미생물학적 안전관리 R&D를 통한 GAP 농산물 공급확대

Enlargement of good agricultural practices(GAP) produce supply through R&D on microbiological safety management.

류재기*, 김황용, 김세리, 이데레사, 정규석, 김원일
Jae-Gee Ryu *, Hwang-Yong Kim, Se-Ri Kim, Theresa Lee, Ku Suk Jung, Won-Il Kim

농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부 유해생물팀
Microbial Safety Team, Department of Agro-Food Safety, NAAS, RDA

서 론

식품안전에 대한 사회적 관심이 증가하면서, 농산물을 구입할 때 농산물 안전성을 중요하게 여기는 소비자가 지속적으로 늘고 있다. 우리나라는 소비자에게 안전한 농산물을 안정적으로 공급하고 농업환경 보호를 통한 지속가능한 농업을 구현하기 위하여 2006년부터 농산물우수관리(GAP) 제도를 시행하고 있다. GAP란 농산물의 안전성을 확보하기 위하여 농산물의 생산단계부터 수확 후 선별, 세척, 건조, 저장, 조제, 포장 등을 포함하는 수확후 관리단계까지 토양, 수질 등의 농업환경과 농산물에 잔류할 수 있는 농약, 중금속 또는 유해생물 등의 위해요소를 관리하는 것을 말한다. 식품안전관리 측면에서 볼 때, 우리나라 GAP 제도의 궁극적인 목적은 식품원료인 농산물의 생산 및 수확후 관리단계에서 발생할 수 있는 생물학적 · 화학적 · 물리적 위해요소를 적절하게 관리하는 것이다. 위해요소 중에서 최근 들어 가장 주목받는 것이 식중독미생물에 의한 농산물 안전성 문제이다. 2011년의 경우, 유럽에서는 장출혈성 대장균에 오염된 새싹채소로 인하여, 미국에서는 리스테리아균에 오염된 멜론으로 인하여 각각 30여명이 사망하는 대형 식중독 사고가 발생하였다. 국내에서도 2006년에 학교집단 식중독 발생으로 전국 98개교에서 급식을 중단한 사건이 일어나기도 했다. 국내외에 잇따르는 식중독미생물에 의한 식품안전사고로 인해 여러 소비자들이 식품안전에 대한 막연한 불안감을 지니고 있는 것이 사실이다. 정부는 현재 4% 수준으로 추산되는 GAP 농산물의 공급비율을 2015년까지 10% 수준으로 끌어올릴 계획이다. 이를 위해서는 안전하게 생산된 GAP 농산물의 공급 확대가 우선되어야 한다. 농촌진흥청에서는 농업인이 쉽게 실천할 수 있는 GAP 실천기술 개발 및 보급을 강화하고 있다. 본 고찰에서는 GAP 세계동향, R&D를 통한 GAP 활성화를 위한 농업R&D의 역할, 농산물 생산 및 수확후 관리단계에서 과학적이고 합리적인 생물적 위해요소 안전관리기술 개발 사례를 통해 식품원료인 농산물의 GAP 농산물 확대방안을 살펴보고자 한다.

* Correspondence to: Jae-Gee Ryu
National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, 249, Seodun, Gwonseon-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 441-707, Korea
Tel: 82-31-290-0441 Fax: 82-31-290-0407 E.mail: jgryu@korea.kr

본 론

농업 R&D의 역할

GAP제도가 성공하려면 농업 R&D가 제 역할을 다해야 한다. 과학적 근거를 바탕으로 농산물 안전관리에 필요한 최소한의 GAP기준을 설정해야 하며, 그런 GAP기준에 따라 농사를 지을 수 있도록 실천 매뉴얼을 제공해야 하기 때문이다.

일반적으로 농산물 안전성 분야의 농업과학자는 연구 활동을 통해 영농단계 별 식품안전 위해요소를 파악하고, 해당 위해요소의 정보를 수집하여 프로파일을 작성한다. 또한 농산물이 위해요소에 노출되지 않도록 예방하거나, 위해요소를 줄이는 방법을 개발하고 다양한 위해요소 관리방법을 평가하여 최적 방안을 제시하는 것이 농업 R&D의 역할이다.

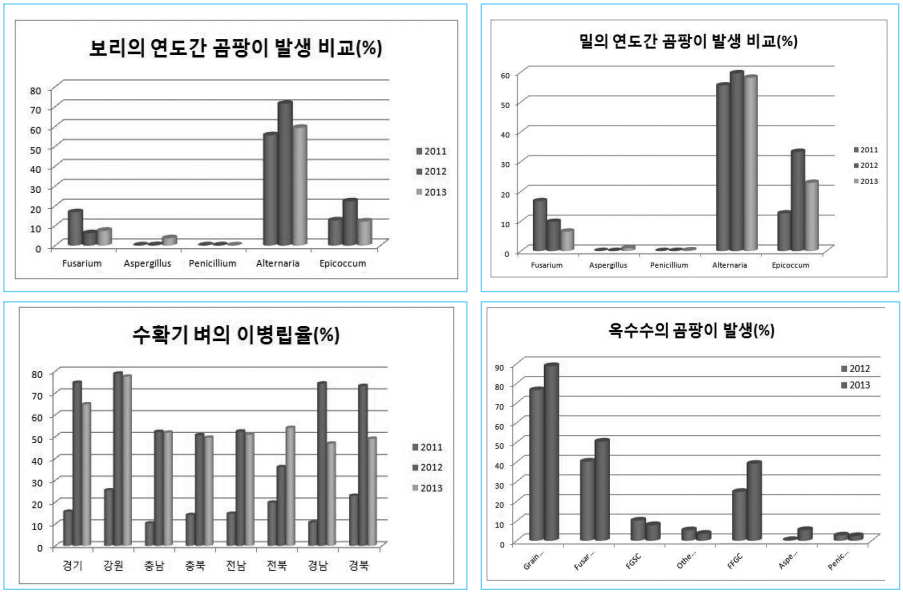
식품안전 위해요소 파악

농산물 중 위해요소란 소비자에게 질병을 일으키거나 건강상의 해를 일으킬 수 있는 조건이나 오염물질을 말한다. 위해요소란 고정불변의 것이 아니며, 사회의 변화에 따라 항상 새로운 위해요소가 등장하기 마련이다. 따라서 위해요소를 인지하여 정확하게 파악하는 것은 식품의 안전관리의 첫 걸음이 된다. 농산물 생산과정에 영향을 주는 위해요소는 작물별로 재배양식별로 다르게 관여할 수 있다. 따라서 토양과 물과 같은 재배환경과 재배단계의 영농작업, 수확단계, 수확 후 관리단계에서 화학적, 생물적, 물리적 위해요소를 조사하는 것이 필수적이다. 위해요소를 파악한 다음에는 각 위해요소에 대한 정보를 수집하여 프로파일을 작성해야 한다. 충분한 프로파일이 작성되어야 식품안전 관리기술 개발계획을 합리적으로 수립할 수 있다.

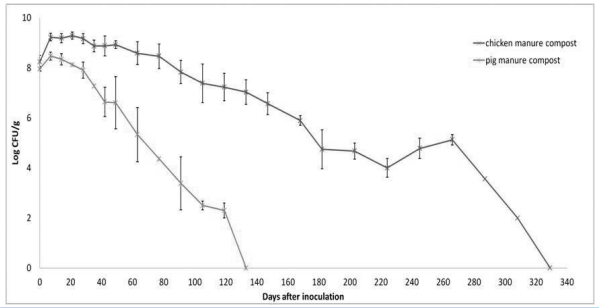
농산물중 곡류에 발생하는 독소생성 곰팡이의 발생실태를 조사한 결과, 최근 3년간 보리 등 맥류와 벼에 우점하는 *Fusarium* 곰팡이의 발생빈도가 감소추세 이었으나 *Aspergillus*와 *Penicillium* 곰팡이의 발생은 2011년 이후 처음 조사되었다. 옥수수의 경우 푸모니신을 생성하는 *Fusarium*과 *Aspergillus* 곰팡이의 발생은 전년대비 증가하였다(Lee 등, 2012, Son 등, 2011). 이러한 독소생성곰팡이의 발생정도는 이들이 생산하는 곰팡이독소의 농산물오염과 밀접한 관련이 있으므로 지속적인 모니터링을 통해 곰팡이독소의 오염을 예측하는 기초자료로 활용할 계획이다.

국내 유통중인 가축분 퇴비에서의 식중독미생물 오염실태 조사결과 *Salmonella*, *E. coli* O157:H7 등 주요 식중독 미생물이 검출되지 않아 공정규격에 의해 생산되는 퇴비에는 식중독미생물에 대해 안전함을 확인하였다.

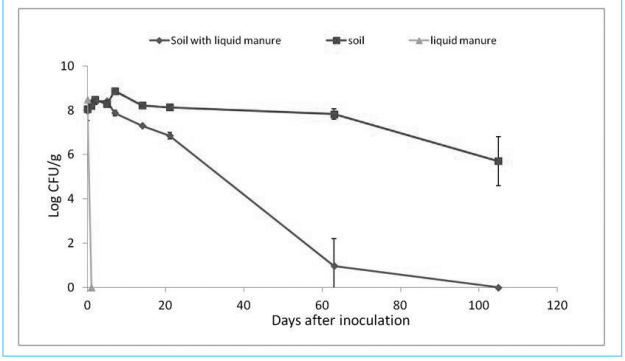
다소비 신선채소류인 수박, 참외, 고추, 당근의 식중독미생물 오염 실태를 조사한 결과, *B. cereus*은 일부시료에서 검출되었고, *Staphylococcus aureus*는 당근에서 3.3%의 시료에서 검출되었다. E. coli의 오염빈도는 수박에서 2.2%, 참외에서 3.3%, 당근에서 6%의 시료에서 검출을 확인하여 병원성 검정을 수행중에



<그림 1> 주요 곡류오염 독성곰팡이의 연차간 발생동태



<그림 2> 돈분퇴비와 계분퇴비에서 *S. enterica*의 생존



<그림 3> 액비가 포함된 토양에서 *S. enterica*의 생존

있으며, 농산물 재배과정에서의 오염원과 오염경로를 구명할 필요가 있음을 알 수 있었다. *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*는 모두 불검출 됨을 확인하였다.

토양내 식중독미생물의 생존과 이동양상 구명

식중독미생물은 부숙되지 않은 퇴비를 사용하였을 경우 토양과 지하수오염을 통해 재배과정중에 농산물에 오염되어 인체안전성에 크게 영향을 줄 수 있으므로, 토양 중에서 생존 및 이동 등의 생태적 특성을 구명할 필요가 있다. *S. enterica*, *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *L. monocytogenes* 균을 인위적으로 오염시킨 퇴비의 종류별 생존특성은 돈분퇴비보다 계분퇴비에서 오래 생존하였고, 수소이온농도(pH)가 9.0이상인 액비에서는 S. enterica가 생존할 수 없었으며 또한 액비를 시용한 토양에서는 유해미생물이 2개월 이상 생존하였다. 또한 퇴비가 포함된 토양에서는 퇴비가 포함되지 않은 토양에서보다 S. enterica 와 L. monocytogenes의 이동속도가 느림을 구명하였다.

파종 30일 (5cm) 파종 45일 (20cm) 파종 60일 (35cm)

<그림 4> 생육기간별 토양과 작물과의 거리

표 1. 재배 중 농업용수와 토양, 들깻잎 중의 B. cereus변화

Samples	Farms	30 days after seedling	45 days after seedling	60 days after seedling
Irrigation water	A	N. D.[1)]	N. D.	N. D.
	B	N. D.	N. D.	N. D.
	C	N. D.	N. D.	N. D
Soil	A	4.5 ± 0.2	4.6 ± 0.0	4.6 ± 0.2
	B	3.6 ± 0.1	3.7 ± 0.1	3.4 ± 0.7
	C	4.9 ± 0.4	4.7 ± 0.2	4.4 ± 0.4
Perilla leaf	A	2.5 ± 0.5	1.2 ± 0.2	N. D.
	B	2.1 ± 0.2	1.1 ± 0.6	N. D.
	C	1.9 ± 0.2	1.0 ± 0.7	N. D.

1) N. D. : Not detected

엽채류 생산과정 중 식중독미생물 오염원 구명

식중독미생물들은 토양, 오염된 관개수, 비위생적인 취급을 통해 농산물에 전이되며 대부분의 신선 엽채류는 일반적으로 오염된 의 수를 감소시키거나 멸균하는 가공공정을 거치지 않기 때문에 병원성 미생물에 의한 엽채류의 오염은 농산물 안전에 영향을 끼칠 수 있다[3,4]. 따라서 들깻잎을 비롯한 엽채류에 의한 식중독사고의 발생을 예방하기 위해서는 생산, 포장 및 유통단계에서 발생할 수 있는 위해를 분석하고 사전 관리하는 것이 식중독사고의 위험을 감소시킬 수 있는 최선의 방법이다. 엽채류 생산과정에서 식중독균 오염원 구명, 식중독균에 오염된 재배환경과 수확후 처리환경이 엽채류의 미치는 영향 및 엽채류의 미생물 안전성 향상방안에 대해서 조사한 결과를 소개하고자 한다.

표 2. 수확 · 수확후 과정 중 위생지표 세균 및 B. cereus의 변화

Samples	Farms	APC	Coliform	*B. cereus*
Harvest container	A	3.2 ± 0.5	N. D.[1)]	N. D.
	B	4.6 ± 1.7	N. D.	1.4 ± 0.5
	C	4.7 ± 0.3	N. D.	2.0 ± 0.4
Sprayer	A	4.5 ± 0.0	N. D.	1.1 ± 0.2
	B	4.2 ± 0.0	1.0 ± 0.4	N. D.
	C	3.6 ± 0.1	N. D.	N. D.
Hands	A	6.1 ± 0.0	N. D.	2.2 ± 0.1
	B	4.8 ± 0.1	1.1 ± 0.2	1.5 ± 0.8
	C	4.5 ± 0.1	3.8 ± 0.1	2.2 ± 0.1
Packing table	A	5.2 ± 0.5	1.1 ± 0.8	2.6 ± 0.3
	B	4.9 ± 0.7	N. D.	1.4 ± 0.7
	C	5.5 ±0.8	N. D.	2.0 ± 1.0

N. D. : Not detected, Detection limit : 1 log CFU/100cm^2, g, ml

1) 엽채류 재배단계의 미생물 오염도

재배단계의 들깻잎 오염원을 조사하고자 파종후 60일까지 토양과 들깻잎에서 *B. cereus* 균의 밀도를 조사하였다. 재배중인 들깻잎의 경우, 일반세균수는 파종 30일부터 45일까지 약 1.0 log CFU/100cm^{2}정도 감소하다가 45일 이후에는 세균밀도의 변화는 없었다. 한편 *B. cereus* 는 시간이 경과함에 따라 점차 감소하여 파종 60일 째부터는 검출되지 않았다. 이는 작물이 생육함에 따라 토양과의 들깻잎과의 거리가 멀어져 들깻잎의 존재하는 *B. cereus* 균의 밀도가 감소하는 것을 알 수 있었으며, 들깻잎 중 *B. cereus* 는 토양으로 오염되는 것으로 추정하였다.

2) 엽채류 수확/ 수확 후 단계의 미생물 오염도

수확 후 처리 과정 중 농산물과 직접 접촉 가능한 작업대, 저울 등에 의해 농산물이 유해미생물에 오염될 수 있다(Kim 등, 2011). 따라서 수확 후 처리 과정 중 들깻잎의 미생물 오염원을 구명하고자 들깻잎과 접촉하는 작업대, 작업자 손, 포장용기, 들깻잎을 대상으로 위생지표세균과 식중독균을 조사하였다 (표 2).

일반세균수가 대부분의 시료에서 3.0 log CFU/100cm^2 이상으로 검출되었고 대장균군의 경우 작업자의 손과 포장대에서 검출되었다. *B. cereus*는 수확용기에서 0~2.0 log CFU/100cm^2, 포장대에는 1.4~2.6 log CFU/100cm^2, 작업자의 손에는 1.7~3.0 log CFU/hands 수준으로 검출되었다. 또한 수확용기를 비롯한 각종 기기류와 포장대가 흙이나 이물질에 오염되어 있었고 구입 후에는 전혀 세척이 이루어지고 있지 않아 각종 기기류 등이 *B. cereus* 오염에 노출되어 있음을 직접 확인할 수 있었다. 따라서 들깻잎의 안전성을 확보하기 위해서는 수확에서 포장으로 이어지는 과정에 발생할 수 있는 오염요소들을 사전에 제거하는 것이 필요하며, 온실과 포장실 내의 청결 그리고 각종 기구들에 대한 위생적 관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

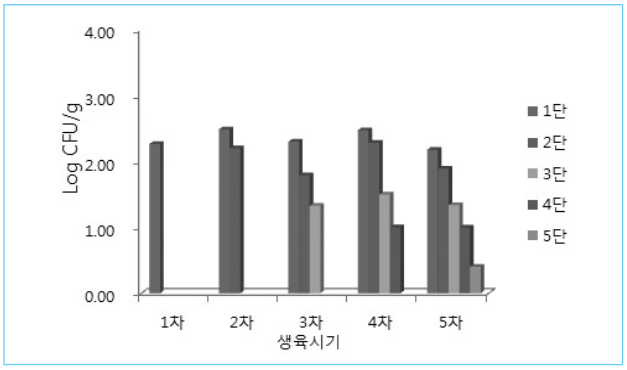
엽채류의 유해미생물 안전성 향상 방안

1) 재배단계에서 유해미생물 오염 경감 방안

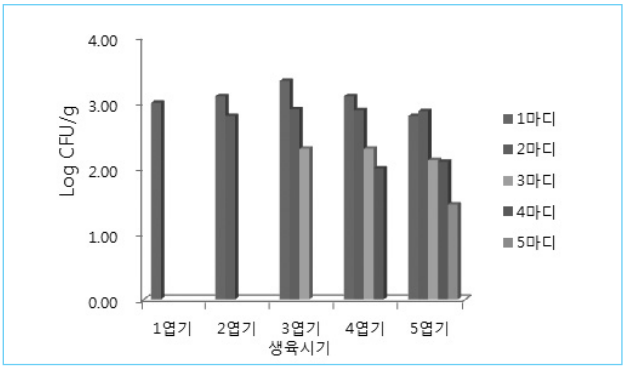
재배단계에서 토양속에 존재하는 *B. cereus*로 부터 들깻잎으로 미생물 오염을 예방하기 위하여 멀칭의 식중독균 차단효과를 조사하였다. 그 결과, 들깻잎 5엽기에 멀칭처리구의 1엽부터 5엽까지 *B. cereus*의 균밀도는 각각 2.2, 1.9, 1.3, 1.0, 0.4 log CFU/g였고, 비멀칭처리구는 2.8, 2.9, 2.1, 2.1, 1.5 log CFU/g로 멀칭처리구에서 0.6 – 1.1 log CFU/g정도 낮았다. 본 연구 결과로 들깻잎 재배시에 토양 멀칭을 통하여 토양으로부터 작물체로의 *B. cereus* 균 오염농도를 줄일 수 있음을 확인하여 GAP 실천기술에 활용하고 있다.

2) 수확 후 처리 과정 중 유해미생물 저감화 방안

수확후 처리과정 중 농산물의 안전성 확보를 위해서는 수확후 처리작업에 참여하는 작업자의 손씻기, 작업대를 비롯한 농산물과 직접적으로 접촉하는 작업환경을 청결히 하는 것이다. 국내 농업현장에서는 아직도 수확 후 처리시설 내 작업도구와 작업환경의 세척, 소독에 대한 필요성을 인식하지 못하고 있는 실정이다. 농촌진흥청에서는 농업인들이 쉽게 실천할 수 있는 작업대 세척, 소독 방안에 대해서 연구하였다.

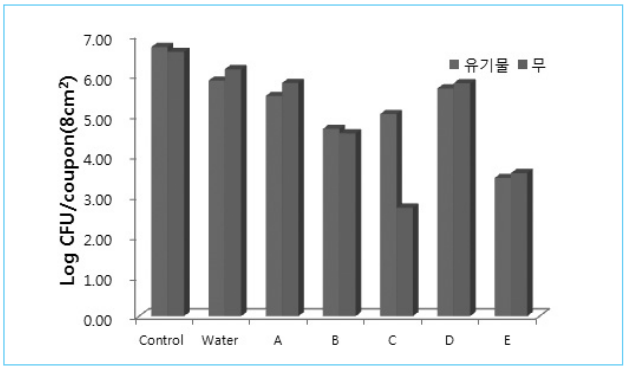


(멀칭 처리구)



(무처리구)

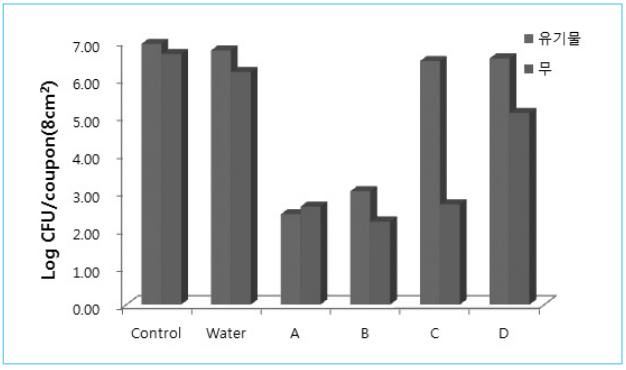
<그림 5> 시기 별, 부위별 들깻잎의 B. cereus수 변화



(멀칭 처리구)

<그림 6> 계면활성제 종류에 따른 *E. coli* O157:H7의 제거효과

A : Sodium lauryl ether sulfate(음이온), B : Sodium lauryl sulfate(음이온), C : leaner alkyl benzen sulfonic acid(음이온), D : Lauryl glycoside(비이온), E : Alkyl betain(양성)



(멀칭 처리구)

<그림 7> 소독제에 따른 *E. coli* O157:H7의 사멸효과

A: 70% ethanol, B: Peroxy acetic acid, C: Sodium hyperchloride, D: Alkyl(C12-16) benzyldimethyl ammonium

세척방법을 확립하기 위하여 세척제의 성분 중 가장 중요한 성분인 계면활성제(sodium lauryl ether sulfate, sodium lauryl sulfate, leaner alkyl benzen sulfonic acid, lauryl glycoside, alkyl betain)의 종류에 따른 세척효과를 비교하였다. 그림에서 보는 바와 같이 Alkyl betain은 유기물의 존재 여부에 관계없이 3.0 log CFU/coupon정도의 제균효과 있어 작업대의 세척용 세제를 만들 때 가장 적합한 것으로 판단된다.

작업대의 세척 후 소독방법을 확립하기 위하여 성질이 다른 4가지 소독제(70% ethanol, peroxy acetic acid(100 ppm), sodium hyperchloride(200 ppm), Alkyl(C12-16) benzyldimethyl ammonium)에 대하여 살균효과를 비교하였다. 그 결과 그림 에서 보는 바와 같이 유기물 존재와 관계없이 70% ethanol, 100 ppm peroxy acetic acid가 소독효과가 우수하였다. 따라서 작업대 세척 후에 100 ppm peroxy acetic acid나 70% ethanol을처리하면 작업대 표면에 존재하는 *E. coli* O157:H7을 제어할 수 있어 작업대로부터 농산물이 식중독균에 오염되는 것을 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

GAP 실천 매뉴얼 개발

GAP제도가 성공하려면 농업인 스스로 GAP기준을 실천할 수 있어야 한다. 따라서 작물별로 다양한 매뉴얼이 개발되어야 하며, 다양한 정보를 종합하여 실천 매뉴얼을 개발하

<그림 8> 농업인 대상 작물별 GAP 실천 매뉴얼 발간·보급

는 것이 GAP 활성화를 위한 농업 R&D의 중요한 역할이다. 농촌진흥청에서는 2013년 한 해 동안 딸기, 상추, 잎들깨 등 10종의 GAP 실천 매뉴얼을 개발하여 작물별 주산지 농업인에게 보급하였다. 2017년까지 30작물에 대한 GAP 실천매뉴얼을 개발·보급할 계획이다.

결 론

우리나라는 2003년 칠레를 시작으로 싱가포르, EFTA, ASEAN, 인도, EU, 페루, 미국, 터키 등 46개국과 FTA를 체결하여 현재 발효 중이다. 올해 2월에는 콜롬비아와의 FTA가 타결되었으며, 인도네시아, 중국, 베트남 등과 FTA 협상을 진행 중이다. 무역자유화가 빠르게 진행되면서 수입 농산물로 인한 시장 잠식이 우려되는 것이 사실이다. 다만 무역자유화에 따라 해외시장도 열리는 만큼 적극적인 해외시장 공략하여 우리 농산물의 수요를 확대할 필요가 있다. 우리나라 농수산식품 수출은 최근 5년간 연평균 16%의 높은 성장세를 지속하고 있다. 이는 수출상대국에서 식품안전성에 대한 요구증가로 우리 농식품이 안전하다는 신뢰가 수출증가의 요인으로 해석된다. 또한 FTA 체결이후 농산물과 관련하여 국내 소비자가 가장 염려하는 것이 수입농산물의 안전이라는 소비자단체의 설문조사 결과에서 보듯이, GAP 제도를 수입농산물에 대하여 저가의 품질 낮은 외국농산물이 무분별하게 들어오는 것을 방지할 수 있는 수단이 될 수 있다.

농촌진흥청은 GAP제도를 과학적으로 뒷받침하기 위해 노력하고 있다. GAP 인증을 받으려면 농촌진흥청장이 고시한 '농산물우수관리기준'을 준수해야 하는데, 농촌진흥청은 과학적 근거를 바탕으로 농산물 안전성을 확보하는 한편 농업인의 불필요한 부담을 덜어주기 위해 지속적으로 GAP기준을 개선해 왔다. 특히 작년에는 6개 품목군으로 세분화하여 품목군별 특성을 반영하였다. 최근에도 현장으로부터 GAP개선 의견을 수렴하였으며, 이를 토대로 GAP 기준 개선을 위한 T/F를 운영하고 있다. 농식품부에서 추진하는 GAP제도개선과 더불어 이력추적제 완화, GAP 시설 경유의무화 완화 등에 대한 내용을 GAP 기준에 반영할 계획이다. GAP를 농업현장에서 실천할 수 있도록 하려면 연구가 필요하며 그런 연구를 담당할 수 있도록 국립농업과학원 농산물안전성부 유해생물팀 내에 GAP·위험분석연구실이 운영되고 있다.

참고 문헌

1. GAP 활성화 방안 심포지엄. 농촌진흥청 국립농업과학원 (2013).

2. 농업과학연구사업연보. 농촌진흥청 국립농업과학원 (2012).

3. Burnett, S.L. and Beuchat, L.R.: Human pathogens associated with raw produce and unpasteurized juices and difficulties in decontamination. *J. Int. Microbiol. Biotechnol.*, 27, 104-110 (2001)

4. FDA: Guidance for industry, Guide to minimize microbial food safety hazard for fresh fruits and vegetables. Available From: http://csan.fda.gov. Accessed Oct. 26, (2005)

5. 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. and Ryu, K.Y.: Evaluation of microbiological safety of lettuce and cultivation area. Korean *J. Fd. Hyg. Safety*, 26, 289-295 (2011).

6. Lee, T., Lee, S., Lee, J.-H., Yun, J.-C. and Oh, K.-S. Natural Occurrence of Mycotoxin and Fungi in Korean Rice. *Res. Plant Dis*. 18: 261-267 (2012).

7. Son, S. W., Nam, Y. J., Lee, S.-H., Lee, S. M., Lee, S., Kim, M., Lee, T., Yun, J.-C. and Ryu J.-G. Toxigenic fungal contaminants in the 2009-harvested rice and its milling byproducts samples collected from rice processing complexes in Korea. *Res. Plant Dis*. 17: 280-287. (2011)