part 2, Laboratory animals, **31**, 1 (1997).
5. N. M. Delzenne and N. Kok, Biochemical Basis of Oligofuctose-induced Hypolipidemia in Animal Models, *J. Nutr*, **129**, 14675 (1999).
6. S. Devaraj, S. Vega-Lopez, N. Kaul, F. Schonlau, P. Rohdewald, and I. Jialal, Supplementation with a Pine Bark Extract Rich in Polyphenols Increases Plasma Antioxidant Capacity and Alters the Plasma Lipoprotein Profile, *Lipids*, **37**, 931 (2002).
7. L. M. Dorotea and D. N. M. Maris, Molecular Properties and Prebiotic Effect of Inulin Obtained from Artichoke(*Cynara scolymus* L.), *Phytochemistry*, **66**, 1476 (2005).
8. M. F. Fiordaliso, N. Kok, J. P. Desager, F. Goethals, D. Deboyser, M. Roberfroid, and N. Delzenne, Dietary Oligofructose Lowers Triglycerides, Phospholipids and Cholesterol in Serum and Very Low Density Lipoprotein of Rats, *Lipids*, **30**, 163 (1995).
9. L. Folch, M. Lees, and S. H. A. Sloane-Stanley, A simple Method for the Isolation and Purification of Total Lipids from Animal Tissues, *J. Biol. Chem*, **226**, 497 (1957).
10. A. Frank, Prebiotics Stimulate Calcium Absorption: A review, *Agro. Food Industry Hi-tech*, **21**, 15 (1999).
11. A. D. French, Chemical and Physical Properties of Fructans, *Plant Physiol*, **134**, 125 (1989).
12. G. R. Gibson and R. A. Rastall, Prebiotics: Development and Application, John Wiley and Sons, Ltd, USA. (2006).
13. J. Gong, R. J. Forster, H. Yu, J. R. Chambers, P. M. Sabour, R. Wheatcroft, and S. Chen, Diversity and Phylogenetic Analysis of Bacteria in the Mucosa of Chicken Ceca and Comparison with Bacteria in the Cecal Lumen, *FEMS Microbiol. Lett*, **208**, 1 (2002).
14. M. Kim and H. K. Shin, The Water Soluble Extract of Chicory Influences Serum and Liver Lipid Concentrations, Cecal Short Chain Fatty Acid Concentrations and Fecal Lipid Excretion in Rats, *J. Nutr*, **128**, 1731 (1998).
15. S. Lesson and F. D. Summers, Commercial Poultry Nutrition, Canada NIH 6N8, 77 (1991).
16. H. W. Lopez, C. Courdray, J. Ballanger, H. Younes, C. Demigne, and C. Rimbsy, Intestinal Fermentation Lessens the Inhibitory Effects of Phytic Acid on Mineral Utilization in Rats, *J. Nutr*, **128**, 1192 (1998).
17. T. Mitsuoka, Bifidobacteria and Their Role in Human Health, *J. Induct. Microbiol*, **6**, 263 (1990).
18. W. R. Morrison and L. M. Smith, Preparation of Fatty Acid Methylsters and Dimethylacetals from Lipid with

- Boron Fluoride Methanol, *J. Lipid. Res*, **5**, 600 (1967).
19. E. D. Naeemi, N. Ahmid, T. K. Al-Sharrah, and M. Behbahani, Rapid and Simple Method for Determination of Cholesterol in Processed food, *J. AOAC Int*, **78**, 1522 (1995).
 20. National Research Council, Nutrients Requirements of Poultry, 9th rev. National Academy Press, Washington DC. (1994)
 21. S. O. Park and B. S. Park, Effect of Dietary Microencapsulated-inulin on Carcass Characteristics and Growth Performance in Broiler Chickens, *J. Anim. Vet. Adv*, **10**, 1342 (2011a).
 22. S. O. Park and B. S. Park, Influence of Inuloprebiotic Supplementation of the Diets of Broiler Chickens on Shelf-life and Quality Characteristics of Meat, *J. Anim. Vet. Adv*, **10**, 1336 (2011b).
 23. B. S. Park, Bifidogenic Effects of Inuloprebiotics in Broiler Chickens, *J. Liê. Sci*, **18**, 1693 (2008).
 24. B. S. Park, Effect of Dietary Inuloprebiotics on Thiobarbituric Acid Reactive Substances of Chicken Meat, *J. of the Korean Oil Chemist's Soc.* **28**, 152 (2011).
 25. B. S. Park, Effects of Fly Maggot Extracts on the Liver and Plasma Lipid in Rat Fed High-fat Diets, *J. of the Korean Oil Chemist's Soc.* **27**, 290 (2010).
 26. B. S. Park, Effect of Feeding Korean Red Pine Bark Extract on the Levels of Fatty Acid and Cholesterol in Chicken Meats, *J. of the Korean Oil Chemist's Soc.* **27**, 76 (2010).
 27. V. Rada, D. Duskova, M. Marounek, and J. Petr, Enrichment of Bifidobacteria in the Hen Caeca by Dietary Inulin, *Folia Microbiol*, **46**, 73 (2001).
 28. M. B. Roberfroid, Dietary Fiber, Inulin, and Oligofuctose: A Review Comparing their Physiological Effects, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*, **33**, 103 (1993).
 29. R. D. Rolfe, The role of Probiotic Cultures in the Control of Gastrointestinal Health, *J. Nutr*, **130**, 396S (2002).
 30. SAS, SAS/STAT User's Guide: Statistics, Version 8th Ed. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina (2004).
 31. W. Scheppach, Effects of Short Chain Fatty Acids on Gut Morphology and Function, *Gut*, Suppl. **1**, 535 (1994).
 32. J. C. Swanson, The Ethical Aspects of Regulating Production, *Poult. Sci*, **87**, 373 (2008).
 33. E. Tako, R. P. Glahn, R. M. Welch, X. Lei, K. Yasuda, and D. D. Miller, Dietary Inulin Affects the Expression of Intestinal Enterocyte Iron Transporters, Receptors and Storage Protein and Alters the Microbiota in the Pig Intestine, *Brit. J. Nutr*, **99**, 472 (2008).
 34. G. V. Poppel and G. Schaafsma, Cholesterol Lowering by a Functional Yoghurt, *Proc. Food Inbred*, Europe. 31 (1996).
 35. T. Wolever, P. Spadafora, S. Cunnane, and P. Pencharz, Propionate Inhibits Incorporation of Colonic [1,2-¹³C]Acetate into Plasma Lipids in Humans, *Am. J. Clin. Nutr*, **61**, 1241 (1995).
 36. K. Yamashita, K. Kawai, and J. Itakura, Effects of Fructo-oligosaccharides on Blood Glucose and Serum Lipids in Diabetic Subjects, *Nutr. Res*, **4**, 961 (1984).
 37. W. F. Zhang, D. F. Li, W. Q. Lu, and G. F. Yi, Effects of Isomalto-oligosaccharides on Broiler Performance and Intestinal Microflora, *Poult. Sci*, **82**, 657 (2003).
 38. Z. Zsolt, H. Jaroslav, T. M. Marianna, H. Eva, S. Kateřina, H. Ferenc, P. Milada, C. Jana, and H. Anna, Sensorically and Antimicrobially Active Metabolite Production of Lactobacillus Strains on Jerusalem Artichoke Juice, **91**, 672 (2011).