pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 32, No. 4, pp. 306~313 (2017)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2017.32.4.306

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

Systematic analysis 방법을 이용한 국내 엽경채류 농산물의 미생물학적 오염도 분석

성승미[1] · 민지현[2] · 김현정[3] · 윤기선[2] · 이종경[4]*
[1]경희대학교 영양교육대학원, [2]경희대학교 식품영양학과, [3]한국식품연구원, [4]한양여자대학교 식품영양과

Systematic Analysis of Microbial Contamination in Leaf and Stem Products in Korea

Seung-Mi Sung[1], Ji-Hyeon Min[2], Hyun Jung Kim[3], Ki-Sun Yoon[2], and Jong-Kyung Lee[4]*
[1]*Department of Nutrition Education, The Graduate School of Education, Kyung Hee University, Seoul, Korea*
[2]*Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University, Seoul, Korea*
[3]*Korea Food Research Institute, Seongnam, Korea*
[4]*Department of Food & Nutrition, Hanyang Women's University, Seoul, Korea*
(Received December 26, 2016/Revised March 7, 2017/Accepted June 30, 2017)

ABSTRACT - This study systemically analyzed the data on the microbial levels in fresh vegetables in Korea to identify the points to control. We scanned the studies published between 2001 and 2015 in peer-reviewed research papers on the microbial levels in fresh vegetables produced in Korea. Plant products were categorized by using the US IFSAC (Interagency Food Safety Analytics Collaboration) category. The most consumed, the non-heat treated, the epidemiological foodborne diseases sources of fresh vegetable in foodservice (KCDC data) were identified by literature review. Articles were screened using National Digital Science Library (NDSL) search engine regarding to microbial hazards in plant products. Based on the total plate count number and coliforms on the 89 data cases from 26 published articles, the total plate count number was high in the order of sprouts, leaf and stem, bulbs and roots, vine-grown, solanaceous, melons, and pome. *Escherichia coli* was frequently detected in leaf and stem and sprouts products. Focused on the microbial data of leek, lettuce and cabbage, the levels of total plate count, coliforms and *Bacillus cereus* showed the levels of 4.15~7.69 log CFU/g, 1~6.99 log CFU/g, and 0.51~3.9 log CFU/g, respectively, by 33 published papers. The levels of environmental factors affecting the microbial safety of lettuce and leek before harvest were investigated. Manure, soil, hands, scale, gloves were the major potential microbial contamination points to control. In addition, GAP (good agricultural practice), microbial testing, and improvement of irrigation methods are required to provide the safer fresh produce.

Key words : Microbial Contamination, Plant Products, Categorization, Environmental Factors, Leaf and Stem

최근 건강의 대한 관심증가로 신선한 채소, 과일과 같은 농산물의 소비가 늘어나고 있으며, 농산물을 가열하지 않고 생식으로 섭취하는 경우도 많아지고 있는 추세이다. 농산물은 생산과정에서 관개 용수, 토양, 퇴비, 가축의 분변, 동물, 곤충 등 여러 요인에 의해 생산과정에서부터 소비자에게 공급되기까지 미생물에 오염될 가능성이 있는데 농산물을 가열하지 않고 섭취하는 경우 미생물에 오염된 농산물을 그대로 섭취할 수 있어 식중독의 위험이 커지게 된다[1,2]. 국내에서는 2013년과 2014년에 학교급식에 납품된 김치와 열무김치에 의한 병원성 대장균 식중독이 문제로 대두된 바 있다[3].

단체급식과 외식분야의 경우, 유통단계 이후 농산물의 미생물을 제어할 수 있는 수단은 소독과 가열방식이 주로 활용된다. 세척방법에 따른 미생물 저감화 효과 관련연구에 의하면, 수돗물 세척 시 일반세균 및 대장균군의 미생물 수가 오히려 증가하거나 감소효과가 낮은데 반하여, 염소세척, 오존수 세척을 하는 경우 미생물 감소효과가 높아[4] 수돗물 이외의 소독제와 물리적 수단을 활용하여 병원성 미생물 수준을 낮추는 연구가 활발히 진행되고 있다. 단체급식소에서 사용되는 엽경채류 중 시금치, 부추, 상추,

*Correspondence to: Jong-Kyung Lee, Hanyang Women's University, 200 Salgoji-gil, Seongdong-gu, Seoul 04763, Korea.
Tel: 82-2-2290-2183, Fax: 82-2-2290-2199
E-mail: jklee@hywoman.ac.kr

양배추 순으로 사용빈도가 높게 나타났다[1,2]. 단체급식소 식재료의 세균 오염분석에 관한 연구에 따르면, 부추는 40%이상이 총균수 6 log CFU/g 이상, 상추의 경우 60%이상이 대장균군 3 log CFU/g 이상 수준을 보여주는 반면, 대부분의 조리식품에서는 평균 1.7 log CFU/g의 세균수와 0.5 log CFU/g의 대장균군으로 매우 낮게 나타나[4] 가열조리를 통하여 미생물을 제어하는 것이 효과적이다. 다만 농산물 중에서 비가열 방식으로 소비되는 제품이 많고, 익히지 않은 상태에서 뜨거운 축산물과 수산물과 함께 섞여서 제공되는 경우가 많아서 미생물학적 안전관리를 위하여 농산물을 체계적으로 분류하고 수확품목의 토양 근접성, 껍질 유무 등 다양한 인자를 고려하여 생산 관리하는 것이 바람직하다.

질병관리본부의 2014년도 감염병 역학조사 연보의 국내 수인성・식품매개질환의 감염원별 규명된 건수와 불명인 건수는 각각 78건과 331건으로 나타났으며 규명된 단일 식품류에서 가장 많은 분포를 보이는 식품은 어패류・해산물 16건, 절임채소류 12건이었으며, 뒤를 이어 소고기류 8건, 돼지고기류 8건, 가금류 5건 등 축산물, 그리고 물 6건 등 주요 요인으로 나타났다[5].

국내 식품에서 병원성 미생물의 오염도에 관한 체계적 문헌분석 결과연구에 의하면 축산물의 경우 익히지 않은 생재료에서 *Salmonella* spp., *Campylobacter jejuni/coli*, Pathogenic *Escherichia coli* 등의 오염, 수산물과 물과 연관된 병원성 미생물은 *Vibrio parahaemolyticus*와 norovirus가 주로 나타났으며, 많은 재료가 섞여 있는 복합조리식품에는 *Staphylococcus aureus* 양성 샘플이 많이 나타났다. 그러나 이들에 관한 원논문들을 검토하여 보면 대부분의 연구자들이 식품-미생물 짝을 선정하여 미생물학적 오염도 결과를 제시하는 것이 대부분이다. 국내에서 농산물은 주로 토양미생물을 중심으로 분석이 이루어졌다[6]. 특히 농산물의 경우는 단체급식에서 영양적, 경제적 이유에서 소비비중이 높고, 신선 채소의 샐러드 사용 및 전처리 나물 등에 관하여 우려가 높은 상황이지만 미생물학적 측면에서 축산물과 수산물과 같은 원재료 분석에 비교하면 농산물 원재료 분석이 상대적으로 취약한 상황이다[7].

연구자들이 실시한 1차 연구의 결과를 종합적으로 분석하기 위하여 체계적 연구결과 기법을 활용한다. 과거에 리뷰를 통한 전통적인 연구결과분석이 주로 활용되어왔으나, 연구자의 주관성이 반영되는 등 투명성이 확보되지 않는 문제 및 1차 연구의 수가 많아질수록 분석이 어려워지는 문제를 극복하기 위하여 체계적 연구결과 분석(systemic reviews, systemic analysis)기법을 활용하고 있다. 이를 통하여 질문에 대하여 체계적이고 넓은 범위의 많은 자료를 찾아서 분석하도록 하며, 연구 과정을 투명하게 제시할 수 있고 오류를 최소화하여 질문에 대한 종합적인 답을 얻을 수 있다[8]. 본 연구에서는 systemic analysis 기법을 활용하여 국내에서 생산된 농산물과 미생물 정량 데이터를 수집하였고, 국내 농산물 품목 구분체계를 도입하여 문제가 되는 품목을 1차로 먼저 선정하였다. 이후 농산물 분류내에서 미생물 오염도가 높은 세부 농산물 항목별로 2차 분석을 실시하였다. 농산물 관리를 위하여 국내외 연구보고서 및 학술자료를 참고하여 데이터에 기반하여 국내 농산물의 관리 방향을 도출하고자 한다.

Materials and Methods

식품 분류 체계 조사

농산물 분류 체계 조사를 위하여 식품의약품안전처의 식품공전(Food Code), 농식품부의 농축수산물 표준코드, 농수산물 유통공사의 AG 코드, 미국의 CDC, FDA, USDA의 FSIS 세기관의 협력프로그램인 IFSAC (Interagency Food Safety Analytics Collaboration)에 의한 분류체계를 문헌 및 인터넷으로 조사하였다[9-12]. 농산물, 축산물, 수산물, 임산물을 중심으로 품목별 구분을 실시하였다(Fig 1). 축산물과 수산물은 배제하고 농산물과 임산물 분류체계를 기술하고, 품목이 용도에 따라 여러 곳으로 중복 분류되지 않고 미생물학적 안전관리에 적합한 방식을 조사하였다.

농산물 분류기반 1차 systemic analysis를 위한 자료 수집 및 분석

NDSL (National Digital Science Library) 검색엔진을 이용하여 2000년부터 2015년도까지 게재된 국내 생산된 논문을 대상으로 농산물과 미생물에 관한 키워드를 활용하여 검색을 실시하였다[13] 검색을 위한 키워드 선정은 식품미생물과 농산물 분야의 전문가 5인이 ‘microbial contamination’, ‘microbial hazard’, ‘microbial quality’, ‘microbiological safety’, ‘foodborne pathogen’, ‘prevalence’, ‘contamination’, ‘agricultural products’, ‘organic product’, ‘vegetable(s)’, ‘produce’, ‘fresh-cut’, ‘foodservice’, ‘salad’, ‘GAP (good agricultural practice)’를 선정하였다.

이들 논문중에서 총균수, 대장균군, 대장균, 병원성 미생물과 개별 농산물에 관한 오염도에 관한 자료가 있는 논문을 수집하였다. 미생물과 식품 분야 전문가 3인의 리뷰를 실시하고 이들 논문과 IFSAC의 category내 농산물 품목과 연계하여 농산물-미생물의 자료를 추출하였고, 총균수 수준과 대장균 양성 샘플 건수를 분석하였다(Fig. 2).

2차 systematic analysis를 위한 농산물 품목별 자료 수집 및 분석

1차 분석을 통하여 농산물 분류별 주요 품목을 도출하였다. 미생물 수준이 높으며 대장균 양성으로 나타난 데이터 샘플을 추출하였으며 이들 농산물 중에서 익히지 않고 단체급식에 제공되는 식재료군을 선정하였다.

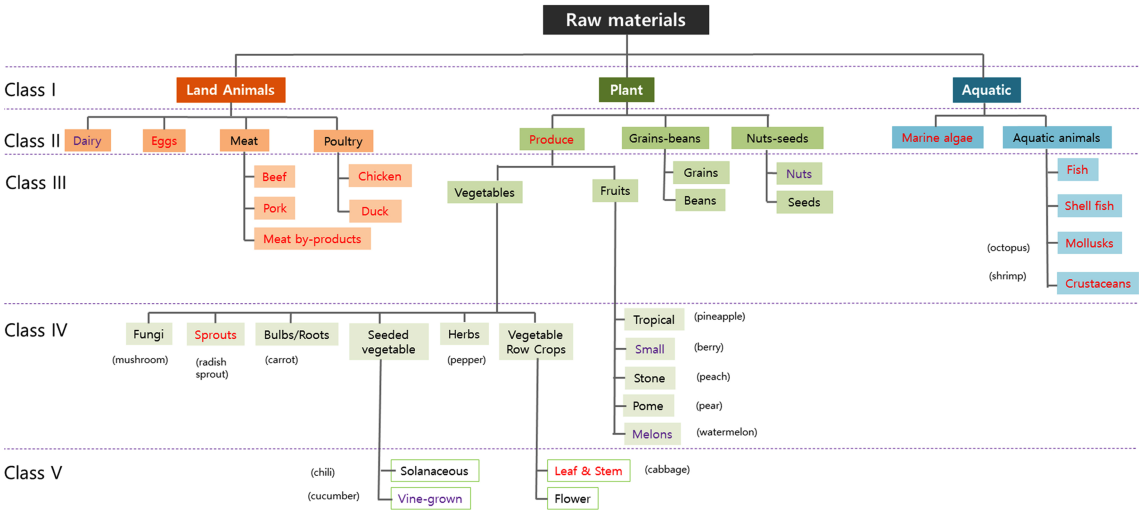

Fig. 1. Modified US IFSAC (FDA-FSIS-CDC) category. The example was written in the bracket.

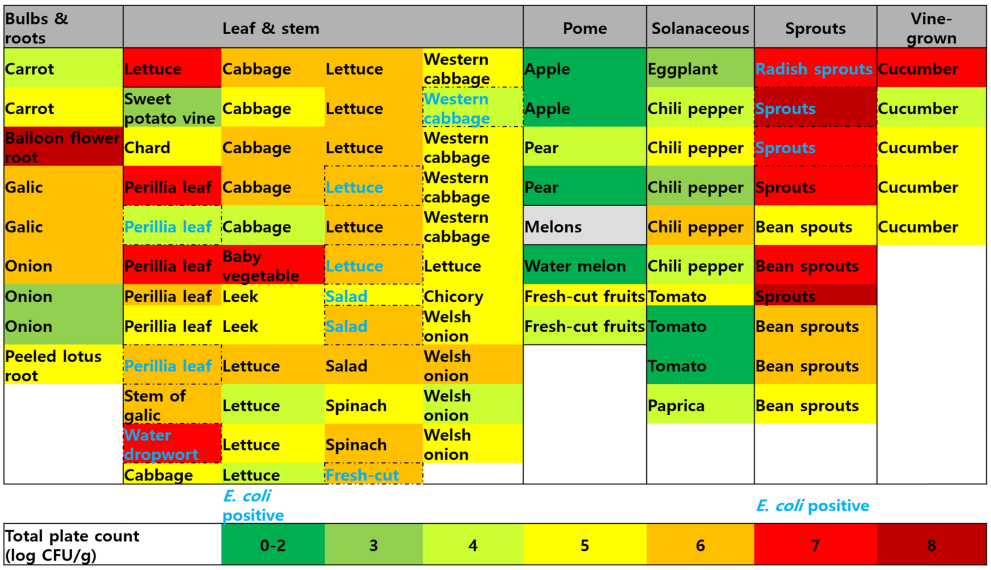

Fig. 2. Systematic analysis of the microbial levels of fresh produce in Korea. Red color shows the high level and green color shows the low level in the total plate count number. *E. coli* positive sample was written in blue.

식품미생물과 단체급식 분야의 보고서 및 학술논문 리뷰를 통하여 농산물 세분류내에서 주요 다소비 품목으로, 미생물수 수준이 높고, 비가열 조리 섭취비율이 높으며, 식중독 발생과 관련있는 절임류에 활용되는 농산물 원료를 선정하였다. 농산물의 명칭과 미생물을 조합하여 NDSL 검색엔진을 활용하여 주요 농산물의 미생물 오염 관련 문헌을 수집하였다. 국내 식품 및 환경에서의 총균수, 대장균균, 대장균, 식중독균의 오염분포, 오염 수준을 수집하고 분석하였다. 절임류의 경우 대표 식품을 선정하여 공정에 따른 생산단계별 미생물 수준 변화를 조사하였다.

농산물의 미생물학적 환경인자 및 비가열 조리 활용 농산물 관리 방법 조사

주요 관리가 필요한 농산물의 미생물의 유입경로를 파악하기 위하여 농산물우수관리제도(good agricultural practice, GAP) 관련 2000년부터 2015년까지 학술논문과 학위논문을 NDSL 검색엔진에서 검색하였다. 본 연구에서 선정된 농산물 품목 생산과 관련된 환경인자별 미생물 오염수준을 수집하여 환경인자와 미생물 종류 및 수준에 관한 데이터를 조사하였다. 농산물의 미생물학적 관리를 방법 도출을 위하여 농산물 분야, 단체급식 분야, 식품미생물 분야, 공공 및 민간의 급식위생 관리 분야 전문가 8인의 농산물 관리방법에 관한 의견을 참고하였다. 그리고 미국을

중심으로 농산물의 미생물학적 관리 방법을 인터넷과 문헌을 활용하여 자료조사 하였다.

Results and Discussion

미생물학적 관리와 농산물 분류

국내 식품공전[9]의 식품원재료 중 식물성 원료는 곡류, 서류, 콩류, 견과 종실류, 과일류, 채소류, 버섯류, 향신료, 차, 호프, 조류, 기타식물류로 구분하고 있다. 이들을 더 세분화한 경우 견과 종실류는 땅콩 또는 견과류, 유지 종실류, 음료 및 감미 종실류로 구분하고, 과일류는 인과류, 감귤류, 핵과류, 장과류, 열대과일류로 구분한다. 채소류는 결구 엽채류, 엽채류, 엽경채류, 근채류, 박과 과채류, 박과 이외 과채류로 구분한다.

농식품부의 농축수산물 표준코드는[10] 농산물을 미곡류, 맥류, 두류, 잡곡류, 서류, 과실류, 과채류, 엽경채류, 근채류, 조미채소류, 양채류, 산채류, 버섯류 등으로 구분하고 있다. 농수산물 유통공사의 AG 코드의 경우[11] 농산물은 곡실류, 산식물, 농림부산물, 식물성재료, 기호식품, 조제농산식품, 천연식물성원료로 구분하고, 임산물은 목채류, 수목・종자류, 편조물류, 석재류, 기타임산물로 구분한다. 최근 미국에서 식중독 원인 규명을 위하여 3개 기관(CDC, FDA, USDA (FSIS))이 합동 역학조사 원인분석 프로그램인 IFSAC (Interagency Food Safety Analytics Collaboration)[12]에서 식품을 분류하기 위하여 대분류로 육상동물(land animal), 수상동물(aquatic animal), 식물(plant), 기타(other)로 분류를 시작한다. IFSAC의 식품 분류작업은 식품안전을 위하여 정보 제공 및 관리활동의 결정을 돕기 위한 목적으로 진행되었으며, 식품에서 식중독 원인조사 시 원인추정을 할 때 식품항목을 정확하게 기술하기 위한 목적으로 과학적 분류체계를 만들었다. 이들 식품 분류체계에는 FDA와 FSIS의 관리상의 식품 분류를 반영하고, 식물학적 항목을 명확히 구분하고, 제품별 생산관리를 준수하고 수확 후의 취급시스템을 식품분류체계에 반영할 수 있게 되었다[12]. 본 연구에서는 농산물의 미생물학적 관리를 위하여 사용용도를 가급적 배재하고 원재료의 발생학적 연관성을 고려하여 IFSAC의 분류방식을 채택하였으며 대분류, 중분류, 소분류, 세분류, 세세분류 단계로 5단계로 나누고 각각 Class I, II, III IV, V로 표기하였다(Fig. 1).

농산물 분류별 1차 체계적 문헌분석(Systematic analysis) 및 분류에 따른 미생물 수준

2000년부터 2015년까지 게재된 논문 중 키워드에 따른 NDSL 검색결과 'microbial contamination' 332건, 'microbial hazard' 111건, 'microbial quality' 436건, 'microbiological safety' 284건, 'foodborne pathogen' 192건, 'prevalence' 5,492건, 'contamination' 3,524건, 'agricultural products' 1,342건, 'organic product' 809건, 'vegetable(s)' 3,124건, 'produce' 15,486건, 'fresh-cut' 308건, 'foodservice' 1,890건, 'salad' 171건, 'GAP (good agricultural practice)' 79건이 검색되었다. 3인 이상의 미생물과 농산물 분야 전문가 리뷰를 실시하여 중복된 논문을 배제하고 총균수, 대장균군, 대장균, 병원성 미생물에 대하여 개별 농산물에 관한 오염도에 관한 자료가 있는 논문을 수집하고 리뷰한 결과 총 22편의 논문이 선정되었다. 이들 논문과 IFSAC의 category에 있는 품목 중에서 농산물-미생물의 자료가 기재된 총 89건의 데이터를 엑셀 spreadsheet에 총균수 수준과 대장균 양성 샘플을 추출하고 기재하였다(Fig. 2). 미생물 오염도를 log scale로 전환하고 log값 범위 중 소수점 아래부분을 배제하고 수준에 따라 색깔로 표시하였다. 가장 높은 총균수 수준을 보이는 농산물 분류 중 새싹・발아채소류(Class II produce- Class III vegetable- Class IV sprouts)와 엽경채류(Class II produce-Class III vegetable-Class IV vegetable row crops- Class V leaf and stem)에 해당되는 항목이 가장 미생물 수준이 높았다. 반면에 가장 낮은 미생물 수준을 보여준 품목은 주로 과채류에 해당하는 pome 품목으로 껍질이 있거나, 토양과 먼 위치에서 해당 작물이 생산되거나, 표면적이 넓지 않은 품목인 경우 미생물 수준이 낮았다. 총균수 수준이 높은 새싹채소류(sprouts)와 엽경채류의 경우는 대장균 양성으로 나타난 샘플수도 타 품목에 비교하여 많았다. 새싹채소류와 발아한 식물류는 잠재적 위험식품(Potential hazardous foods)으로 분류하여 단체급식에서 메뉴 단계부터 관리를 하고 있으며, 콩나물과 숙주나물은 가열조리법을 적용하기에 미생물 수준이 가열에 의하여 제어가 되므로 본 연구에서는 엽경채류를 주요 관리 농산물 품목으로 선정하였다.

급식 다소비 엽경채류의 미생물 오염 수준 및 분포

엽경채류내에서 세부 품목별 미생물 종류에 따른 오염도와 오염수준을 파악하였다. 1차 분석된 비가열 조리 섭취비율이 높으며 다소비되는 엽경채류에 해당하거나 역학조사 통계상[7] 식중독과 연관이 높은 절임류 채소류의 주재료로 활용되는 품목의 미생물 정량 데이터를 수집하였다. NDSL 검색엔진을 이용하여 국내 2000-2015년도에 출판된 학술논문과 학위논문 중에서 '채소 미생물', '상추 미생물', '부추 미생물', '배추 미생물', '김치 미생물', '채소 오염도', '김치 공정별 미생물'의 키워드 검색을 실시하여 상추, 부추, 배추, 김치의 미생물 오염과 관련한 1,119편의 논문을 도출하였다. 중복된 논문을 배제하고, 미생물 오염도 자료가 기술되어 있는 33편의 논문을 최종 선정하여 총균수, 대장균군, 대장균, 병원성 미생물에 관하여 정성 혹은 정량 오염도 자료를 분석하였다.

상추의 미생물 오염도 관련 논문에서 도출된 42건의 데이터에 따르면, 일반세균의 경우 4.15~7.69 log CFU/g의 오

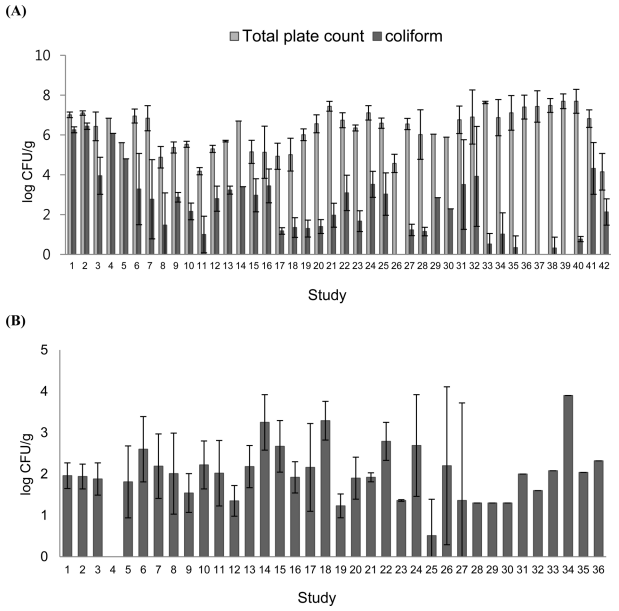

Fig. 3. Systematic analysis results of the microbial (total plate counts and coliforms) levels (A) and the levels of *B. cereus* (B) in the domestic lettuce.

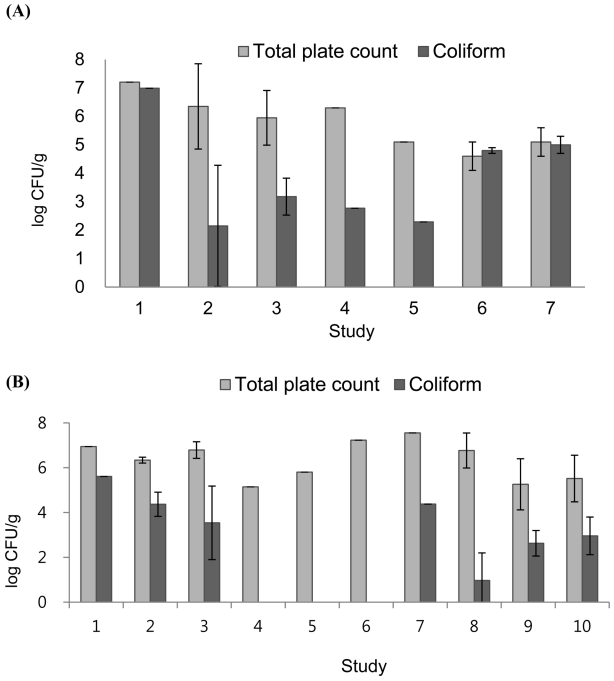

Fig. 4. Systematic analysis of the microbial (total plate counts and coliforms) levels of leek (A) and cabbage (B).

염수준을 보였고 대장균군은 38개의 결과에서 1~6.44 log CFU/g의 오염수준을 나타냈다(Fig. 3A). 상추의 정성실험 결과 병원성 미생물인 *S. aureus, B. cereus, Clostridium perfringens* 등이 검출되었다. 상추의 *B. cereus* 오염도를 조사한 36개의 결과 중 35개가 0.51~3.9 log CFU/g의 오염수준으로 나타났다(Fig. 3B). 오염경로는 강우 시 토양 및 퇴비에 존재하고 있는 *B. cereus*가 빗방울 등을 통해 상추로 전파되어 오염되는 것으로 보고되고 있다[14]. 본 연구 중 대부분의 결과에서 *B. cereus*가 2 log CFU/g 수준으로 나타나지만 그 이상을 초과하는 경우도 있기 때문에(Fig. 3B) 수확 후 또는 섭취 전 충분한 세척, 소독 등 관리가 필요하다.

부추의 경우, 미생물 오염도 관련 7개 연구에서 일반세균은 5.1~7.2 log CFU/g의 오염수준을 보였고, 대장균군의 경우 2.15~6.99 log CFU/g의 오염수준을 보였다(Fig. 4A). 부추의 정성실험결과, 병원성미생물인 *B. cereus, Cl. perfringens* 등이 검출되었다. 부추의 미생물오염도 수준은 상추와 큰 차이가 없었지만, 일반적으로 상추에 비해서 세척이 까다롭기 때문에 세척방법에 유의해야 하고, 가열하지 않고 섭취하는 경우 주의가 필요한 유형으로 사료된다.

배추의 미생물 수준분석과 급식에서 소비는 주로 김치에 의한 소비가 많기 때문에 배추, 절인 배추와 배추김치로 가공단계에 따라 나타나는 미생물수준을 비교하였다. 배추의 미생물 오염도는 상추와 큰 차이가 없었다. 일반세균은 5.15~7.16 log CFU/g의 오염수준을 보였고, 대장균군의 경우 N.D~5.18 log CFU/g의 오염수준으로 나타났다(Fig. 4B). 국내 식중독균의 식품 및 환경에서의 오염분포, 공정 단계별 미생물 변화에서, 배추를 절이는 과정에서의 미생물 오염도는 생배추(raw cabbage)의 경우 5.02 log CFU/g 수준으로 나타났고 애벌세척 공정(Pre-washing)에서 7.05 log CFU/g 로 일반세균이 증가하는 경향을 보였으며, 염수에 절이는 과정(Salting)에서 일반세균이 약 1 log CFU/g 정도 감소하는 경향을 보이는 등 김치의 생산과정에서 미생물 수준의 변화에 대한 연구결과[15] 가 보고된 바 있다. 세부 공정별로 미생물 수준의 변화는 단계별로 정선부터 절임, 세척, 탈수, 양념제조, 속넣기, 약숙성, 최종제품까지의 결과를 살펴보면, 원재료 자체의 일반세균이 6.79 log CFU/g 로 나타났으나 절임(6.34 log CFU/g), 세척(5.83 log CFU/g)과정을 거치면서 감소하였고 대장균군도 비슷한 증가 및 감소경향을 보였다[16]. 김치의 경우 미생물의 저감공정이 없는 부분이 관리의 어려운 점으로 지목되고 있다. 다량으로 김치를 생산하는 김치공장의 경우, 교차오염 방지를 위한 작업장 설계, 미생물학적 오염을 줄이기 위한 자동화 설비 활용, 원료의 미생물학적 오염도 모니터링 강화 및 세척 수 환수기준이나 소독액의 농도 조정 등의 공정관리, 원・부재료의 보관 및 전처리 방법의 관리, 토양과의 접촉 원재료의 껍질 및 표피 굴곡 제거[17]와 같은 방법을 통하여 오염원 차단에 노력하고 있다.

생산 및 수확단계에서 농산물안전에 영향을 미치는 주요 영향인자

GAP 기반 데이터 및 전문가의 의견을 기반으로 생산 및 수확단계에서 미생물학적 수준에 영향을 미치는 인자

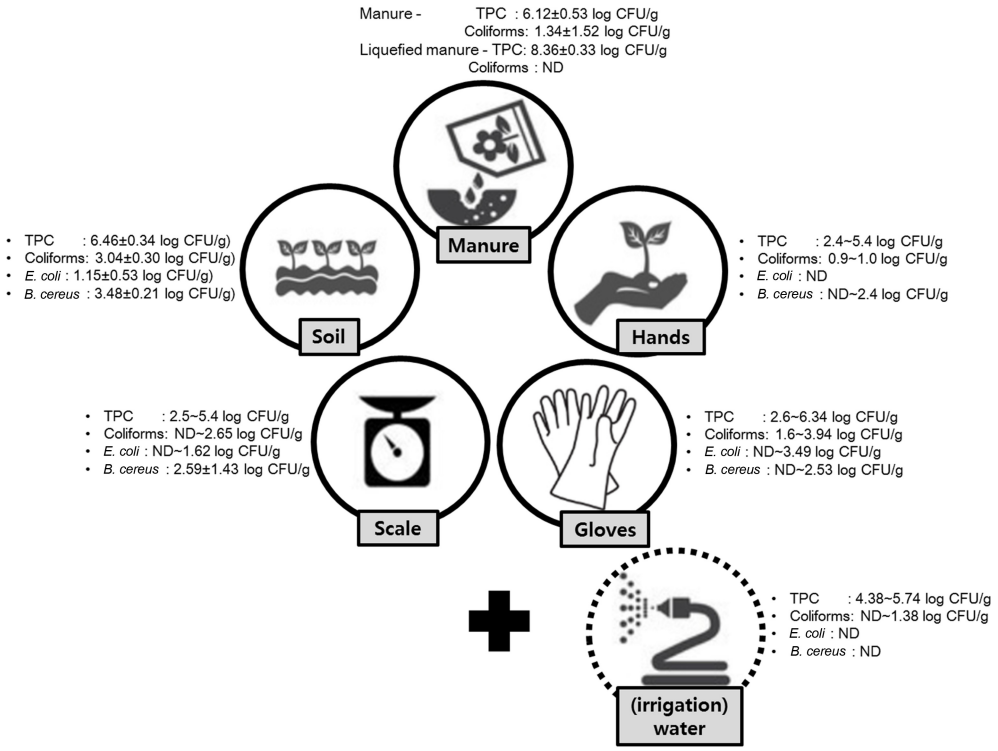

Fig. 5. The environmental factors affecting the microbial safety of lettuce and leek before the harvest[18,19].

를 조사하였다. 상추, 부추의 생산부터 수확단계까지의 미생물 오염 관련하여 주요 영향인자로 환경적인 측면에서는 토양, 비료, 용수로 나타났다. 작업도구로는 저울과 장갑, 작업자의 개인위생 측면에서는 손이 지목되고 있다(Fig. 5). 비료 중 액상비료의 일반 세균은 퇴비의 일반 세균 수준보다 높고, 토양의 일반세균은 퇴비의 수준과 비슷하게 나타났다. 손과 장갑, 저울의 일반세균 수준은 대략 비슷하게 나타났으며, 대장균군의 경우 장갑에서 가장 높게 나타났다. 식중독의 원인이 될 수 있는 *E. coli*와 *B. cereus*는 토양, 손, 저울, 장갑에서 나타났고, 특히 토양에서 *E. coli*는 최대 1.68 log CFU/g 로 손과 저울보다 높은 수준으로 나타났으며 *B. cereus*는 3.48 log CFU/g 수준이었다. *E. coli*와 *B. cereus*에 오염된 토양이 상추에 미치는 영향에 대한 연구결과에 따르면 토양에 *E. coli*를 인위적으로 오염시킨 후, 상추를 파종했을 때 *E. coli*는 오염된 토양을 통해 상추의 표면 뿐 아니라 가식 부까지 이동하는 것으로 나타났다[18]. 따라서 토양의 미생물 오염이 생산작물의 오염으로 연결될 수 있으므로 병원성 미생물에 대한 관리가 요구된다. *E. coli*와 *B. cereus* 수준은 저울과 토양에서 큰 차이가 없었는데, 이는 상추와 부추의 선별작업 또는 수매작업 시, 흙이 묻은 상태로 저울을 사용하면서 오염되는 것으로 나타났다[19]. 따라서 저울을 통해 병원성 미생물이 작물에 오염될 수 있기 때문에 세척 및 소독을 통한 위생적인 관리가 필요하다. 다만 전문가 의견중에 국내에서 대규모 단지화가 어려운 소규모 농가가 많기 때문에 수매단계를 통하여 공동선별을 통하여 농가별 생산품이 섞이기 때문에 생산단계에서 관리를 하여도 생산단계의 관리가 실효를 거두기가 어려운 여건임은 극복해야 할 부분으로 제시되었다. 손과 장갑에서 *B. cereus*는 각각 2.4 log CFU/g, 2.53 log CFU/g으로 비슷하게 나타났지만, 장갑에 오염된 *E. coli*는 최대 3.49 log CFU/g으로 다른 영향인자보다 높은 수준으로 나타났다. 상추에서 작업자의 장갑은 입고 후 포장까지 약 5-6회 접촉하는 것으로 보고되기도 하였다[19]. 상추, 배추, 부추 등과 같은 엽경채류는 생산 및 수확 단계에서 토양, 비료, 손, 저울, 장갑 등의 영향인자들을 통해 미생물학적 오염에 노출될 수 있으며 작물과 접하는 환경인자의 관리가 필요하다[19].

또한 용수의 일반세균 수준은 4.38~5.74 log CFU/g 로 비료와 토양에 비해 낮은 편이고, 병원성미생물이 검출되지 않았지만 안전한 농산물을 생산하기 위해서 용수의 관리는 중요하다. *E. coli*와 *B. cereus*에 오염된 관개 용수가 상추에 미치는 영향에 대한 연구결과에 따르면 관수법에 따라 *E. coli*와 *B. cereus*의 오염수준이 차이가 나타났다[18]. 용수에 *E. coli*를 8 log CFU/mL 수준으로 인위적으로 오염시킨 후 토양표면에 관수하는 '지표면관수법'과 채소 위에서 관수하는 '살수관수법으로 처리한 결과 각각 2 log CFU/mL, 7 log CFU/mL의 오염수준으로 지표면관수법이 상대적으로 낮게 나타났다. 또한 처리 후 7일째 관수법에

따른 *E. coli*의 오염수준을 분석한 결과 지표면관수법의 경우 검출되지 않았으나 살수관수법의 경우 3.8 log CFU/mL수준의 오염도를 보였으며 30일까지 검출되었다[18]. '살수관수법'보다 '지표면관수법' 또는 수분배출구를 통해 용수가 소량씩 스며드는 관수법인 '점적관수법'을 활용하면 물을 효율적으로 활용할 수 있고 미생물학적 오염을 상대적으로 줄일 수 있지만 설치비가 비싼 것이 단점이다[19]. 미국 FDA는 농산물의 안전한 재배 및 수확을 위하여 생산 및 수확단계에서 농산물안전에 영향을 미치는 환경 인자에 대한 실행규범을 마련하였는데, 용수의 경우 안전하고 적절한 위생적인 수질을 사용하게 하며 공급용수의 미생물 기준 및 단계적인 수질 검사 등을 권고하고 있다[21]. 국내에서 농산물 생산부터 유통까지 각 단계에서 발생할 수 있는 위해 요소를 관리하는 GAP 제도를 실시하고 있다. 상추 GAP 재배의 경우, 용수・비료 등 안전성에 영향을 주는 요소들을 지속적으로 기록하게 하며 용수를 스프링쿨러나 분수호스를 통한 관수 시 작물체에 흙탕물 등이 묻을 수 있어 멀칭비닐을 권장하기도 한다[20]. 그동안 농산물을 농약 및 중금속과 같은 화학적 관리에 관심이 많았으나 미생물학적 관리를 함께 할 수 있는 GAP제도 활성화는 중요하다.

가축의 밀집사육 증가 및 AI 혹은 구제역과 같은 질병 발생시 토사를 통한 침출수 유출 방지 및 홍수와 같은 재난에 포유동물의 장에 상재하는 미생물이 농산물로의 오염이 진행되지 않도록 관리가 필요하며, 국가적으로 식품원재료의 미생물학적 분석 계획과 실행이 잘 이루어져야 한다. 간접 지표로 활용할 수 있는 지역적 특성 자료를 확보하고, 기후데이터와 연계하여 미생물학적 분석 계획을 수립하여 관리할 필요가 있다.

Acknowledgement

본 연구는 한국식품연구원의 지원에 의해 수행된 연구개발사업으로 이에 감사 드립니다.

국문요약

본 연구는 농산물의 미생물학적 수준에 관하여 체계적인 연구분석(systemic analysis) 기법을 이용하여 비가열 농산물의 위생안전관리를 목적으로 연구를 수행하였다. 2001년부터 2015년까지 인쇄된 관련 연구논문을 NDSL 검색엔진을 활용하여 자료를 수집, 리뷰, 자료 정리, 분석 및 결과 정리하였다. 농산물 분류체계를 비교 조사하여 미국의 IFSAC (Interagency Food Safety Analytics Collaboration)의 식품분류체계에 따라 국내 농산물을 분류하였다. 선정된 22건의 논문 내 89건의 데이터를 종합한 결과, 분류체계 내에서 국내 농산물에서 총균수 수준이 높고 대장균 오염이 가장 많은 농산물은 엽경채류와 새싹・발아채소(sprouts)로 나타났다. 단체급식에서 생채소로 소비되는 엽경채류에서 단체급식의 다소비 농산물로서 식중독과 연관성이 높은 품목인 상추, 부추, 배추에 관하여 미생물에 관한 자료 검색, 수집, 선정 및 분석 결과 최종 33편의 논문에서 미생물의 정량적 수준은 총균수 4.15~ 7.69 log CFU/g, 대장균군 1~6.99 log CFU/g, *B. cereus* 0.51~3.9 log CFU/g으로 나타났다. GAP 데이터 기반 농산물의 미생물학적 영향을 미치는 환경인자 문헌조사 결과 퇴비, 토양, 작업자 손, 장갑이 주요 영향인자로 나타났다. 농산물의 미생물학적 관리를 위하여 전문가 의견과 문헌조사를 통하여 GAP도입, 취약 품목의 미생물학적 분석계획, 토양으로부터 작물의 오염을 최소화 할 수 있는 작물생산방식 도입 및 실행규범 준수가 필요하다.

References

1. Min J.H., Lee J.K., Kim H.J., Yoon K.S.: Analysis Study on the use of Frequency and the Cooking Method of Leaf and Stem Vegetables in High School Foodservice. *J. Food Hyg. Saf.*, **31**, 250-257 (2016).
2. Jung S.H., Hur M.J., Ju J.H., Kim K.A., Oh S.S., Go J.H., Kim Y.H., ImJ.S.: Microbiological Evaluation of Raw Vegetables. *J. Food Hyg. Saf.*, **21**, 250-257 (2006).
3. Korea Centers for Disease Control & Prevention (KCDC). Available from: http://cdc.go.kr/CDC/info/CdcKrInfo0519.jsp?menuIds=HOME001-MNU1132-MNU0072-MNU0073, Accessed Dec. 01, (2016).
4. Cho S.K., Park J.H.:Cho S. K., Park J. H.: Microbial Contamination Analysis for Drinking Water, Foodstuff, and Cooked Food for Foodservice Operation. *Korean. J. Food Sci. Technnol.,* **44**, 478-483 (2012).
5. Epidemiological Investigation of Infectious Diseases in Korea Annual Report 2014. Available from: http://cdc.go.kr/CDC/info/CdcKrInfo0519.jsp?menuIds=HOME001-MNU-1132-MNU0072-MNU0073, Accessed Dec. 01, (2016).
6. Lee J.K., Kwak N.S., Kim H.J.: Systemic Analysis of Foodborne Disease Outbreak in Korea. *Foodborne Pathogens and Disease*, **13**, 101-107 (2016).
7. Min J.H., Park M.K., Kim H.J., Lee J.K.: Systemic Analysis on Hygiene of Food Catering in Korea (2005-2014). *J. Food Hyg. Saf.*, **30**, 13-27 (2015).
8. Littell J., Cororan J., Pillai V. Systematic Reviews and Meta-Analysis. New York: Oxford University Press (2008).
9. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Food Code Raw food material category (2015). Available from: http://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=4, Accessed Dec. 01, (2016).
10. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). Standard Code of Agriculture and Food (2016) http://code.okdab.com, Accessed Dec. 12, (2016).
11. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA).

Standard code for agricultural products. Available from: https://www.atfis.or.kr/contents/M004020500/view.do, Accessed Dec. 01, (2016).
12. Interagency Food Safety Analytics Collaboration (IFSAC) (2015). Foodborne illness source attribution estimates for *Salmonella*, *Escherichia coli* O157, *Listeria monocytogenes*, and *Campylobacter* using outbreak surveillance data. Available from: http://www.cdc.gov/foodsafety/pdfs/ifsac-project-report-508c.pdf, Accessed Dec. 01, (2016).
13. National Digital Science Library (NDSL). Available from: http://www.ndsl.kr/index.do, Accessed Dec. 01, (2016).
14. Namgung M., Kim B.S., Heo S.J., Choi Y.B., Hur J.H., Park D.H.: Assessment of Pre-Harvest Environmental Factors in Domestic Production of Organic Lettuce. *Korean J. Society Pestic. Sci.*, **18**, 88-94 (2014).
15. Jung J.Y.: Analysis of Microbial Diversity in Salted Cabbage and Recycled Brine Solution. Master of Science Thesis Chung-Buk National University (2010).
16. Seol H.R.: Microbial Hazards Analysis of Raw Materials and Manufacturing Processes for Chinese Cabbage Kimchi. Master of Science Thesis Chung-Ang University (2010).
17. Lee S.M.: Safety assurance method of Kimchi. The Korea Society of Food Service Sanitation, Yonsei University Nov. **25**, 2016 (2016).
18. Kim S.R., Lee S.H., Kim W.I., Kim B.S., Kim J.H., Chung D.H., Yun J.C., Ryu K.Y.: Effect of Medium, Soil, and Irrigation Water Contaminated with Escherichia coli and Bacillus cereus on the Microbiological Safety of Lettuce. *Korean J. Hortic. Sci.,* **30**, 442-448 (2012).
19. Kim S.R., Lee J.Y., Lee S.H., Kim W.I., Park K.H., Yun H.J., Kim B.S., Chung D.H., Yun J.C., Ryu K.Y.: Evaluation of Microbiological Safety of Lettuce and Cultivation Area. *J. Food Hyg. Saf.*, **26**, 289-295 (2011).
20. Good Agricultural Practices of Lettuce (2016). Available from: http://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psb/psbk/kidofcomdtyPrdlstCode.ps?menuId=PS00067&sStdPrdlstCode=VC021005&sStdTchnlgyCode=GC05&kidofcomdtyNo=16229 &totalSearchYn=Y, Accessed Nov. 30, (2016).
21. Food and Drug Administration (FDA)Final Rule on Produce Safety. Available from: http://www.fda.gov/downloads/internationalprograms/partnerships/ucm507920.pdf, Accessed Nov. 30, (2016).