

오계와 레그혼 교배종 난황의 지방산, 인지질 및 콜레스테롤 조성 비교

이다인¹ · 박은아² · 이기택^{3*}

¹충남대학교 식품공학과 학부생, ²한국의약품안전관리원 연구원, ³충남대학교 식품공학과 교수

Comparative Analysis of Egg Yolk Fatty Acid and Phospholipid Composition by Breeding Type in Ogye and White Leghorn

Dain Lee¹, Eun-Ah Park² and Ki-Teak Lee^{3*}

¹Undergraduate Student, Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

²Researcher, Korea Institute of Drug Safety and Risk Management, Seoul 14051, Republic of Korea

³Professor, Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

ABSTRACT This study aimed to characterize the nutritional attributes of eggs derived from native Korean chicken breeds and their crossbreeds, thereby assessing their potential applications in the food industry. The fatty acid, cholesterol, and phospholipid composition of egg yolks were analyzed in four groups of laying hens: the native Ogye breed (OO), White Leghorn breed (LL), and their reciprocal crossbreeds (OL and LO). Yolks from the OO and OL groups, both sired by Ogye, exhibited a significantly higher ratio of unsaturated to saturated fatty acids ($P<0.05$), ranging from 1.91 to 1.94 ($P<0.05$), compared to those from the LL and LO groups, which ranged from 1.69 to 1.75, where White Leghorn was the paternal line. Docosahexaenoic acid (DHA), an omega-3 fatty acid, was more abundant in the OO (236.4 mg/100 g), OL (207.9 mg/100 g), and LO (218.5 mg/100 g) groups than in the LL group (156.0 mg/100 g). LL yolks (671.8 mg/100 g) contained the lowest cholesterol content compared to the other groups (708.0–722.3 mg/100 g). Phospholipid profiling revealed that OO and OL possessed higher total phospholipid and phosphatidylcholine (PC) contents relative to LL and LO.

(Key words: ogye, Korean native chicken, egg yolk, phospholipids, omega-3 fatty acids)

서 론

생물다양성협약 총회에서 나고야 의정서가 채택됨에 따라 생물자원에 대한 주권이 중요해지고 있다(Roh et al., 2019). 우리나라에 유통되고 있는 난용종의 원종계와 종계 중 90% 이상을 해외 글로벌 육종회사에서 수입하고 있다. 농촌진흥청에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 재래닭의 품종을 복원하고 실용계를 생산하는 연구를 하고 있다. 또한 세계식량농업기구(FAO)의 가족다양성정보시스템(DAD-IS)에 재래닭인 연산 오계를 추가 등재하여 우리나라 재래닭의 종자 주권을 확보하는 노력을 하고 있다(Choi et al., 2015). 특히 재래닭 중 하나인 연산 화악리 오계(이하 오계)는 1980년 천연기념물 265호로 지정될 만큼 유서 깊은 품종이며, 동의보감에도 각 부위별로 건강 효능이 기재될 만큼 역사적·문화적 가치를 가진다(Kim et al., 2015). 그러나 국립축산과학원에

따르면 ‘오계의 연평균 산란수는 100개, 난용종인 레그혼은 200~250개’로 보고되어, 수입 종계에 비해 산란수가 낮아 상업적 경쟁력이 떨어진다는 한계가 있다(Kim, 2022). 그럼에도 불구하고, 우리 고유 품종의 달걀을 식품자원으로 활용하기 위해서는 그 영양적 가치와 기능성을 과학적으로 규명하는 연구가 필요하다. 난황은 단순한 에너지원에 그치지 않고, 인지질, 콜레스테롤 및 다양한 지방산 조성을 통해 인간의 뇌 기능, 심혈관 건강, 세포막 구성 등 여러 생리적 기능과 밀접히 연관되어 있으며(Xiao et al., 2020a), 식품 및 건강기능식품 산업에서 중요한 연구 대상으로 부상하고 있다(Xiao et al., 2020b). 난황 지질의 약 25%를 차지하는 인지질은 친수성 head group과 소수성 fatty acyl side chain으로 구성되어 유화제, 생체막 구성 성분, 기능성 식품 소재로 활용 가능하다(Abeyrathne et al., 2022). 특히, phosphatidylcholine(PC)은 뇌 신경세포막의 주요 구성성분으로, 기억력 및 인지기능에 관

* To whom correspondence should be addressed : ktleee@cnu.ac.kr

여하며, 알츠하이머 예방 등 건강기능성 소재로서의 잠재력이 있는 성분으로 주목받고 있다(Rombaut and Dewettinck, 2006; Contarini and Povolo, 2013). 또한, 난황의 콜레스테롤 및 지방산 조성은 소비자의 건강 인식과 식품 선택에 직접적인 영향을 미치며, 품종 간 차이가 난황의 영양학적 가치와 기능성 차별성을 결정짓는 핵심 요인이 될 수 있다. 그러나 지금까지의 연구는 주로 오계의 육질이나 추출물의 건강 효능에 초점이 맞춰져 있었으며(Chae et al., 2004), 오계 달걀 자체의 지질 성분, 특히 난황 지질의 구체적 조성 and 품종 간 비교 연구는 미흡한 실정이다(Wood et al., 2021). 아울러, 재래닭의 저산란성을 극복하고 산란용 토종닭 개발을 위한 방안으로 교배가 시도되고 있으나(Shin et al., 2023), 이러한 교배종 난황의 지질적 특성이 어떻게 변화하는지에 대한 연구도 필요한 상황이다.

이에 본 연구에서는 일반적으로 산란계로 활용되는 레그혼(LL)과 비교하여, 재래닭인 오계(OO) 및 오계×레그혼(OL), 레그혼×오계(LO) 교배종의 달걀 난황 지질 조성을 분석하고, 이들 난황의 구성 지질을 분석하여 영양학적 특징을 규명함으로써 우리나라 고유 닭 품종과 교배종의 식품 산업적 활용 가능성을 탐색하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에서 사용한 달걀은 총 4군(OO; 오계×오계, LL; 레그혼×레그혼, OL; 오계×레그혼, LO; 레그혼×오계)의 달걀을 사용하였다. 4군의 약어를 Table 1에 나타냈다. 잡종 교배된 OL군, LO군의 각 8마리의 산란수는 다음과 같다. OL군의 12월, 1월의 산란수는 각 16.5±34.0개, 19.0±21.9개이며 LO군의 12월, 1월의 산란수는 각 26.3±6.3개, 25.4±10.1개이다. 각 시료당 노른자 10개의 평균 무게는 다음과 같다. OO군은 17.9±2.1 g, LL군은 17.4±1.4 g, OL군은 17.0±0.9 g, LO군은 14.8±1.1 g이다. 지질 조성 분석을 위해 triphenyl phosphate(OP(OC₆H₅)₃, TPP≥99%), chloroform-d(CDCl₃), ethylenediaminetetraacetic acid(C₁₀H₁₆N₂O₈, EDTA)는 Junsei Chemical Co., Ltd.(Tokyo, Japan)에서 구입하였다. Potassium hydroxide, butylated hydroxytoluene(BHT)은 Daejung Chemicals & Metals Co., Ltd.(Siheung, Korea), cholesterol, 5- α -cholestane, hexamethyldisilazane, chlorotrimethylsilane, pyrogallol은 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA), dimethylformamide(DMF)는 Tokyo Chemical Industry Co., Ltd.(Tokyo, Japan)에서 구입하였다.

Table 1. An abbreviation for the name of crossed chickens

| | Male (♂) | Female (♀) |
|----|---------------|---------------|
| OO | Ogye | Ogye |
| LL | White Leghorn | White Leghorn |
| OL | Ogye | White Leghorn |
| LO | White Leghorn | Ogye |

2. 난황의 지방산 조성 분석

달걀에서 난황을 분리하여 균질화한 후에 산분해법을 이용하여 조지방을 추출하였다. 50 mL vial에 시료 1 g을 취한 후 2 mL pyrogallol solution(in 95% EtOH, 50 mg/mL)과 1 mL internal standard[IS, triundecanoin(C11:0), 5 mg/mL in iso-octane]를 첨가하였다. 산분해를 위해 8.3 M HCl 10 mL를 첨가한 후 30초간 교반하고 shaking water bath(BS-21, Lab Companion, Ramsey, MN, USA)에서 80℃, 200 rpm에서 1시간 반응시켰다. 반응이 끝난 시료를 찬물에 충분히 냉각하고 diethyl ether 15 mL을 넣고 1분 동안 혼합한 후 원심 분리하였다. 상층액인 ether층을 취하여 anhydrous sodium sulfate column을 통과시켜 수분과 불순물을 제거하였다. 하층액에 petroleum ether 15 mL을 1분 동안 혼합한 후 원심 분리하여 상층액인 ether층을 취하여 anhydrous sodium sulfate column을 통과시켜 수분과 불순물을 제거하였다. 이를 통하여 모은 상등액의 용매를 질소 가스를 이용하여 용매를 제거한 후 조지방을 얻었다.

추출한 조지방에 methylation 반응을 실시하여 fatty acid methyl ester(FAME)로 유도체화한 후, 이를 분석하였다. 산분해법으로 추출한 조지방에 methylation을 위해 용매를 제거 후, 얻은 조지방에 0.5 N NaOH 1.5 mL을 첨가하여 30초 동안 혼합하였다. 이후 85℃ water bath에서 10분간 반응 후, 찬물에서 충분히 냉각하였다. FAME 추출을 위해 iso-octane 1 mL, 포화 NaCl 1 mL를 첨가하여 1분 동안 혼합하였다. 2,500 rpm에서 3분간 원심분리 후, 상등액을 Pasteur pipette으로 취해 anhydrous sodium sulfate column에 여과하여 FAME을 얻었다. FAME의 분석은 gas chromatography(GC, Agilent 7890B, Palo Alto, CA, USA)에 SP-2560 column(100 m × 0.25 mm i.d., 0.2 μ m film thickness, Merck, Darmstadt, Germany)을 장착하여 분석하였다. 1 μ L의 시료를 주입, 오븐 온도는 100℃에서 4분 유지 후, 분당 3℃씩 240℃까지 올려 17분간 유지하였다. FID의 온도는 285℃, injector는 225℃로 설정하였다. 각 지방산의 retention time(RT)는 Supelco 37 Component FAME Mix(Sigma-Aldrich,

St. Louis, MO, USA)를 표준물질로 활용하여, 시료 RT와 비교함으로써 정량 분석하였다.

3. 콜레스테롤 정량 분석

콜레스테롤 함량 분석을 위하여 비누화법을 이용하였다. 알칼리 비누화법을 통하여 비검화물을 제거하였다. 유리 추출관에 3 g의 시료를 칭량하고 6% pyrogallol(in EtOH)을 10 mL 넣어 2분간 교반하였다. 1분간 추출관의 산소를 질소로 치환하고 sonication을 10분간 진행하였다. 8 mL의 60% potassium hydroxide(in 증류수)를 첨가하여 2분간 교반하고 질소 가스로 추출관 내부의 산소를 질소로 치환하였다. Shaking water bath에서 75℃로 1시간 동안 100 rpm으로 교반하여 검화하였다. 이후 냉수로 검화액을 충분히 냉각시켜 주고 20 mL의 2% sodium chloride(in 증류수) 수용액, 15 mL의 추출 용매(hexane : ethyl acetate = 85 : 15, v/v, 0.01% BHT)를 넣어 2분간 교반하였다. 이후 상등액과 비검화물인 하층이 분리되도록 정치시켰다. 분리된 상층액을 anhydrous sodium sulfate을 채운 Pasteur pipette에 통과시켜 수분과 불순물을 제거하였다. 앞의 추출 과정을 2번 반복하고 추출용매를 사용하여 50 mL로 정용하였다(Lee et al., 2015). 달걀의 콜레스테롤을 분석하기 위해 Younglin 5890 FID(Younglin, Anyang, Korea)와 HP-5 column(30 m × 0.32 mm × 0.25 µm, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)을 사용하였다. 오븐의 온도는 260℃에서 10분간 유지하고 280℃로 증가시켰다. 콜레스테롤 피크 확인을 위해 내부 표준 용액(5-α-cholestane in n-heptane, 0.1 mg/mL)으로 내부표준법을 사용하였다. 콜레스테롤 피크는 relative retention time(RRT)을 계산하여 확인하였다.

$$\text{Relative retention time}(RPT) = \frac{\text{Retention time of cholesterol standard}}{\text{Retention time of internal standard}}$$

콜레스테롤 정량은 6개의 농도(0.0025, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2 mg/mL in N, N-dimethylformamide)에서 얻은 cholesterol standard calibration을 사용하여 수행되었다. Calibration curve는 cholesterol peak area / internal standard peak area 값을 Y축으로 설정하였고 cholesterol standard의 농도를 X축으로 설정하였다. GC 분석을 위해 derivatization을 수행하였다. 추출물 12.5 mL를 취하여 질소로 농축하여 용매를 휘발시킨 후 잔류물에 3 mL의 acetone을 첨가하여 질소로 용매를 완전히 제거하였다. 건조된 잔류물은 3 mL의 N, N-dimethylformamide에 다시 녹여 시험 용액을 조제하였다.

시험관에 시험 용액을 1 mL 취한 후 hexamethyldisilazane 0.2 mL, chlorotrimethylsilane 0.1 mL을 첨가하여 1분간 교반하였다. 상온에서 15분간 정치한 뒤 10 mL의 증류수와 IS 용액 1 mL을 넣고 1분간 교반하였다. 상층의 n-heptane 층은 anhydrous sodium sulfate을 채운 Pasteur pipette에 통과시켜 추출액의 수분을 제거하여 분석하였다.

$$\text{Cholesterol}(mg/100g) = C \times \frac{v_3 \times 100}{w \times \{v_2/v_1\}}$$

C: cholesterol concentration(mg/mL)

W: sample weight(g)

V₁: amount of extractive solvent used for extraction(50 mL)

V₂: amount of extractive solvent used for concentration(12.5 mL)

V₃: N, N-dimethylformamide(3 mL)

4. 인지질 및 PC 지방산 조성 분석

4군의 달걀 난황의 인지질 정성 및 정량 분석을 위해 Folch법(Folch et al., 1957)을 이용하여 시료에서 지방을 추출하였다. 약 0.5 g의 시료에 24 mL의 Folch 용액(chloroform : methanol = 2 : 1, v/v)와 6 mL 증류수를 넣어 2분간 교반하였다. 이후 3,000 rpm으로 10분간 원심분리를 진행하여 상층액과 하층액을 얻었다. Anhydrous sodium sulfate가 채워진 Pasteur pipette에 하층액을 통과시켜 수분과 불순물을 제거하였다. 남아있는 상층액에 12 mL chloroform과 1 mL methanol을 넣고 3,000 rpm으로 10분간 원심분리를 진행하여 상층액과 하층액을 얻었다. 다시 anhydrous sodium sulfate가 채워진 Pasteur pipette에 하층액을 통과시켜 질소 가스로 추출된 시료의 용매를 완전히 제거하여 얻은 지방의 조지방 함량을 계산하였다.

1 mL TPP solution(15.6 mg/16 mL dissolved in CDCl₃), 1 mL methanol, 1 mL EDTA- Na⁺ solution(0.2 M, pH 7.2)을 추출된 조지방에 첨가하였다. 2분간 혼합한 후 3,000 rpm으로 10분간 원심분리 하였다. Pasteur pipette으로 분리된 하층액을 취하여 anhydrous sodium sulfate column으로 불순물을 제거한 후 nuclear magnetic resonance spectroscopy(NMR) tube에 취했다. 인지질을 분석하기 위해 사용한 NMR 장비는 Bruker Avance III-600 spectrometer(Bruker BioSpin, Billerica, MA)이다. 주파수는 242 MHz이고 장비에 장착된 자석은 Bruker Magnet(Bruker BioSpin, Billerica, MA)이다. ³¹P-Phosphorous-nuclear magnetic resonance spectroscopy(³¹P-NMR) 분석 조건은 probe temperature, 25℃; excitation pulse,

30°; the number of data points, 64 K; relaxation delay, 2 sec; pulse width, 11.05 μ s; acquisition time, 0.34 sec; and number of scans, 256이다. 정량분석을 위한 공식은 Hatzakis et al.(2008)의 연구에서 사용된 공식을 변형하여 정량값을 산출하였다. A는 IS로 첨가된 TPP μ mol, I(PL)는 인지질에 해당하는 peak area, I(TPP)는 첨가된 TPP에 해당하는 peak의 area, m은 분석에 사용된 샘플의 무게를 의미한다.

$$PL(\mu\text{mol}/100\text{ g of sample}) = \frac{I_{(PL)} \times A \times 100}{I_{(TPP)} \times m}$$

4군의 달걀 난황 PC의 지방산 조성을 확인하기 위해 thin-layer chromatography(TLC)를 사용하였다. TLC plate(Silica gel 60 F254 glass plate, 20 × 20 cm, Merck, Darmstadt, Germany)에 준비한 시료와 1 mg/mL로 제조한 인지질 standard mixture를 점적하여 혼합 용매(chloroform : methanol : water = 75 : 25 : 3, v/v/v)를 채운 TLC chamber에서 20분간 전개하였다. 전개한 TLC plate를 열풍으로 용매를 완전히 제거한 후 dye 용액 [0.05%(w/v) Primuline in acetone : water(8:2, v/v)]을 사용하여 염색을 진행하였다. 염색 후 UV wavelength 365 nm에서 인지질이 분리된 것을 확인하여 PC를 분리하였다. PC 지방산 조성을 확인하기 위해 TLC의 PC band를 얻어 지방을 추출하였다. 추출한 지방을 methylation하여 GC에 SP-2560 column을 이용하여 분석하였다.

5. 통계처리

모든 분석의 결과는 평균±표준편차로 나타내었으며, 각 데이터 간의 유의성을 검증하기 위해 SPSS Statistics software(ver. 26, IBM Corp. Armonk, NY, USA)를 사용하였다. 유의성 검증 수준은 95%($P < 0.05$)로 설정하였으며, 그룹 간 차이는 Duncan's multiple range test를 통해 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 교배군별 달걀 난황의 지방산 및 지질 조성 분석

순종 교배군인 오메(OO)와 레그혼(LL) 그리고 잡종 교배종인 오메×레그혼(OL) 및 레그혼×오메(LO)가 산란한 달걀 난황의 지방산 조성 차이를 분석하였다. 그 결과(Table 2), 모든 군에서 oleic acid(C18:1, n-9), palmitic acid(C16:0)가 주요 지방산으로 이들의 합이 전체 지방산의 약 70%를 차지하였으며, 그 뒤를 이어 stearic acid(C18:0) 및 linoleic acid(C18:2, n-6)가 높은 함량을 보였다. 순종 교배된 OO군

은 oleic acid 16,043.4 mg/100 g, palmitic acid 7,750.4 mg/100 g이었으며, LL군은 oleic acid 13,908.2 mg/100 g, palmitic acid 8,386.0 mg/100 g으로 OO군이 LL군에 비해 oleic acid 함량이 높고, palmitic acid 함량이 낮았다. 잡종 교배된 경우, OL군은 oleic acid 14,597.4 mg/100 g, palmitic acid 7,471.2 mg/100 g이었으며, LO군은 oleic acid 13,902.4 mg/100 g, palmitic acid 8,503.6 mg/100 g으로 OL군이 LO군에 비해 oleic acid 함량이 높고, palmitic acid 함량이 낮았다. 따라서, 부계가 오메인 군에서 주요 불포화지방산인 oleic acid의 함량이 높고, 주요 포화지방산인 palmitic acid의 함량이 낮은 것을 확인할 수 있었다. 이러한 영향으로 인해, 전체 달걀 난황의 지방산 조성 중 불포화지방산/포화지방산 비율 또한, OO군이 1.9, LL군이 1.7로 OO군의 비율이 높았으며, 잡종 교배된 군의 경우에도 OL군이 1.9, LO군이 1.8로, OL군의 비율이 높아 부계를 오메로 둔 경우에서 포화지방산 대비 불포화지방산의 함량이 높은 것을 알 수 있었다.

한편, 특정 지방산의 섭취는 혈중 high-density lipoprotein(HDL)-cholesterol, low-density lipoprotein(LDL)-cholesterol 수치에 영향을 미치는 것으로 보고되었으며(Butler et al., 2017), 이 중 n-6 계열의 지방산은 HDL-cholesterol을 증가시키고 LDL-cholesterol을 감소시키는 효과가 있는 반면, 일부 포화지방산은 LDL-cholesterol 수치를 증가시켜 건강에 부정적 영향을 미칠 수 있는 것으로 알려져 있다(Giera et al., 2015). Table 2에 따르면, 4군의 달걀 난황의 n-6 계열 지방산 총합은 순종 교배군(OO 및 LL)보다 잡종 교배군(OL 및 LO)에서 더 높게 나타났으며, 포화지방산 함량은 부계가 오메인 군(OO 및 OL)이 부계가 레그혼인 군(LL 및 LO)에 비해 낮았다. 이러한 결과는 OL군 난황이 상대적으로 낮은 포화지방산 함량과 높은 n-6 지방산 총합 비율을 가져, 혈중 HDL-cholesterol을 증가 및 LDL-cholesterol 감소에 기여할 가능성이 있어 건강 기능적 측면에서 유리한 지질 특성을 시사한다.

Eicosapentaenoic acid(EPA, C20:5, n-3), docosapentaenoic acid(DPA, C22:5, n-3), docosahexaenoic acid(DHA, C22:6, n-3)는 모두 오메가-3 지방산으로, 심혈관계 건강과 뇌기능 유지에 긍정적 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Dyall, 2015). 4군의 난황 내 이들의 함량을 비교한 결과, EPA는 LO군(3.0 mg/100 g)과 LL군(2.9 mg/100 g)에서만 검출되었으며, DPA는 4군 간 유의적 차이가 없었으나($P > 0.05$), 부계가 오메인 OO군(21.8 mg/100 g)과 OL군(21.4 mg/100 g)이 부계가 레그혼인 LL군(19.5 mg/100 g), LO군(18.8 mg/100 g)에 비해 상대적으로 높은 값을 나타냈다. DHA의 경우, 순종

Table 2. Quantitative values of egg yolk from four chicken groups (purebreds and crossbreds) measured by Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID) analysis (unit: mg/100 g)

| Fatty acid | OO ¹⁾ | LL ²⁾ | OL ³⁾ | LO ⁴⁾ |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| C12:0 | 2.9±0.3 ^{a10)} | 0.9±1.5 ^b | ND ⁵⁾ | ND |
| C14:0 | 104.0±12.0 ^{ab} | 112.1±18.0 ^a | 87.6±13.1 ^b | 120.9±18.3 ^a |
| C14:1(n-5) | 12.9±3.9 ^b | 23.9±5.3 ^a | 16.1±5.8 ^b | 25.7±4.1 ^a |
| C15:0 | 14.9±2.9 ^a | 11.0±0.9 ^b | 14.5±1.6 ^a | 14.5±1.6 ^a |
| C16:0 | 7,750.4±197.5 ^b | 8,386.0±159.9 ^a | 7,471.2±604.5 ^b | 8,503.6±781.7 ^a |
| C16:1(n-7) | 631.1±35.8 ^b | 927.9±82.8 ^a | 704.0±151.5 ^b | 955.0±119.5 ^a |
| C17:0 | 72.7±14.9 ^a | 42.7±1.8 ^c | 62.8±10.9 ^{ab} | 55.3±5.6 ^b |
| C18:0 | 3,331.0±364.0 ^a | 3,047.2±210.1 ^a | 3,071.4±404.7 ^a | 2,972.8±228.4 ^a |
| C18:1t | 58.6±7.8 ^a | 60.4±3.0 ^a | 61.2±3.6 ^a | 64.0±4.4 ^a |
| C18:1(n-9) | 16,043.4±1365.6 ^a | 13,908.2±1046.4 ^b | 14,597.4±1328.9 ^b | 13,902.4±620.9 ^b |
| C18:1(n-7) | 572.6±62.6 ^a | 614.4±69.4 ^a | 604.5±25.1 ^a | 630.6±55.1 ^a |
| C18:2t | 31.0±1.8 ^b | 33.0±3.9 ^b | 33.0±2.7 ^b | 40.2±5.1 ^a |
| C18:2(n-6) | 3,057.0±523.8 ^b | 3,092.5±40.4 ^b | 3,674.6±559.5 ^a | 3,599.9±263.7 ^a |
| C20:0 | 8.6±1.3 ^b | 10.0±0.8 ^a | 8.8±0.7 ^b | 8.5±0.9 ^b |
| C18:3(n-6) | 29.3±3.6 ^b | 29.8±6.3 ^b | 28.8±4.2 ^b | 41.2±12.2 ^a |
| C18:3t | 13.4±3.9 ^b | 20.6±3.6 ^a | 19.6±2.3 ^a | 20.2±1.8 ^a |
| C20:1(n-9) | 78.5±14.0 ^{ab} | 82.9±17.6 ^{ab} | 89.3±6.2 ^a | 71.2±12.0 ^b |
| C18:3(n-3) | 40.8±13.7 ^c | 51.1±1.6 ^{bc} | 65.9±17.3 ^a | 59.7±7.4 ^{ab} |
| C21:0 | 12.6±2.2 ^b | 17.0±1.0 ^a | 18.2±2.7 ^a | 19.2±2.6 ^a |
| C20:2(n-6) | 28.4±5.3 ^b | 33.9±2.4 ^b | 42.2±5.9 ^a | 30.7±6.7 ^b |
| C22:0 | 8.1±1.5 ^a | 6.5±0.5 ^b | 6.3±0.3 ^b | 6.6±0.3 ^b |
| C20:3(n-6) | 46.2±5.1 ^b | 59.1±6.9 ^a | 47.9±3.0 ^b | 52.8±10.1 ^{ab} |
| C22:1(n-9) | 1.9±1.4 ^a | 0.9±1.5 ^a | 1.9±1.5 ^a | 0.8±1.2 ^a |
| C20:3(n-3) | ND | ND | 1.1±1.6 | ND |
| C23:0 | 2.0±1.5 ^a | 0.9±1.5 ^a | 1.9±1.5 ^a | 1.6±1.3 ^a |
| C20:4(n-6) | 862.7±34.9 ^a | 769.3±37.7 ^a | 823.6±165.2 ^a | 850.6±49.6 ^a |
| C24:0 | 6.1±0.9 ^a | 4.9±0.5 ^b | 5.5±0.5 ^{ab} | 4.7±0.5 ^b |
| C20:5(n-3) | ND | 2.9±0.2 ^b | ND | 3.0±0.2 ^a |
| C24:1(n-9) | 19.3±2.4 ^a | 14.4±1.8 ^b | 15.0±2.6 ^b | 12.9±1.6 ^b |
| C22:5(n-3) | 21.8±3.3 ^a | 19.5±3.6 ^a | 21.4±3.0 ^a | 18.8±3.0 ^a |
| C22:6(n-3) | 236.4±51.3 ^a | 156.0±13.2 ^b | 207.9±56.1 ^a | 218.5±34.8 ^a |
| ΣMUFA ⁶⁾ | 17,359.6±1,405.6 ^a | 15,572.6±1,032.8 ^b | 16,013.2±1,218.5 ^{ab} | 15,598.6±752.8 ^b |
| ΣPUFA ⁷⁾ | 4,322.6±565.3 ^b | 4,214.2±25.3 ^b | 4,886.3±501.0 ^a | 4,872.3±281.9 ^a |
| ΣSFA ⁸⁾ | 11,313.0±537.0 ^{ab} | 11,639.3±188.9 ^a | 10,748.1±578.0 ^b | 11,707.6±1,022.5 ^a |
| ΣTFA ⁹⁾ | 103.0±12.1 ^b | 114.1±9.0 ^{ab} | 113.8±7.3 ^{ab} | 124.4±3.6 ^a |
| ω-3 | 299.0±65.2 ^a | 226.6±16.1 ^b | 296.1±45.7 ^a | 297.1±35.3 ^a |
| ω-6 | 3,995.2±494.9 ^b | 3,950.8±20.8 ^b | 4,574.8±494.6 ^a | 4,491.7±267.2 ^a |
| ω-9 | 16,064.6±1,366.7 ^a | 13,923.6±1,048.8 ^b | 14,614.3±1,332.1 ^b | 13,916.1±621.8 ^b |
| Total | 33,095.3±1,642.2 ^a | 31,539.2±1,216.3 ^a | 31,803.3±1,638.7 ^a | 32,306.0±1,574.8 ^a |

All values are mean±S.D. (n = 6).

¹⁾ OO: Ogye×Ogye.²⁾ LL: White Leghorn×White Leghorn.³⁾ OL: Ogye×White Leghorn.⁴⁾ LO: White Leghorn×Ogye.⁵⁾ ND: Not detected.⁶⁾ ΣMUFA: Sum of mono unsaturated fatty acid.⁷⁾ ΣPUFA: Sum of poly unsaturated fatty acid.⁸⁾ ΣSFA: Sum of saturated fatty acid.⁹⁾ ΣTFA: Sum of trans fatty acid.¹⁰⁾ a-c Mean values with different letters above the quantitative values are significantly different (p<0.05) according to Duncan's multiple range test.

교배된 OO군이 236.4 mg/100 g, LL군이 156.0 mg/100 g 이었고, 잡종 교배된 OL군은 207.9 mg/100 g, LO군은 218.5 mg/100 g으로 나타나, 오계가 부계 또는 모계인 교배종인 OO, OL, LO군이 순종 레그혼 교배종인 LL군에 비해 DHA 함량이 유의하게 높은 수준을 보였다($P<0.05$). 이는 오계 품종의 유전적 특성이 난황 내 오메가-3 지방산 함량 증가에 기여했을 가능성을 시사하며, 향후 품종 개량 및 기능성 식품 개발을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 4군의 난황 내 트랜스지방 함량은 순종 교배된 OO군이 103.0 mg/100 g으로, LL군의 114.1 mg/100 g에 비해 유의적으로 낮았다($P<0.05$). 잡종 교배된 OL군과 LO군은 각각 113.8 mg/100 g, 124.4 mg/100 g으로 통계적으로 유의한 차이는 없었으나($P>0.05$), OL군이 LO군보다 100 g당 10 mg 이상 낮은 함량을 나타냈다. 따라서 오계를 부계로 둔 OO군과 OL군의 난황이 100 g당 트랜스지방 함량이 낮은 것을 알 수 있었다. 식품의약품안전처 「식품 등의 표시기준」에 따르면, 트랜스 지방 함량이 0.2 g 미만인 경우 '0 g'으로 표시할 수 있으므로(MFDS, 2016), 4군(OO, LL, OL, LO)의 달걀 난황의 트랜스 지방 함량(103–124 mg/100 g)은 해당 기준에 따라 '0 g'으로 표시가 가능하고, 이는 4군 달걀의 트랜스지방 함량이 극히 낮아 일반적인 섭취량에서는 건강상 위해 가능성이 매우 낮은 것으로 생각할 수 있다. 또한, 난황의 조지방 함량은 4군에서 32.1–34.8%로 나타나 통계적으로 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$).

한편, 달걀의 지방산 조성을 분석한 이전 연구에서 암탉에 급여한 사료의 지방 조성에 따라 산란한 달걀의 지방산

조성이 달라진다고 보고된 바 있다(Goldberg et al., 2013). 이에 따라, 4군의 난황과 급여된 사료의 지방산 조성을 비교하기 위해 4군의 산란계에 급여된 사료의 지방산 조성을 분석한 결과(Fig. 1), linoleic acid 43.9%, oleic acid 27.0%, palmitic acid 17.0%, stearic acid 4.7% 순으로 나타났다. 4군의 달걀 난황에서는 oleic acid가 43.0–48.5%를 차지하여 가장 높은 함량을 보인 반면, 사료에는 oleic acid가 27.0%로 두 번째로 높은 함량을 나타냈다. 이는 소화 과정에서 palmitic acid가 elongase에 의해 포화 탄소사슬이 연장되어 stearic acid가 되고, 이러한 stearic acid는 stearyl-CoA desaturase에 의해 단일결합이 이중결합으로 변환되어 oleic acid로 탈포화되기 때문으로 생각된다(Elovson, 1965; Brucea and Salter, 1996). 따라서, 사료에서 세 번째와 네 번째로 높은 함량을 보인 palmitic acid 및 stearic acid가 이러한 경로를 통해 oleic acid로 전환되므로 4군의 달걀 난황 조성에서 oleic acid 함량 증가 원인으로 해석된다.

2. 교배군별 난황의 콜레스테롤 함량 비교 및 섭취량 평가

GC-FID를 이용하여 각군의 난황 속 콜레스테롤을 정량 분석한 결과를 Table 3에 나타냈다. 난황 100 g당 OO군은 722.3 mg, OL군은 712.6 mg, LO군은 708.0 mg으로 비슷한 차이를 보였으며, LL군은 671.8 mg으로 다른 군들에 비해 콜레스테롤의 함량이 상대적으로 낮았다. 콜레스테롤은 과량 섭취 시 심혈관계 질환 등 건강 문제가 발생할 수 있으나, 세포막 구성성분으로서뿐만 아니라 스테로이드 호르몬, 비타민 D·담즙산 합성에 관여하는 등 생체 내 필수적인 기능

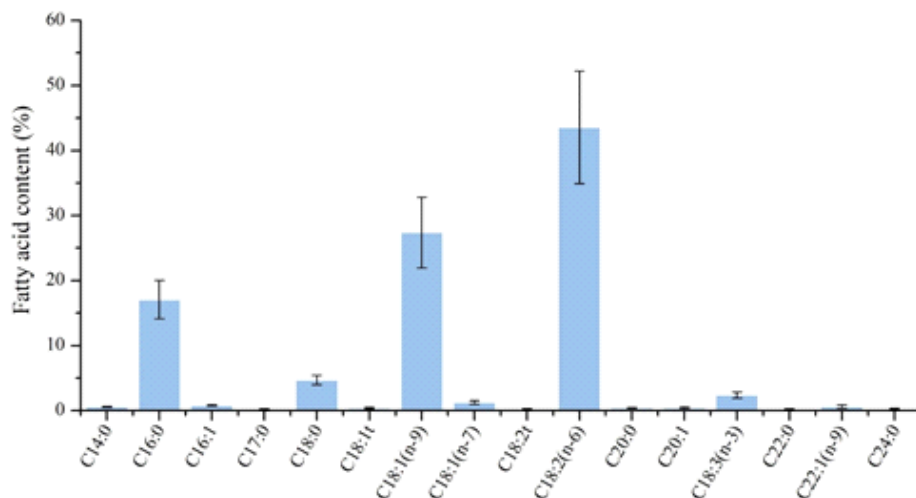


Fig. 1. Fatty acid composition (%) of feeds of chicken using gas chromatography-flame ionization detector (GC-FID) analysis. Each bar represents the mean±standard deviation (SD) of three independent measurements.

Table 3. Quantitative values of cholesterol obtained from gas chromatography-flame ionization detector (GC-FID) analysis

| | IS RT | Cholesterol RT | RRT | Cholesterol (mg/100 g) |
|------------------|-------|----------------|-----|--------------------------|
| OO ¹⁾ | 2.5 | 3.7 | 1.5 | 722.3±5.9 ^{a5)} |
| LL ²⁾ | 2.6 | 3.7 | 1.4 | 671.8±0.4 ^b |
| OL ³⁾ | 2.5 | 3.7 | 1.5 | 712.6±9.9 ^a |
| LO ⁴⁾ | 2.5 | 3.7 | 1.5 | 708.0±1.7 ^a |

All values are mean±SD (n = 2).

¹⁾ OO: Ogye×Ogye.

²⁾ LL: White Leghorn×White Leghorn.

³⁾ OL: Ogye×White Leghorn.

⁴⁾ LO: White Leghorn×Ogye.

⁵⁾ a,b Mean values with different letters above the cholesterol quantitative values are significantly different ($P<0.05$) according to Duncan's multiple range test.

을 수행하는 지질이다. 달걀은 우리나라 콜레스테롤의 주된 급원으로, 연간 달걀 소비량은 2013년 기준 1인당 242개이다(Park et al., 2017). 따라서 소비하는 달걀의 종류는 콜레스테롤 섭취량과 직결될 수 있다. 선행 연구에 따르면 달걀 한 개의 난황과 달걀 전체의 콜레스테롤이 같은 양(213 mg/100 g)으로 보고되어(Chee, 1994), 난황이 달걀에 존재하는 콜레스테롤의 대부분을 차지하고 있다는 것을 알 수 있다.

한편, 4군의 달걀 하나당 난황의 무게는 평균적으로 17.9 g(OO) 17.4 g(LL), 17.0 g(OL), 14.7 g(LO)으로 다르기 때문에 달걀 하나를 섭취하였을 때의 예상 콜레스테롤의 양은 각각 129.3 mg, 116.9 mg, 121.1 mg, 104.1 mg으로 계산되었다. 특히 난황 무게가 가장 작은 LO군은 달걀 한 개당 콜레스테롤 섭취량이 다른 군보다 11–19% 낮아, 콜레스테롤 섭취량 측면에서 상대적으로 차이가 있을 수 있음을 보여준다.

3. ³¹P-NMR 기반 난황 인지질 조성 및 주요 성분 정량 분석

³¹P-NMR을 통해 4군의 난황의 인지질을 정량 분석한 결과 (Table 4 and Fig. 2), 4군의 난황 모두 PC(79.3–80.4%), phosphatidylethanolamine(PE, 13.2–16.8%), sphingomyelin(SM, 2.1–2.8%), lysophosphatidylcholine(LPC, 1.4–1.8%) 순으로 나타났다. 이 중 주요 인지질인 PC는 신경전달물질인 아세틸 콜린의 생합성에 관여함으로써 기억력 및 인지기능 유지에 기여하며, 간 기능 유지 및 지방 대사에 관여한다고 보고된다 (Zeisel and Canty, 1993). PE는 세포분열, 세포융합, 소포 형

성 등 다양한 세포 생리작용에 관여하여, 신경세포막의 유동성과 신경전달물질 방출에 관여해 뇌 기능 유지에 도움을 준다고 보고된다(Patel and Witt, 2017). 이처럼 PC와 PE는 다양한 생리적 기능에 필수적이며, 이들의 비율은 품종, 유전적 요인 및 대사 경로 활성화에 따라 달라질 수 있다고 알려진다 (van der Veen et al., 2017).

한편, 4군의 난황의 인지질 조성은 선행 연구의 달걀 난황 인지질 분석 결과인 PC(71.0%), PE(18.3%), SM(2.3%), LPC(3.3%)와 조성, 그 순서에서 약간의 차이를 보였는데 (Zhao et al., 2011), 4군의 난황의 PC 함량이 선행연구에 비해 8–9% 가량 더 높았다. 이는 캐나다 로컬 마켓에서 구매한 산란계와 오계 및 레그혼의 품종 차이에서 기인한 것으로 생각되며, 이를 통해 품종에 따라 인지질 조성이 변화할 수 있음을 알 수 있다. 4군이 산란한 달걀에서 가장 주요한 인지질인 PC의 함량과 총 인지질 함량을 비교해 본 결과 (Table 4), 순종 교배된 OO군은 PC 9.1 g/100 g, 총 인지질 11.4 g/100 g, LL군은 PC 8.1 g/100 g, 총 인지질 10.3 g/100 g이었으며, 잡종 교배된 OL군은 PC 9.6 g/100 g, 총 인지질 11.9 g/100 g, LO군은 PC 7.9 g/100 g, 총 인지질 9.8 g/100 g으로 나타났다. 따라서, 부계가 오계인 군이 PC 및 총 인지질 함량이 상대적으로 높게 나타났으며, OO군과 OL군 간

Table 4. Quantitative phospholipid (PL) composition in egg yolks from four chicken groups determined by ³¹phosphorous-nuclear magnetic resonance spectroscopy (³¹P-NMR) (unit: g/100 g of egg yolk)

| PL | OO ¹⁾ | LL ²⁾ | OL ³⁾ | LO ⁴⁾ |
|-------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| PC ⁶⁾ | 9.1±0.2 ^{a5)} | 8.1±0.5 ^b | 9.9±0.3 ^a | 7.9±0.6 ^b |
| LPC ⁷⁾ | 0.2±0.0 ^a | 0.2±0.0 ^a | 0.2±0.1 ^a | 0.1±0.0 ^a |
| SM ⁸⁾ | 0.3±0.0 ^a | 0.2±0.0 ^a | 0.3±0.1 ^a | 0.2±0.0 ^a |
| PE ⁹⁾ | 1.7±0.1 ^a | 1.7±0.0 ^a | 1.6±0.1 ^b | 1.6±0.0 ^b |
| Total | 11.4±0.2 ^a | 10.3±0.5 ^b | 11.9±0.6 ^a | 9.8±0.2 ^b |

All values are mean±SD (n = 2).

¹⁾ OO: Ogye×Ogye.

²⁾ LL: White Leghorn×White Leghorn.

³⁾ OL: Ogye×White Leghorn.

⁴⁾ LO: White Leghorn×Ogye.

⁵⁾ a,b Mean values with different letters above the phospholipids quantitative values are significantly different ($p<0.05$) according to Duncan's multiple range test.

⁶⁾ PC: phosphatidylcholine

⁷⁾ LPC: lysophosphatidylcholine

⁸⁾ SM: sphingomyelin

⁹⁾ PE: phosphatidylethanolamine

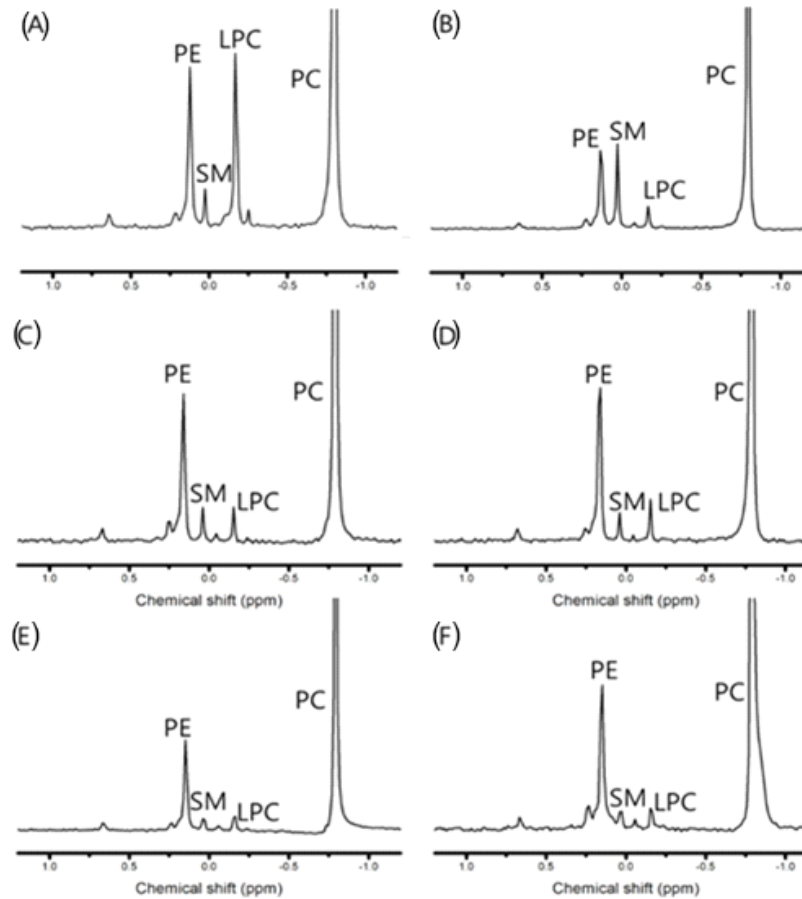


Fig. 2. The ^{31}P phosphorous nuclear magnetic resonance (^{31}P -NMR) spectra of egg yolk from four chicken groups (purebreds and crossbreds): OO (Ogye \times Ogye), LL (White Leghorn \times White Leghorn), OL (Ogye \times White Leghorn), and LO (White Leghorn \times Ogye). Peaks are assigned as follows: PC (phosphatidylcholine), PE (phosphatidylethanolamine), LPC (lysophosphatidylcholine), and SM (sphingomyelin). (A) OO with LPC spiking (OO + LPC), (B) OO with SM spiking (OO + SM), (C) OO, (D) LL, (E) OL, (F) LO.

그리고 LL군과 LO군 간의 차이는 크지 않았다.

또한, 전체 인지질 중 PC의 비율을 살펴보면, 부계가 오계인 경우 80.4–82.8%로, 백색 레그혼이 부계인 경우(79.3–80.1%)보다 다소 높게 나타났다. 반면, PE의 비율은 부계가 오계인 경우 13.2–15.3%로, 백색 레그혼 부계 집단(16.2–16.8%)보다 낮은 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 잡종 교배된 OL군, LO군이 각각 부계의 인지질 조성의 영향을 받은 것으로 추정되며, 전체 인지질 조성 중 PC와 PE의 비율이 달라지는 것은 cytidine diphosphate diacylglycerol(CDP-DAG) 경로와 관련이 있을 것으로 보인다. PC는 *de novo* Kennedy 경로에서 외인성 choline이 choline kinase에 의해 인산화되어 만들어지기도 하지만, CDP-DAG 경로에서 PE가 PE methyltransferases(Pem)인 Pem1과 Pem2에 의해 순차적으로 메틸화되어 만들어지기도 한다(Tams et al., 2019). 이러한 경로에 필

요한 Pem의 발현량은 유전적인 요인에 따라 달라질 수 있다고 보고되므로(Sun et al., 2023), 부계의 유전적 영향을 받아 PC와 PE의 조성의 차이가 발생된 것으로 추정할 수 있다.

4. GC와 TLC를 이용한 PC의 sn-1,2에 결합한 지방산 조성 분석

PC에 결합된 지방산은 유전적 요인에 따라 달라질 수 있으며(Munyaneza et al., 2025), oleic acid가 풍부한 PC는 항산화, 항염증 및 심혈관 건강 증진, 혈중 지질 개선 등 다양한 건강 증진 효과를 보이는 등(Zhou et al., 2016) 결합된 지방산에 따라 영양학적 가치가 달라질 수 있다는 선행연구 결과에 근거하여, PC에 결합된 지방산 조성을 확인하고자 하였다. 4군의 교배종이 산란한 달걀 난황 중 PC의 sn-1,2에 결합한 지방산의 조성을 분석한 결과(Table 5), 포화지방산인

Table 5. Fatty acid composition of phosphatidylcholine (PC) for egg yolk from four different groups of cross-breed chickens (unit: %)

| Fatty acid | OO ¹⁾ | LL ²⁾ | OL ³⁾ | LO ⁴⁾ |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| C16:0 | 35.0±0.0 ^{a7)} | 34.9±0.5 ^a | 32.1±0.8 ^b | 35.1±0.6 ^a |
| C18:0 | 15.7±0.0 ^b | 15.4±0.4 ^b | 19.2±0.9 ^a | 16.5±1.9 ^{ab} |
| C18:1(n-9) | 35.0±0.1 ^a | 34.2±0.1 ^a | 32.3±0.2 ^b | 32.6±1.0 ^b |
| C18:2(n-6) | 14.3±0.0 ^c | 15.5±0.0 ^b | 16.5±0.1 ^a | 15.8±0.3 ^b |
| ΣSFA ⁵⁾ | 50.7±0.1 ^a | 50.3±0.1 ^a | 51.3±0.1 ^a | 51.6±1.3 ^a |
| ΣUFA ⁶⁾ | 49.3±0.1 ^a | 49.7±0.1 ^a | 48.7±0.1 ^a | 48.4±1.3 ^a |

All values are mean±S.D. (n = 2).

¹⁾ OO: Ogye×Ogye.

²⁾ LL: White Leghorn×White Leghorn.

³⁾ OL: Ogye×White Leghorn.

⁴⁾ LO: White Leghorn×Ogye.

⁵⁾ ΣSFA: Sum of saturated fatty acid.

⁶⁾ ΣUFA: Sum of unsaturated fatty acid.

⁷⁾ ^{a-c} Mean values with different letters above the quantitative values are significantly different ($P<0.05$) according to Duncan's multiple range test.

palmitic acid, stearic acid와 불포화지방산인 oleic acid, linoleic acid로 주요 지방산임을 알 수 있었다. 순종 교배군인 OO군과 LL군은 각각 palmitic acid 함량이 35.0% 및 34.9%, oleic acid 함량이 35.0% 및 34.2%로 나타난 반면, 잡종 교배군인 OL군과 LO군은 각각 palmitic acid가 32.1% 및 35.1%, oleic acid가 32.3% 및 32.6%였다. 특히 OL군은 palmitic acid 함량이 다른 세 군에 비해 낮은 경향을 보였으며, oleic acid 함량 역시 OO군과 LL군보다 다소 낮았다. 그러나 주요 포화지방산, 불포화지방산의 함량 차이에도 불구하고, 4군의 전체 포화지방산 및 불포화지방산의 비율은 각각 50.3–51.6%와 48.7–49.7% 범위로, 큰 차이는 나타나지 않았다.

한편, 달걀 난황의 전체 지방산 조성과 PC에 결합한 지방산 조성을 비교한 결과, 전체 난황에서는 oleic acid가 43.0–48.5%, palmitic acid가 23.4–26.6%로 oleic acid의 비율이 현저히 높았다. 반면, PC 지방산에서는 oleic acid가 32.3–35.0%, palmitic acid가 32.1–35.1%로 두 지방산의 비율이 유사하게 나타났다. 또한, 전체 난황의 지방산 조성은 포화지방산 33.8–36.9%, 불포화지방산 63.1–66.2%로 불포화지방산 비율이 높았으나, 달걀 난황 PC의 지방산은 포화지방산 50.3–51.6%, 불포화지방산 48.4–49.7%로 거의 동일한 비율을 보였다. 이러한 결과는 자연계의 인지질 구조에서 sn-1에는 주로 포화지방산이 위치하고, sn-2에는 단일불포화

및 다중불포화지방산이 결합하는 자리 특이성에 기인하는 것으로 보인다. 달걀 난황 PC의 지방산을 분석한 이전 연구에서 sn-1 위치에는 포화지방산 89%, 불포화지방산 8.7%, sn-2 위치에는 포화지방산 8%, 불포화지방산 90% 결합되어 있으며, 전체적으로는 포화지방산이 45%, 불포화지방산이 55%의 비율을 보인다고 보고한 바 있다(Blesso, 2015). 따라서, 4개 군 난황의 PC 지방산 조성 분석 결과와 선행연구를 종합하면, 포화지방산인 palmitic acid와 stearic acid는 주로 sn-1에, 불포화지방산인 oleic acid와 linoleic acid는 주로 sn-2에 결합된 것으로 추정된다. 또한, PC 지방산 분석에서 포화지방산과 불포화지방산의 비율이 유사하게 나타난 것은 이러한 인지질의 구조적 자리 특성과 관련된 것으로 판단된다.

적 요

본 연구에서는 순종 교배된 오계(OO), 레그혼(LL)과 잡종 교배된 오계×레그혼(OL), 레그혼×오계(LO) 총 4군의 산란계에서 산란된 달걀 난황을 대상으로 지방산, 콜레스테롤, 인지질 조성을 분석하였다. 그 결과, 부계가 오계인 OO 및 OL군의 난황에서 주요 불포화지방산인 oleic acid의 함량이 각각 16,043.4 mg, 14,597.4 mg으로 높고, 포화지방산인 palmitic acid의 함량이 각각 7,750.4 mg, 7,471.2 mg으로 낮아 불포화지방산/포화지방산 비율이 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$). 이는 오계 품종의 유전적 특성이 부계 유전자를 통해 난황의 지방산 조성에 반영되었음을 시사한다. 또한, 오메가-3 지방산 중 DHA의 함량은 OO(299.0 mg/100 g), OL(296.1 mg/100 g), LO(297.1 mg/100 g)군에서 LL(226.6 mg/100 g)군보다 유의하게 높았으며(-0.05), 특히 LO군에서는 EPA도 LL군보다 유의적으로 높게 나타났다. 이는 오계의 유전적 배경이 난황 내 오메가-3 지방산 함량을 증가시키는 데 기여할 수 있음을 의미한다. 콜레스테롤 함량 분석 결과, LL군이 671.8 mg으로 다른 군보다 낮았으며, 난황 무게는 LO군이 14.7 g으로 가장 적어, 결과적으로 달걀 한 개 섭취 기준 콜레스테롤 양은 LO군이 가장 적은 것으로 추정된다. 인지질 분석에서는 주요 인지질인 PC와 PE의 비율이 부계 품종에 따라 다르게 나타났으며, 오계를 부계로 둔 OO 및 OL군에서 총 인지질이 각각 11.4 g, 11.9 g, PC 함량이 각각 9.1 g, 9.6 g으로 LL 및 LO군에 비해 높은 값을 나타냈다. 또한, PC에 결합된 지방산 조성에서도 교배군 간의 차이가 확인되어, 품종 간 유전적 요인이 인지질 구성에도 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 오계를 활용

한 교배군의 난황이 오메가-3 지방산, 인지질 등 다양한 지질 성분에서 영양학적 우수성을 가질 수 있음을 보여주며, 이는 오계를 포함한 교배종의 기능성 식품 원료로서의 가능성을 제시하는 기초자료로 활용될 수 있다.

(색인어 : 오계, 한국 토종닭, 난황, 인지질, 오메가-3 지방산)

사 사

본 연구는 농촌진흥청의 K-농식품자원의 인지질 정보 개발사업(과제번호 RS-2022-RD010069)으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

ORCID

Dain Lee <https://orcid.org/0009-0006-1725-835X>
Eun-Ah Park <https://orcid.org/0009-0002-9707-1173>
Ki-Teak Lee <https://orcid.org/0000-0002-7482-6775>

REFERENCES

- Abeyrathne E, Nam KC, Huang X, Ahn DU 2022 Egg yolk lipids: separation, characterization, and utilization. *Food Sci Biotechnol* 31(10):1243-1256.
- Blesso CN 2015 Egg phospholipids and cardiovascular health. *Nutrients* 7(4):2731-2747.
- Bruce JS, Salter AM 1996 Metabolic fate of oleic acid, palmitic acid and stearic acid in cultured hamster hepatocytes. *Biochem J* 316(3):847-852.
- Butler LM, Yuan JM, Huang JY, Su J, Wang R, Koh WP, Ong CN 2017 Plasma fatty acids and risk of colon and rectal cancers in the Singapore Chinese health study. *NPJ Precis Oncol* 1(1):38.
- Chee KM 1994 Egg cholesterol: effects on health and perspective. *Korean J Poult Sci* 21(2):139-150.
- Choi NR, Seo DW, Jemaa SB, Sultana H, Heo KN, Jo C, Lee JH 2015 Discrimination of the commercial Korean native chicken population using microsatellite markers. *J Anim Sci Technol* 57(1):1-8.
- Contarini G, Povolio M 2013 Phospholipids in milk fat: composition, biological and technological significance, and analytical strategies. *Int J Mol Sci* 14(2):2808-2831.
- Dyall SC 2015 Long-chain omega-3 fatty acids and the brain: a review of the independent and shared effects of EPA, DPA and DHA. *Front Aging Neurosci* 7:52.
- Elovson J 1965 Immediate fate of albumin-bound [I-14C] stearic acid following its intraportal injection into carbohydrate refed rats. Early course of desaturation and esterification in the liver. *Biochim Biophys Acta Lipids Lipid Metab* 106(3):480-494.
- Folch J, Lees M, Sloane Stanley GH 1957 A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem* 226(1):497-509.
- Food Labeling Standards 2016 Ministry of Food and Drug Safety. <http://www.mfds.go.kr>. Accessed on June 13, 2016.
- Giera M, Müller C, Bracher F 2015 Analysis and experimental inhibition of distal cholesterol biosynthesis. *Chromatographia* 78(5):343-358.
- Goldberg EM, Ryland D, Gibson RA, Aliani M, House JD 2013 Designer laying hen diets to improve egg fatty acid profile and maintain sensory quality. *Food Sci Nutr* 1(4):324-335.
- Hatzakis E, Koidis A, Boskou D, Dais P 2008 Determination of phospholipids in olive oil by 31P NMR spectroscopy. *J Agric Food Chem* 56(15):6232-6240.
- Chae HS, Ahn CN, Yoo YM, Ham JS, Yoon SK 2004 The effects of the high pressure boiled extracts (HPBE) of the Ogol chicken with herbs on the hormones, cytokine, specific antibody of serum in the rat. *Food Sci Anim Resour* 24(3):283-292.
- Kim HG 2022 Trends in poultry research at the national institute of animal science: breeder chickens and food security. *KPA* 54(6):176-178.
- Kim JW, Sim BY, Choi HJ, Lee HJ, Kim DH 2015 The study on biological activities of Yeonsan Ogye listed on dong-ui-bo-gam. *Korea J Herbol* 30(5):23-28.
- Lee JH, Lee HN, Shin JA, Chun JY, Lee J, Lee KT 2015 Content of fat-soluble nutrients (cholesterol, retinol, and α -tocopherol) in different parts of poultry meats according to cooking method. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44(2):234-241.
- Munyaneza JP, Kim M, Cho E, Jang A, Choo HJ, Lee JH 2025 Genome-wide association studies of the fatty acid composition of Korean native chicken breast meat. *J Anim Sci Technol* 67(2):314-324.
- Park M, Kweon S, Oh K 2017 Dietary cholesterol intake in the Korea national health and nutrition examination survey

- (KNHANES) VI (2013 - 2015). Korean J Community Nutr 22(6):520-528.
- Patel D, Witt SN 2017 Ethanolamine and phosphatidylethanolamine: partners in health and disease. Oxid Med Cell Longev 2017:4829180.
- Roh HJ, Kim KW, Lee J, Jeon D, Kim SC, Ko YG, Mun SS, Lee HJ, Lee JH, Oh DY, Byeon JH, Cho CY 2019 Genetic diversity of Korean native chicken populations in DAD-IS database using 25 microsatellite markers. Korean J Poult Sci 46(2):65-75.
- Rombaut R, Dewettinck K 2006 Properties, analysis and purification of milk polar lipids. Int Dairy J 16(11):1362-1373.
- Shin KB, Lee SG, Kim K, Lee J, Jang S, Heo JM, Choo HJ, Sohn SH 2023 Production of a new synthetic Korean native commercial layer using crossbreeding among native chicken breeders. Korean J Poult Sci 50(4):203-212.
- Sun C, Holstein DJF, Garcia-Cubero N, Moulla Y, Stroh C, Dietrich A, Schön MR, Gärtner D, Lohmann T, Dressler M, Stumvoll M, Blüher M, Kovacs P, Guiu-Jurado E 2023 The role of phosphatidylethanolamine N-methyltransferase (PEMT) and its waist-hip-ratio-associated locus rs4646404 in obesity-related metabolic traits and liver disease. Int J Mol Sci 24(23):16850.
- Tams RN, Cassilly CD, Anaokar S, Brewer WT, Dinsmore JT, Chen YL, Patton-Vogt J, Reynolds TB 2019 Overproduction of phospholipids by the Kennedy pathway leads to hypervirulence in *Candida albicans*. Front Microbiol 10:86.
- van der Veen JN, Kennelly JP, Wan S, Vance JE, Vance DE, Jacobs RL 2017 The critical role of phosphatidylcholine and phosphatidylethanolamine metabolism in health and disease. Biochim Biophys Acta Biomembr 1859(9, Part B):1558-1572.
- Wood PL, Muir W, Christmann U, Gibbons P, Hancock CL, Poole CM, Emery AL, Poovey JR, Hagg C, Scarborough JH, Christopher JS, Dixon AT, Craney DJ 2021 Lipidomics of the chicken egg yolk: high-resolution mass spectrometric characterization of nutritional lipid families. Poult Sci 100(2):887-899.
- Xiao N, Zhao Y, Yao Y, Wu N, Xu M, Du H, Tu Y 2020 Biological activities of egg yolk lipids: a review. J Agric Food Chem 68(7):1948-1957.
- Zeisel SH, Canty DJ 1993 Choline phospholipids: molecular mechanisms for human diseases: a meeting report. J Nutr Biochem 4(5):258-263.
- Zhao YY, Xiong Y, Curtis JM 2011 Measurement of phospholipids by hydrophilic interaction liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry: the determination of choline containing compounds in foods. J Chromatogr A 1218(32):5470-5479.
- Zhou MM, Xue Y, Sun SH, Wen M, Li ZJ, Xu J, Wang JF, Yanagita T, Wang YM, Xue CH 2016 Effects of different fatty acids composition of phosphatidylcholine on brain function of dementia mice induced by scopolamine. Lipids Health Dis 15(1):135.

Received Dec. 18, 2025, Revised Dec. 26, 2025, Accepted Dec. 26, 2025