

다공성 기재를 이용한 닭가슴살 신선도 인디케이터 제조 및 특성

이가은 · 백승혜 · 김도완 · 서종철*

연세대학교 과학기술대학 패키징학과

Development of a Food Freshness Indicator for Monitoring Spoilage of Chicken Breast Using a Porous Substrate

Kaeun Lee, Seunghye Baek, Dowan Kim, and Jongchul Seo*

Department of Packaging, Yonsei University, Wonju 26493, Korea

Abstract To visually identify the spoilage of chicken breasts, a three layered freshness indicator consisting of PET/bromocresol green (BCG)-ethylene vinyl acetate (EVA)-acetic acid (AA) composite layer/porous substrates was successfully prepared and their performance were simulated at 20% of CO₂ and 4 different trimethylamine (TMA) concentrations to evaluate color change at minimal spoilage level. The visibility and range of color changes of the as-prepared indicators responding to TMA concentration as a simulant were strongly dependent on the concentrations of BCG and AA. As the BCG content increased, the visibility of color change in the freshness indicators was apparently improved and the range of color change could be controlled by contents of AA. Among the as-prepared freshness indicators, 'G0.12_A0.5' which consisting 0.12g of BCG and 0.5g of AA was selected as an optimum composition due to the highest visibility at TMA 20 mg% corresponding to the minimal spoilage level. The color of the indicator changed from yellow to green for spoilage indication of chicken breast, which could be easily seen with the naked eyes and well consistent with the simulation results. It is expected that our developed freshness indicator can be useful in monitoring various food freshness and quality.

Keywords Freshness indicator, Food quality, Tyvek® substrate, Chicken breast packaging

서 론

최근 소비자들의 건강에 대한 인식 증대로 제품품질 정보와 식품안전에 대한 관심이 증가하고 있다^{1,3)}. 미생물 오염으로 인한 식품의 유통기한 감소와 식중독 등의 위험성을 방지하기 위하여 항균 물질에 관한 연구⁴⁾, 포장 내 기체조성 조절을 통한 호기성 미생물 증식 억제에 관한 연구⁵⁾, 살균 처리를 통한 식품의 유통 기한 연장에 관한 연구⁶⁾ 등의 연구가 진행되고 있다. 식품의 신선도를 평가하는 방법으로는 총 세균 수 측정, 대표적 미생물의 측정, 식품의 pH 및 산도 측정 등의 이화학적 분석에 의한 방법과 색이나 냄새를 확인하는 관능적인 방법 등이 있다^{7,8)}. 하지만, 미생물 수 측정 방법이나 이화학적 분석 방법은 조작이 복잡하고 작업자

의 숙련도에 따라 오차의 발생 가능성이 크다는 문제가 있다⁷⁻⁹⁾. 한편 소비자는 식품 구매 과정에서 관능적인 방법 또는 유통기한 확인을 통하여 신선도를 판별하나, 객관적이지 않고 유통기한 만으로는 식품 유통과정에 대한 신뢰성 확보가 어려워 식품의 신선도 판단에 한계가 있다⁷⁾. 그러므로 식품품질을 모니터링하고 가시적인 방법으로 신선도를 표시하는 기술의 개발이 필요하다¹⁰⁻¹²⁾.

지능형 패키징(Intelligent Packaging)은 포장된 제품의 생산에서부터 소비자가 제품을 사용할 때까지 제품의 품질변화와 유통환경 변화를 기록, 확인하여 소비자에게 전달할 수 있는 정보제공 기능을 가진 포장기법으로써, 이를 통하여 유통기한 연장, 제품의 안전성 확보, 품질 향상, 소비자의 신뢰성을 향상시킨다^{9,12)}. 지능형 패키징의 종류에는 Radio Frequency Identification (RFID), 시간-온도 지시계(Time-temperature Indicator: TTI), 신선도 인디케이터(Freshness Indicator) 등이 있다²⁾. RFID는 자동인식 기술의 하나로, 데이터 입력장치를 무선으로 연결하는 장치이다. 식품의 이력추적이

*Corresponding Author : Jongchul Seo
Department of Packaging, Yonsei University, Wonju 26493, Korea
Tel : +82-33-760-2697, Fax : +82-33-760-2760
E-mail : jcseo@yonsei.ac.kr

가능하여 유통 관리와 품질관리가 용이하고 제품보증이 가능하나, 정보를 얻기 위해서는 별도의 리더기가 필요하며 프로그램을 사용하여 정보를 해석해야 하는 번거로움이 있다^{2,12)}. TTI는 제품의 저장과 유통과정 중 겪는 온도변화에 상응하는 색변화를 나타낸다¹³⁾. 그러나 식품이 겪는 온도 변화를 식품의 품질과 연관시키는데 한계가 있다¹⁴⁾.

신선도 인디케이터는 식품의 품질변화 과정에서 발생하는 대사물질을 감지하여, 이를 소비자에게 시각적으로 전달하는 기술이다¹⁵⁾. 대표적 신선도 인디케이터 기술로는, 육류 및 어류의 미생물 증식으로 인한 단백질의 분해로 발생하는 휘발성 염기질소(Total Volatile Basic Nitrogen: TVBN)를 감지하는 TVBN 인디케이터^{16,17)}, 이산화탄소(CO_2)를 감지하는 CO_2 인디케이터¹⁸⁾, 황화수소(H_2S)를 감지하는 H_2S 인디케이터^{11,19)} 등이 있다. 이때, pH 지시약(브로모크레졸그린, 안토시아닌 등)을 활용하여 생성된 대사물질의 산도변화(산성/염기성)를 시각적으로 감지하는 인디케이터 기술은 간단한 색변화를 통해 식품 품질에 대하여 소비자가 육안으로도 쉽게 인지가 용이하다는 장점이 있어 각광받고 있다^{18,20,21)}. 신선도 인디케이터를 적용하기 위해서는 발생하는 대사물질과 인디케이터 간의 민감성이 중요하며, 또한 인디케이터 물질의 식품으로의 이행현상 방지가 필수적이다.

한편, 닭과 오리 등의 가금육은 부패가 빠른 육류로 일주일 내외로 부패가 발생한다. 그 중 닭고기의 신선도 저하에 관여하는 미생물은 슈도모나스균(*Pseudomonas spp.*)과 효모균 등이며²²⁾, 미생물이 증식하면서 단백질을 분해하여 아미노산과 암모니아가 생성된다. 또한 아미노산의 탈카르복시화에 의해 CO_2 , H_2S , 휘발성 아민류가 생성된다²³⁾. 이러한 과정을 통하여 발생하는 암모니아질소와 트리메틸아민(trimethylamine, TMA), 디메틸아민(dimethylamine, DMA) 등의 휘발성 아민을 합쳐서 Total Volatile Basic Nitrogen (TVBN)이라 명칭한다²⁰⁾. 선행연구에서는 주로 닭고기 부패 시 발생하는 대사 물질들을 닭고기 부패의 지표로써 사용하고, 저장기간 중 발생한 지표물질의 농도를 분석하여 닭고기의 신선도를 판단하는 인디케이터를 제조하였다^{8,18,20)}.

선행연구에서 제조한 신선도 인디케이터는 색확인을 위해 흰색의 필터페이퍼를 코팅 기판으로 사용하거나, 코팅액을 함침하는 방법을 사용하였다^{18,21,24)}. 그러나 필터페이퍼는 수분에 취약하여 닭가슴살 부패과정에서 발생하는 수분에 의해 코팅액이 용출될 가능성이 있으며, 함침의 경우 코팅액을 조절하기 어렵다는 한계가 있다. 또한 기존 pH 지시약 및 바인더를 도입한 조성의 경우 닭가슴살 부패 지점에서의 색변화 조절이 어렵다는 한계가 있다.

따라서, 본 연구에서는 흰색의 다공성 기재인 Tyvek®을 도입하였다. Tyvek®은 High-Density Polyethylene (HDPE)가 무작위로 배향된 흰색의 스펀 본드 부직포(spun-bonded fabric)의 일종으로, 가스와 습기는 투과하지만, 높은 수분 차단성

을 갖고 있다²⁵⁾. 따라서 인디케이터 적용 시 휘발성 대사물질의 투과를 통한 식품품질 판정이 가능할 것으로 보이며, 필터페이퍼와 같은 흰색의 기재로써 인디케이터의 색변화를 관찰하기 용이하고, 더 나아가 높은 수분 차단성으로 인디케이터 코팅액의 용출을 방지하여 기존 필터페이퍼의 한계를 극복할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 pH 지시약인 브로모크레졸 그린을 혼합된 인디케이터 코팅액에 아세트산 첨가를 통해 인디케이터의 색변화 구간을 조절하여 닭가슴살 부패지점에서의 색변화가 일어나는 신선도 인디케이터를 개발하고자 하였다. 닭가슴살 저장 실험을 통해 휘발성 물질의 발생량과 미생물 수와의 상관관계를 파악하였고, 이를 토대로 닭가슴살 부패 시뮬레이션을 진행하여 닭가슴살 품질을 나타낼 수 있는 최적의 인디케이터 조성을 선정하였다. 선정된 인디케이터는 닭가슴살 포장에 적용되었으며, 성능 평가를 위해 닭가슴살 품질에 따른 색변화를 Total Color Difference (TCD)를 통해 확인하고, 제조한 인디케이터의 색변화와 식품품질 변화와의 상관관계를 분석하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

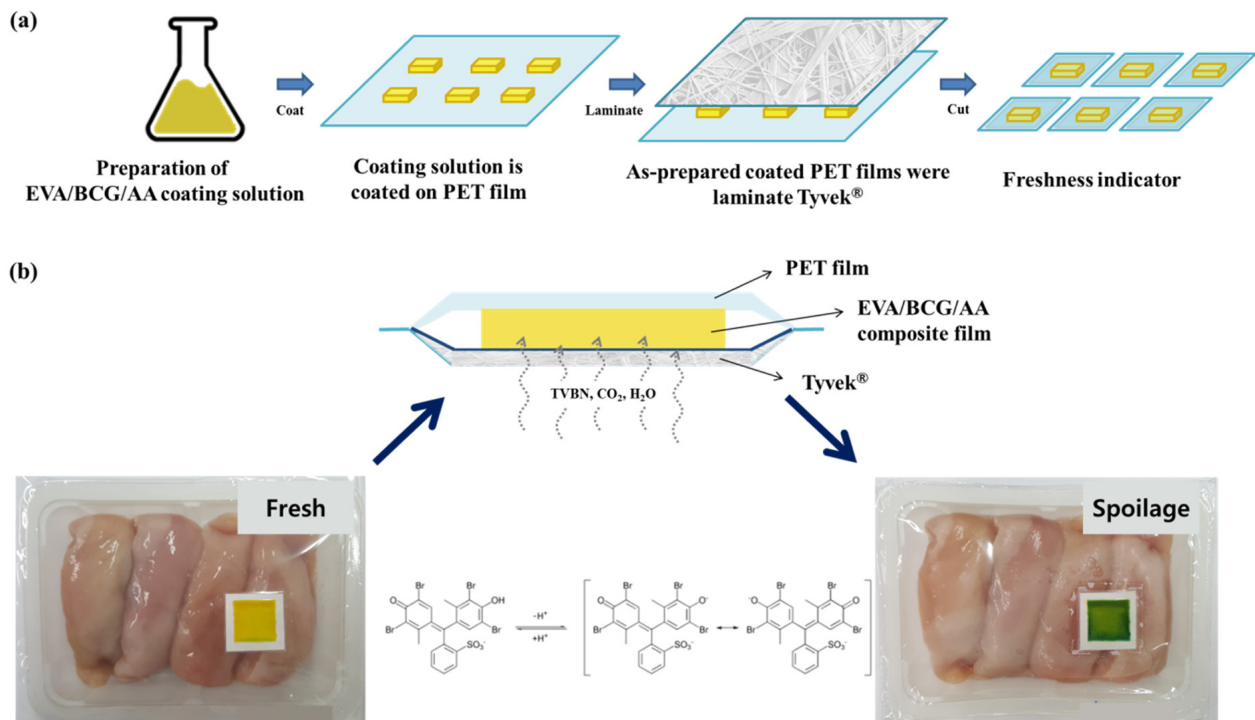
인디케이터 제조를 위한 pH 지시약은 시그마알드리치사(Sigma-Aldrich, St Louis, MO)의 브로모크레졸그린 (Bromocresol green, BCG), 바인더 고분자는 와커사(Wacker, Munich, Germany)의 VINNAPAS EP 707K 에틸렌비닐아세테이트(Ethylene vinyl acetate, EVA), 용매로는 (주)SK케미칼(SK chemical, Seoul, Korea)의 에탄올, 코팅용액의 pH 조절은 (주)대정화금(Daejung chemicals & Metals Co., Siheung, Korea)의 아세트산(Acetic acid, AA)을 사용하였다. 코팅 기재로 사용된 폴리에틸렌 테레프탈레이트(Polyethylene terephthalate, PET) 필름은 두께 15 μm 제품을 사용하였으며, Tyvek®은 듀폰사(DuPont™, Wilmington, Delaware)의 1073B 제품을 사용하였다.

2. 신선도 인디케이터 제조

신선도 인디케이터의 코팅액을 제조하기 위하여 pH 지시약인 BCG와 에탄올, EVA 및 AA를 혼합하였으며, 코팅액의 조성은 Table 1과 같다. 5g 에탄올과 조성별 BCG, AA를 혼합한 용액을 마그네틱교반기(C-MAG HS 7, IKA, Staufen, Germany)를 이용하여 상온에서 30분 동안 교반하고, EVA 에멀전(고형분 54%)을 40 g 첨가하여 인디케이터 코팅액을 제조하였다. 제조된 코팅액은 바코터(Automatic film-coating apparatus, Kipac ent., Suwon, Korea)를 이용하여 PET 필름에 가로 25 mm × 세로 25 mm 크기로 코팅한 후 60°C에서 6시간 동안 건조하였으며, 최종 코팅층의 두께는 85±5 μm 로 조절하였다. 건조 후 다공성 기재인 Ty-

Table 1. Chemical compositions of coating solutions for freshness indicators

Sample Code	BCG (g)	Ethanol (g)	EVA (g)	AA (g)
G0.12_A0.5	0.12	2	40	0.5
G0.16_A0.5	0.16	2	40	0.5
G0.20_A0.5	0.20	2	40	0.5
G0.12_A0.1	0.12	2	40	0.1
G0.12_A0.5	0.12	2	40	0.5
G0.12_A1.0	0.12	2	40	1.0

**Fig. 1.** (a) Scheme for fabrication of freshness indicator, and (b) structure and color change of freshness indicator.

vek®과 합지 및 절단하여 인디케이터를 제조하였다(Fig. 1).

3. 닭가슴살 포장

제조한 인디케이터의 성능을 확인하기 위하여 닭가슴살은 태봉축산(Taebong, Wonju, Korea)에서 도축 후 24시간 경과한 제품을 구입하였다. PP 트레이(225 mm × 170 mm × 40 mm)에 430±10 g씩 담은 뒤, 30±3 µm 두께의 Nylon/EVOH/PE 필름으로 씰링하였다. 샘플은 4°C와 10°C에 저장하였으며, 총 8일 동안 미생물학적 분석과 이화학적 분석을 실시하였다.

4. 닭가슴살의 저장특성

1) 미생물학적 분석

미생물학적 분석을 위하여 총균수와 슈도모나스균수를 측

정하였다. 닭가슴살 시료 10 g을 채취하여 멸균 펩톤수 90 mL을 멸균 bag에 넣고 스토마커를 이용하여 균질화하였다. 균질액은 거즈를 이용하여 거르고 추출한 추출물은 0.1% 멸균 펩톤수로 희석하였다. 총균수 측정은 페트리필름(Aerobic count plate, Coliform Count Plate Petrifilm, 3M, USA)을 배지로 사용하여 희석액 1 mL를 접종한 뒤 37°C에서 48시간 배양하여 형성된 콜로니(colony) 수를 측정하였다²⁶⁾. 슈도모나스균의 측정은 Cetrimide-fusidin-cephaloridine (CFC) agar (Oxoid code CM 0559, UK)에 Pseudomonas CFC selective agar supplement (Oxoid code SR0103, UK)를 첨가한 배지를 사용하였으며, 희석액 1 mL을 도말한 뒤 30°C에서 48시간 배양하여 콜로니 수를 측정하였다²⁷⁾. 미생물 수는 콜로니 형성단위 (Colony Forming Unit, 이하 CFU)를 log CFU/mL로 표시하여 닭가슴살 부패정도를 확인하였다.

2) 이화학적 분석

TVBN은 미생물에 의해 닭가슴살이 분해되어 발생하는 물질로, TVBN 발생량 측정은 pH 측정을 포함하여 대표적인 이화학적 분석법에 속한다. TVBN 함량은 Butler et al.의 방법을 따라 콘웨이 유닛(conway unit)을 사용한 미량화산법을 이용하여 측정하였다²⁸⁾. 닭가슴살 시료 10 g을 채취하여 증류수 90 mL에 넣어 균질기로 균질화한 뒤 균질액은 whatman No.1 여과지를 이용하여 여과하였다. 여과된 1 mL를 콘웨이 유닛의 외실에 넣고, 내실에는 0.01 N 붕산 1 mL와 콘웨이 시약 50 μ L (0.066% 메틸레드/60% 에탄올:브로모크레졸그린/20% 에탄올=1:1)를 넣었다. 뚜껑과 접착부위에 글리세린을 바르고 뚜껑을 닫은 후 50% 탄산칼륨용액 1 mL을 외실에 주입한 다음 즉시 밀폐한 다음 용기를 수평으로 교반시킨 후 37°C에서 120분간 방치하고 0.02 N 황산으로 적정하여 무색이 되는 양을 측정하고, 식 (1)을 이용하여 계산하였다. a는 시료를 적정한 황산의 부피(mL), b는 공시료를 적정한 황산의 부피(mL), f는 0.02 N 황산의 표준화 지수, S는 시료 무게(g)를 각각 나타낸다.

$$\text{VBN (mg\%)} = (a - b) \times f \times 28.014 \times 100/S \quad (1)$$

닭가슴살에서 발생한 CO₂량을 측정하기 위하여 포장 내 헤드스페이스의 CO₂ 농도를 헤드스페이스 가스분석기(Checkmate II, PBI-Dansensor, Denmark)로 측정하였다. 닭가슴살의 pH를 측정하기 위해 닭가슴살 샘플 5 g을 채취하여 증류수 20 mL와 혼합한 뒤 균질화하고 Whatman No.1 filter paper를 이용하여 거른 뒤 pH 미터기(HI2020, HANNA, Italy)를 이용하여 그 여과액의 pH를 측정하였다.

5. 인디케이터 시물레이션

닭가슴살 저장실험을 통해 얻은 지표물질의 농도변화 데이터를 토대로 닭가슴살 부패 모사 환경을 조성하여 그에 따른 인디케이터 시물레이션을 진행하였다. 조성별로 제조한 인디케이터를 유리병(Duran, Wertheim, Germany) 내부에 부착하였으며, 유리병은 실리콘캡터(Duran, Wertheim, Germany)와 파라필름(Parafilm, Whatman, Buckinghamshire, UK)으로 밀봉하였다. 밀봉된 유리병에 CO₂ 기체(99.8%, Sigma-Aldrich, St Louis, MO)를 주입하여 내부의 CO₂ 농도를 20%로 맞췄으며, 이는 헤드스페이스 가스분석기를 통해 측정하였다. 이후 TMA 표준용액(Wako, Tokyo, Japan)을 이용하여 0, 10, 20, 30 mg%의 농도로 유리병 내부에 주입하였으며, 이에 따른 인디케이터의 색변화를 관찰하였다.

7. 닭가슴살 저장특성과 인디케이터 색변화 분석

시물레이션을 통해 선택한 최적 조성의 인디케이터를 실제 닭가슴살에 적용하여 부패에 따른 인디케이터의 색변화

성능을 확인하였다. 포장 내부 헤드스페이스에 인디케이터를 부착한 닭가슴살 샘플을 4°C와 10°C의 온도에 8일간 저장하였으며, 이화학적 분석(TVBN 발생량 및 CO₂ 발생농도 측정)을 실시하였다. 또한 닭가슴살의 부패 과정과 인디케이터 색변화와의 상관관계를 확인하기 위하여 색차계(TES-135, TES Electrical Electronic, Taipei, Taiwan)를 이용하여 저장 기간에 따른 인디케이터의 명도(L*), 적색도(a*), 황색도(b*) 값을 측정된 뒤 다음 식 (2)를 따라 ΔE (Total color difference, TCD) 값을 구하였다²⁹⁾.

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2} \quad (2)$$

결과 및 고찰

1. 닭가슴살 부패 과정 중 미생물학적 변화

닭고기의 품질 및 신선도는 주로 부패에 관여하는 미생물의 수에 따라 결정된다³⁰⁻³²⁾. Balamatsia et al.은 4°C에 저장한 신선 닭가슴살의 초기 부패 시 슈도모나스균은 $6.2 \pm 0.3 \log \text{CFU/mL}$ ³⁰⁾, Kuswandi et al.은 $6.7 \log \text{CFU/mL}$ ²⁰⁾, Senter et al.과 Balamatsia et al.은 닭가슴살의 신선 허용 한계점(Limit of acceptability)을 미생물 수 $7 \log \text{CFU/mL}$ 을 기준으로 보고하였다^{31,32)}. 따라서, 본 연구는 선행연구의 결과를 바탕으로 총균수와 슈도모나스균의 초기 부패 기준을 $6 \log \text{CFU/mL}$ 로 선정하였다.

4°C에 저장한 닭가슴살의 저장기간 동안 미생물 수의 변화는 Fig. 2와 같다. 초기(저장 0일차)의 총균수와 슈도모나스균의 수 모두 $4.4 \log \text{CFU/mL}$ 로 확인되었다. 저장기간이 증가할수록 총균수와 슈도모나스균의 수는 증가하였으며,

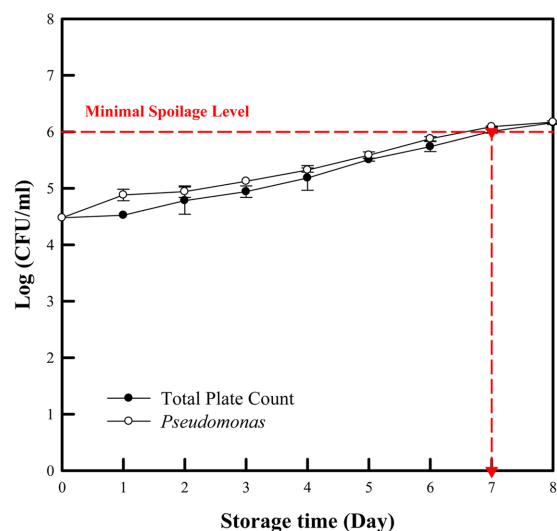


Fig. 2. Growth of *Pseudomonas* spp and total plate count in chicken breast stored at 4°C.

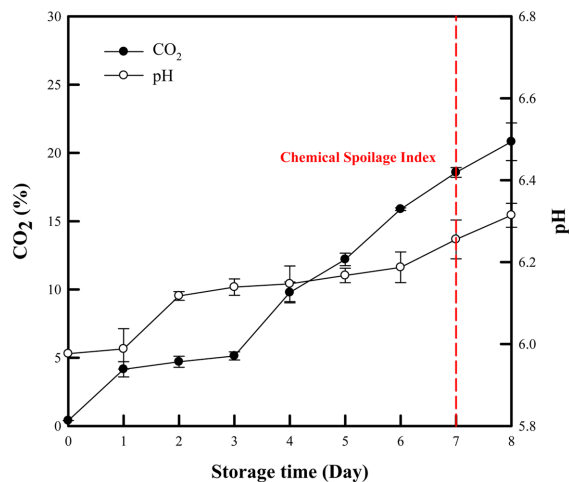


Fig. 3. Changes in CO₂ and pH of chicken breast stored at 4°C.

저장 7일차에 초기 부패 기준인 6 log CFU/mL에 도달하였음을 확인하였다. 이때를 초기부패단계(Minimal Spoilage level)라 하며, 이 때 발생한 지표 물질의 발생량을 초기부패 농도(Chemical spoilage index, CSI)라 한다¹⁸⁾.

2. 닭가슴살 부패 과정 중 이화학적 변화

TVBN 양 분석은 닭가슴살의 신선도를 평가하는 이화학적 방법 중 하나이다^{32,33)}. 축산물의 가공기준 및 성분규격(식품의약품안전처, 2015)에 따르면 포장육의 TVBN 기준을 20 mg% 이하로 규정하고 있다³⁴⁾. 또한 Byun et al.은 신선 육류의 TVBN 기준을 20 mg% 이하로 설정하였다³⁵⁾.

본 연구에서 실시한 닭가슴살의 저장기간에 따른 TVBN, CO₂의 발생량, 그리고 pH 변화를 Fig. 3과 4에 나타내었다. 닭가슴살의 초기 TVBN 발생량과 CO₂ 농도는 각각 11.2 mg%와 0.4%로 측정되었으며, 저장일이 경과함에 따라 점점 증가하였다. TVBN은 미생물의 증식으로 인한 단백질 분해 과정에서 발생하며, CO₂는 미생물의 호흡 및 분해된 단백질의 탈카르복시화 과정에서 발생하는 물질로, 닭가슴살 부패 과정에서 발생량의 증가는 미생물 수가 증가함에 따른 것으로 사료된다^{18,23)}. 이 후 초기부패단계에 도달하는 저장 7일차에 TVBN 발생량과 CO₂ 농도가 각각 23 mg%와 19%임을 확인하였다. 이를 통해 본 연구의 초기부패단계의 TVBN 발생량과 선행연구의 결과가 잘 일치하는 것을 확인하였다^{34,35)}.

닭가슴살 저장 0일차의 pH는 5.9이며, 저장기간의 증가에 따라 증가하였다. 이는 닭가슴살 부패 과정에서 발생하는 TVBN이 물분자와 만나 양성자를 얻어 암모늄 이온(NH⁺)과 하이드록시기 이온(OH⁻)을 내놓으면서 pH를 증가시키기 때문이다. pH는 닭가슴살 초기부패단계에서 pH 6.26에 도달하였다. 이 결과는 선행연구에서 규정한 부패육의 pH인 6.3과

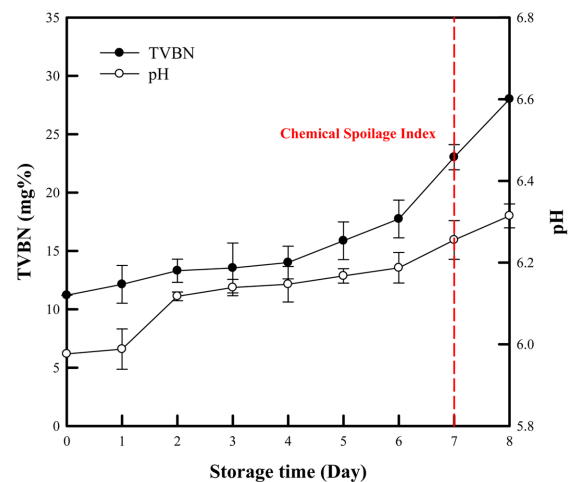


Fig. 4. Changes in TVBN and pH of chicken breast stored at 4°C.

부합하는 결과임을 확인할 수 있다^{26,36)}. 이를 통해 초기부패 단계에서의 지표물질농도는 TVBN이 23 mg%, CO₂ 농도는 19%, pH는 6.26임을 확인하였다.

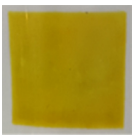
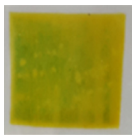
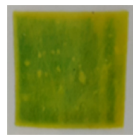
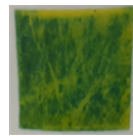
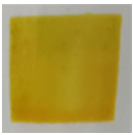
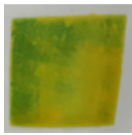
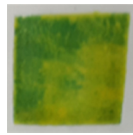
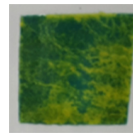
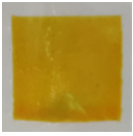
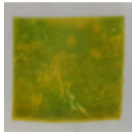
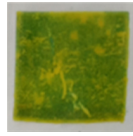
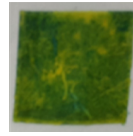
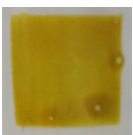
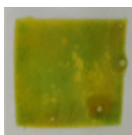
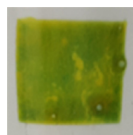
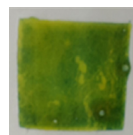
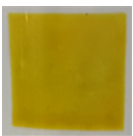
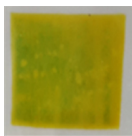
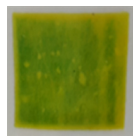
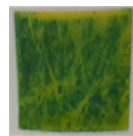
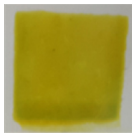
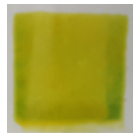
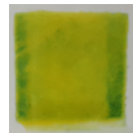
3. 신선도 인디케이터의 성능확인

제조한 인디케이터의 닭가슴살 부패에 따른 색변화 성능을 시험하기 위하여 CO₂ 농도는 20%로 고정하고, TMA 농도를 조절하여 인디케이터의 색변화에 대한 시뮬레이션을 진행하였으며, 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

BCG는 산성에서는 노란색이며, pH가 증가할수록 초록색을 거쳐 파란색으로 변하는 pH 지시약이다²¹⁾. 제조한 인디케이터의 초기 색은 노란색이며, TMA의 농도가 증가할수록 초록색으로 변하는 것을 확인하였다. Table 2에서 BCG의 함량이 증가할수록 인디케이터의 색이 더 진하게 변하는 것을 확인하였다. 그러나 BCG 농도별 TMA 농도에 따른 색변화 구간은 유의적인 차이는 나타나지 않았다. TMA 0 mg%에서 인디케이터 색은 세 조성 모두 노란색이었으며, 10 mg%에서 약간의 색변화가 나타나고 20 mg% 이상에서 육안으로 확인 가능한 색변화가 발생하였다.

AA의 함량이 증가할수록 인디케이터의 색변화가 더 늦게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. TMA 0 mg%에서 인디케이터 색은 세 조성 모두 노란색이었으나, TMA 10 mg%에서 'G0.12_A0.1' 인디케이터의 육안으로 구분 가능한 색변화가 발생하였으며, 'G0.12_A0.5' 인디케이터는 TMA 20 mg%에서 발생하였고, 'G0.12_A1.0' 인디케이터는 TMA 30 mg%에서도 색변화가 나타나지 않았다. 이는 AA 함량이 증가할수록 인디케이터 내 H⁺ 이온 수가 증가하여 색이 상대적으로 늦게 변하는 것으로 사료된다. 따라서 AA의 도입을 통해 인디케이터 색변화 구간을 조절할 수 있을 것으로 판

Table 2. Color change of the fresh indicators depending on the BCG and AA concentrations

Sample code	BCG (g)	Acetic acid (g)	TMA (mg%)			
			0	10	20	30
G0.12_A0.5	0.12	0.5				
G0.16_A0.5	0.16	0.5				
G0.20_A0.5	0.20	0.2				
G0.12_A0.1	0.12	0.1				
G0.12_A0.5	0.12	0.5				
G0.12_A1.0	0.12	1.0				

*The concentration of CO₂ was maintained at 20%.

단된다.

시뮬레이션 결과, BCG 함량은 0.12 g이며, AA 함량은 0.5 g인 인디케이터가 TMA 20 mg%에서 육안으로 확인할 수 있는 뚜렷한 색변화(노란색 → 초록색)를 보였다. 닭가슴살의 초기 부패시 TVBN 발생량이 23 mg%임을 고려하였을 때, 'G0.12_A 0.5'의 인디케이터가 닭가슴살 신선도 판정 인디케이터로서 가장 최적의 조성이라 판단된다.

4. 닭가슴살 부패에 따른 인디케이터 색변화

인디케이터 시뮬레이션을 통해 선택한 최적조성의 인디케이터를 닭가슴살 포장 내부 헤드스페이스에 부착하였으며, 4°C와 10°C에서 8일 동안 닭가슴살의 이화학적 변화와 그에 따른 인디케이터의 색변화를 관찰하였으며, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

TVBN과 CO₂ 농도의 초기값은 각각 11.2 mg%와 0.2%로 하였으며, 저장일에 따라 발생량이 증가하였으며, 저장온도가 높을수록 더 빠르게 증가하였다. 4°C에 저장한 닭가슴살

은 저장 6일차에 TVBN 22.4 mg%와 CO₂ 20%에 도달하였고, 10°C에 저장한 닭가슴살은 저장 3일차에 TVBN 21.5 mg%와 CO₂ 18.3%에 도달하여 각각 저장 6일차와 3일차에 초기 부패한 것을 확인하였다.

부착된 인디케이터는 초기 노란색에서 저장일이 경과할수록 초록색으로 변화하는 것을 관찰하였으며, 저장일에 따른 인디케이터의 TCD 값을 Table 3에 나타내었다. Francis에 의하면 일반적으로 TCD 값이 5.0 이상일 경우 육안으로 색의 변화를 확인할 수 있으며, 12.0 이상일 경우 완전히 다른 색으로 판단할 수 있다고 한다³⁷⁾. Table 3에서 저장 초기 인디케이터의 TCD 값은 12.0 미만으로 나타나다가 4°C 저장 인디케이터는 저장 6일차에 13.9의 값을, 10°C 저장 인디케이터는 저장 2일차에 27.0의 값을 각각 나타내었다. 이는 인디케이터의 뚜렷한 색변화가 발생한 날짜와 이화학적 분석을 통해 도출해낸 닭가슴살의 초기부패판정일과 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

따라서 본 연구에서 수행한 닭가슴살의 품질변화 분석결

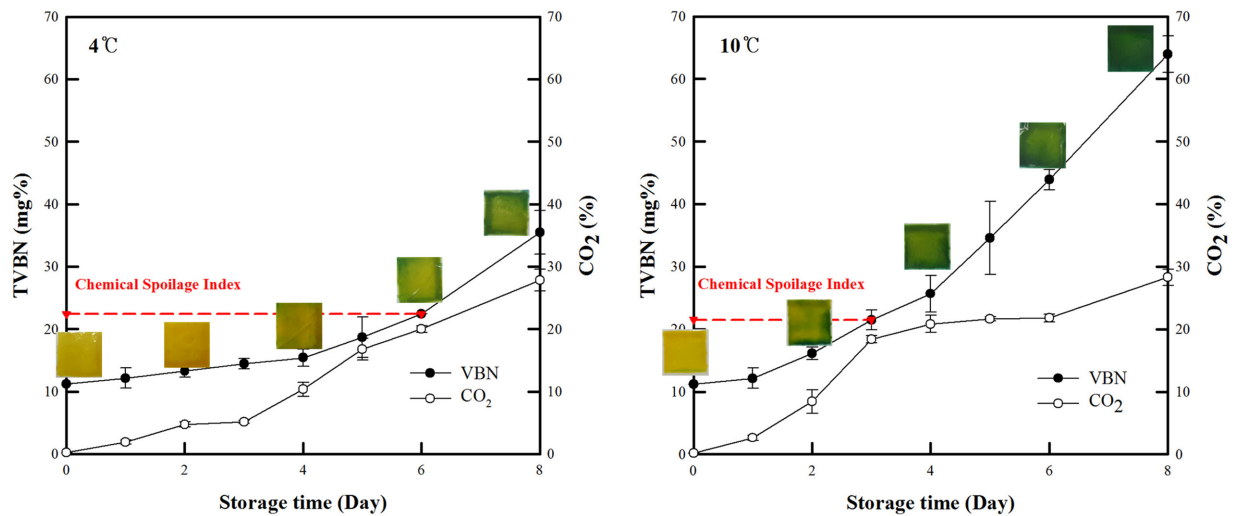


Fig. 5. Color change of the freshness indicators in response to quality difference of chicken breast stored at 4°C and 10°C.

Table 3. Changes in TCD values of the freshness indicators using “G0.12_A0.5” at 4°C and 10°C

Temperature	Storage day	Day 0	Day 2	Day 4	Day 6	Day 8
4°C		0	4.2	2.4	13.9	13.6
10°C		0	27.0	14.3	15.4	16.4

과를 바탕으로 pH 지시약인 BCG와 AA의 첨가로 색변화구간을 조절한 뒤 가스와 습기는 투과하지만, 높은 수분 차단성을 갖는 흰색의 다공성 기재인 Tyvek®의 합질을 통해 제조한 신선도 인디케이터는 닭가슴살의 부패를 감지하고 색변화를 통해 효율적으로 소비자에게 전달할 수 있을 것으로 예상된다. 더 나아가 인디케이터 코팅액의 함량 조절을 통한 색변화구간 조절에 대한 추가적인 연구가 이루어진다면, 신선도 인디케이터로써 다양한 식품군에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

요 약

닭가슴살의 품질변화를 실시간으로 모니터링하기 위하여 pH 지시약, AA, 다공성 기재인 Tyvek®을 이용하여 신선도 인디케이터를 제조하였다. 닭가슴살의 대표적인 지표물질은 TVBN과 CO₂이며, 이는 저장기간에 따라 미생물의 증식과 단백질 분해를 통해 증가한다. 닭가슴살 저장실험 결과 미생물 수로 판단한 초기부패단계의 CO₂ 농도와 TVBN 발생량은 각각 19%와 23 mg%로 확인되었다. 지표물질 발생량 데이터를 토대로 BCG 및 AA의 농도별 인디케이터를 제조하여 인디케이터 색변화 시뮬레이션을 실시하였다. 그 결과, AA의 함량에 따른 인디케이터의 색변화구간 조절 가능성이 확

인되었으며, 제조한 인디케이터 중 “G0.12_A0.5”의 인디케이터가 닭가슴살 초기 부패판정 농도인 TMA 20 mg%에서 육안으로 확인할 수 있는 뚜렷한 색변화를 보였다. 시뮬레이션을 통해 선정된 최적 조성의 인디케이터를 닭가슴살 포장 내부에 부착하였으며, 4°C와 10°C에서 8일동안 닭가슴살의 이화학적 변화와 그에 따른 인디케이터의 색변화를 관찰하였다. 그 결과, TCD 값을 통해 판단된 인디케이터의 색변화 발생일이 각 온도별 닭가슴살 초기부패판정일과 잘 부합하였으며, 이를 통해 시뮬레이션의 신뢰성을 확보할 수 있는 것으로 확인되었다. 본 연구 결과는 저장 중 닭가슴살의 품질변화를 제조한 인디케이터의 포장 내 부착을 통하여 감지하고 실시간 신선도 판단이 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 농림수산식품기술기획평가원에 의해 이루어진 것임(No. 314074-03-3-HD020).

참고문헌

1. Feliciano, L. 2009. Color changing plastics for food packaging. Retrieved from Ohio State University, Columbus, Ohio.

2. Kuswandi, B., Wicaksono, Y., Abdullah, A., Heng, L. Y., and Ahmad, M. 2011. Smart packaging: Sensors for monitoring of food quality and safety. *Sens. Instrumen. Food Qual.* 5: 137-146.
3. Mahalik, N. P. 2009. Processing and packaging automation systems: A review. *Sens. Instrumen. Food Qual.* 3: 12-25.
4. McDermott, P., Zhao, S., Wagner, D., Simjee, S., Walker, R., and White, D. 2002. The food safety perspective of antibiotic resistance. *Anim. bBiotechnol.*, 13: 71-84.
5. Mills, A. 2005. Oxygen indicators and intelligent inks for packaging food. *Chem. Soc. Rev.* 34: 1003-1011.
6. Gould, G. W. 1996. Methods for preservation and extension of shelf life. *Int. J. Food Microbiol.* 33: 51-64.
7. Shin, H. Y., Ku, K. J., Park, S. K., and Song, K. B. 2006. Use of freshness indicator for determination of freshness and quality change of beef and pork during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.* 38: 325-330.
8. Shin, H. Y., Ku, K. J., Park, S. K., and Song, K. B. 2006. Use of freshness indicator for determination of freshness and quality change of chicken during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 761-767.
9. Dainty, R. 1996. Chemical/biochemical detection of spoilage. *Int. J. Food Microbiol.* 33: 19-33.
10. Hempel, A., O'Sullivan, M., Papkovsky, D., and Kerry, J. 2013. Use of smart packaging technologies for monitoring and extending the shelf-life quality of modified atmosphere packaged (MAP) bread: application of intelligent oxygen sensors and active ethanol emitters. *Eur. Food Res. Technol.* 237: 117-124.
11. Smolander, M. and Ahvenainen, R. 2003. Novel food packaging techniques. Woodhead Publishing Cambridge, UK, 127-143.
12. Yam, K. L., Takhistov, P. T., and Miltz, J. 2005. Intelligent packaging: Concepts and applications. *J. Food Sci.* 70: 1-10.
13. Hogan, S. and Kerry, J. 2008. Smart packaging technologies for fast moving consumer goods. John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England, 33-59.
14. Her, J.-Y., Lee, S.-M., Kim, S.-W., and Lee, K.-G. 2010. Smart packaging technology: Time-temperature indicator and freshness indicator. *Food Sci. Ind.* 43: 2-13.
15. Nopwinyuwong, A., Trevanich, S., and Suppakul, P. 2010. Development of a novel colorimetric indicator label for monitoring freshness of intermediate-moisture dessert spoilage. *Talanta*, 81: 1126-1132.
16. Pacquit, A., Lau, K. T., McLaughlin, H., Frisby, J., Quilty, B., and Diamond, D. 2006. Development of a volatile amine sensor for the monitoring of fish spoilage. *Talanta*, 69: 515-520.
17. Pacquit, A., Frisby, J., Diamond, D., Lau, K. T., Farrell, A., Quilty, B., and Diamond, D. 2007. Development of a smart packaging for the monitoring of fish spoilage. *Food Chem.* 102: 466-470.
18. Rukchon, C., Nopwinyuwong, A., Trevanich, S., Jinkarn, T., and Suppakul, P. 2014. Development of a food spoilage indicator for monitoring freshness of skinless chicken breast. *Talanta*, 130: 547-554.
19. Smolander, M., Hurme, E., Latva-Kala, K., Luoma, T., Alakomi, H.-L., and Ahvenainen, R. 2002. Myoglobin-based indicators for the evaluation of freshness of unmarinated broiler cuts. *Innov. Food Sci. Emerg. Ttechnol.* 3: 279-288.
20. Kuswandi, B., Oktaviana, R., Abdullah, A., and Heng, L. Y. 2014. A novel on-package sticker sensor based on methyl red for real-time monitoring of broiler chicken cut freshness. *Packag. Technol. Sci.* 27: 69-81.
21. Chun, H.-N., Kim, B., and Shin, H.-S. 2014. Evaluation of a freshness indicator for quality of fish products during storage. *Food Sci. Biotechnol.* 23: 1719-1725.
22. Russell, S., Fletcher, D., and Cox, N. 1995. Spoilage bacteria of fresh broiler chicken carcasses. *Poultry Sci.* 74: 2041-2047.
23. Baston, O., Tofan, I., Stroia, A. L., Moise, D., and Barna, O. 2008. *Food Technol.* 2: 37-43.
24. Loughran, M. and Diamond, D. 2000. Monitoring of volatile bases in fish sample headspace using an acidochromic dye. *Food Chem.* 69: 97-103.
25. Blocher, J. 2009. The effect of relative humidity on the microbial barrier properties of porous packaging materials used in the medical device industry. Master degree dissertation, Clemson University.
26. Mills, J., Donnison, A., and Brightwell, G. 2014. Factors affecting microbial spoilage and shelf-life of chilled vacuum-packed lamb transported to distant markets: A review. *Meat Sci.* 98: 71-80.
27. Mielnik, M., Dainty, R., Lundby, F., and Mielnik, J. 1999. The effect of evaporative air chilling and storage temperature on quality and shelf life of fresh chicken carcasses. *Poultry Sci.* 78: 1065-1073.
28. Butler, O., Bratzler, L., and Mallmann, W. 1953. The effect of bacteria on the color of prepackaged retail beef cuts. *Food Technol.* 7: 397-400.
29. Hunt, R. W. G. and Pointer, M. R. 2011. *Measuring colour*. John Wiley & Sons, 1-469.
30. Balamatsia, C., Paleologos, E., Kontominas, M., and Savvaidis, I. 2006. Correlation between microbial flora, sensory changes and biogenic amines formation in fresh chicken meat stored aerobically or under modified atmosphere packaging at 4 °C: Possible role of biogenic amines as spoilage indicators. *Anton Leeuw Int. J. G.* 89: 9-17.
31. Senter, S. D., Arnold, J. W., and Chew, V. 2000. APC values and volatile compounds formed in commercially processed, raw chicken parts during storage at 4 and 13°C and under simulated temperature abuse conditions. *J. Sci. Food Agr.* 80: 1559-1564.
32. Balamatsia, C. C., Patsias, A., Kontominas, M. G., and Savvaidis, I. N. 2007. Possible role of volatile amines as quality-indicating metabolites in modified atmosphere-packaged chicken fillets: Correlation with microbiological and sensory attributes. *Food Chem.* 104: 1622-1628.
33. Rokka, M., Eerola, S., Smolander, M., Alakomi, H.-L., and Ahvenainen, R. 2004. Monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler chicken cuts stored in different temperature conditions: B. Biogenic amines as quality-indicating metabolites. *Food Control* 15: 601-607.

34. Ministry of Food and Drug Safety. 2015. Korean Food Standards Codex 2015-55. Republic of Korea.
 35. Byun, J.-S., Min, J. S., Kim, I. S., Kim, J.-W., Chung, M.-S., and Lee, M. 2003. Comparison of indicators of microbial quality of meat during aerobic cold storage. *J. Food Protect.* 66: 1733-1737.
 36. Kim, Y.-H., Yang, S.-Y., and Lee, M.-H. 1988. The effect of freezing rates on the physico-chemical changes of chicken meat during frozen storage at 20°C. *Korean J. Poult. Sci.* 20: 447-452.
 37. Francis, F. 1982. Colorimetry of foods. *Food Technol.* 36: 36.
- 투고: 2017.02.07 / 심사완료: 2017.03.27 / 게재확정: 2017.04.14