친환경농업 해충방제용 제제의 현황과 전망, 그리고 산업화의 중요성

김인선^{1)*} · 김익수²⁾

¹⁾전남대학교 농업생명과학대학 응용생물공학부, ²⁾전남대학교 농업생명과학대학 식물생명공학부
(2009년 9월 18일 접수, 2009년 9월 25일 수리)

Status and Future Prospects of Pest Control Agents in Environmentally-friendly Agriculture, and Importance of their Commercialization

In Seon Kim^{1)*} and Iksoo Kim²⁾⁽¹⁾Division of Applied Bioscience and Biotechnology, ²⁾Division of Plant Biotechnology, College of Agriculture and Life Sciences, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea)

ABSTRACT: The use of bioactive materials derived from microorganisms and plants has played a role in pest management in environmentally-friendly agriculture (EFA) system. In Korea, a number of agricultural agents for the control of insect pests have been registered officially as biopesticides and marketed widely. However, most of the biopesticides has a limitation in the resource availability of bioactive materials, which has been one of main problems related to the commercialization of agricultural agents. Plant materials and microbial metabolites are the best sources as starting components to commercialize natural-occurring agricultural agents for pest management. The lack of modernized system for the standardization and quality control of the starting materials, however, has also received as a main problem related to the commercialization of agricultural agents. Considered that EFA business has kept growing bigger and bigger with global economic status, the commercialization of agricultural agents is necessary to meet the required number of agricultural agents officially available in EFA. This study describes the status and future prospects of pest control agents in EFA. A number of main issues hindered in the commercialization of agricultural agents are discussed in order to present a promising approach to successful commercialization.

Key Words: biopesticide, environmentally-friendly agriculture, pesticide

서 론

20세기 후반부터 깨끗하고 안전한 농산물을 선호하는 국민적 욕구가 증가하고 있다. 이에 우리나라 농업도 병해충 방제를 위해 화학합성 농자재보다도 생물이나 천연자원을 활용하는 친환경농업을 범국가적으로 실천하고 있다. 하지만, 우리나라 친환경농업에서는 농작물의 생산에 있어서 필수적으로 요구되는 병해충 방제용 자재의 산업화가 미비한 실정이다. 친환경농업에서 사용되고 있는 병해충 방제용 농자재는 크게 미생물의 기능을 활용하는 미생물농약과 미생물이나 천연식물에서 유래된 대사물질을 활용하는 생화학농약이 있으며 우리나라에서는 이들을 ‘생물농약’이라고 명한다.

생물농약은 인공적으로 합성하지 않고 자연적(생물적)으

로 발생하는 천연소재를 이용하여 생산되었다는 점이 합성농약과 크게 다르지만, 기능적인 면에서, 그리고 화학적 및 생물학적 작용면에서 합성농약과 크게 다를 바 없다. 이것은 현재 사용되고 있는 합성농약의 다수가 생물농약이나 생화학농약에 함유된 유효성분(active ingredient)과 동일하거나 화학적 가공을 통해 산업화된 것이 때문이다. 대표적인 예로서 pyrethrin 화합물계열, nicotine 화합물계열, rotenone 화합물계열, neem 화합물계열, 미생물 단백질 화합물계열 등이 있다¹⁻⁵⁾. 생물농약에 비해 합성농약이 갖는 큰 장점중 하나는 원료공급이 원활하고 적용범위와 방제효율성이 높다는 것이다. 합성농약의 이러한 장점은 병해충 방제용 유효성분이 산업화과정을 통해 제품화될 수 있는데서 비롯되었다.

본 논문에서는 농업해충 방제용 제제로 사용되고 있는 친환경농자재의 현황과 전망을 알아보고, 이의 활용성을 높이기 위해 필요한 산업화의 중요성을 살펴보고자 한다. 본 논문에서 언급하는 해충방제용 농자재는 농약으로 분류되어 등록된 생물농약과 생물농약 후보 제제, 그리고 농가현장에서 병

*연락처:

Tel: +82-62-530-2131 Fax: +82-62-530-2139
E-mail: mindzero@chonnam.ac.kr

해충 방제용으로 널리 사용되고 있는 기타 농자재도 포함됨을 미리 밝혀둔다. 또한, 배타적 논란을 초래하지 않기 위해 살충기작에 대한 과학적인 이론이 정확하게 알려져 있는 농자재를 대표적인 논의대상으로 삼고자 한다.

국내에 등록된 해충방제용 친환경농자재의 현황

우리나라는 농촌진흥청에서 친환경농업에 사용되는 병해충 방제용 생물농약의 등록과 관리를 주관하고 있다. 농촌진흥청에서 공개한 자료에 따르면 2008년 12월 현재 국내에 등록된 병해충 방제용 생물농약은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 총 31종으로서 살균제가 16종인 전체 52%, 살충제가 14종인 전체 45%, 그리고 제초제가 1종인 전체 3%를 차지하고 있다. 등록된 생물농약의 원료를 보면 식물추출물이 1종, 천연물이 2종, 그리고 미생물이 28종으로서 원료의 90% 이상을 미생물에 의존하고 있다.

해충방제용 생물농약의 경우 *Beauveria bassiana*⁶⁾, *Bacillus thuringiensis*⁷⁾, *Bacillus thuringiensis* sp. *aizawai*⁸⁾ 등이 살충력을 지닌 주요 미생물로 등록되어있으며 친환경농업에서 많이 사용되고 있는 해충방제제인 제충국, 데리스, 님오일, 니코틴, 고삼, 멸구슬 등의 천연식물 추출물 유래 제제는 아직까지 국내에서 생물농약으로 등록되어 있지 않다. 이들 천연식물 추출물 유래 해충방제용 제제가 생물농약으로 등록되어 있지 않은 이유는 등록시 요구되는 복잡한 절차와 막대한 비용, 그리고 개발비용에 비해 국내외 판매수익성이 안정적이지 못하기 때문이다. 천연식물 제제에 비해 판매 수익성이 높고 비교적 개발비의 부담이 낮은 이유로 생물농약으로 등록된 미생물제제도 제품 자체를 국외에서 수입하거나 원료를 국외에서 수입하여 국내에서 제조하는 것이 대부분이다. 또한, 미생물제제의 경우 섭식성 해충인 나방류를 방제하는 Bt 제제가 유일하며 진딧물이나 응애와 같은 흡즙성 해충을 방제하기 위한 자재는 국내에서 전무한 실정이다.

천연식물 추출물 제제가 친환경농업에서 해충방제용 제제로 많이 사용하고 있다는 점을 고려하여 농촌진흥청에서는 이들 제제를 '친환경 유기농자재 목록공시제'를 도입하여 관리하고 있다. 이것은 등록된 자재의 약효와 성분함량을 공인

해주기 보다는 친환경 유기농업에 사용할 수 있는 제제의 정보를 농업인에게 효율적으로 제공하기 위해 마련된 것이다. 현재 우리나라에서 친환경유기농자재로 분류되어 해충방제에 사용되고 있는 제제는 총 848종 중 16%인 137종에 이른다(자료출처: 농촌진흥청). 하지만, 이들 자재의 살충성분을 고려할 때 농자재의 종류가 소수에 불과하며 대부분의 자재가 유효성분은 동일하지만 산업체마다 제품명이 다르게 등록되어 있다. 또한, 유기농자재로 등록된 제제의 제품에 표기된 정보를 보면 제제의 유효성분에 대한 언급이 없을 뿐만 아니라 적용하고자 하는 대상해충이 무엇인지 구체적으로 제시되어 있지 않으며 한정된 살충성분으로 다양한 해충을 방제할 수 있다는 오해를 받기 쉬운 실정이다. 더구나 등록된 해충방제용 자재의 적용매뉴얼이 전무한 실정이어서 적용매뉴얼 개발을 위한 연구가 필요하다.

해충방제용 친환경농자재의 작용기작

친환경농업에 사용되고 있는 대표적인 해충방제용 농자재들의 작용기작을 섭식성 해충 방제용과 흡즙성 해충 방제용으로 구분하여 서술하고자 한다. 해충방제용 제제의 작용기작은 해충이 작물에 해를 가하는 특성에 따라 다를 수 있는데 섭식성 해충의 경우 작물의 일부를 먹고 체내에서 소화하여 섭취하기 때문에 소화기관을 저해하는 제제가 사용되는 반면, 흡즙성 해충의 경우 작물의 영양액을 섭취하기 때문에 신경계를 저해하는 제제가 사용된다. 본 논문에서는 각 제제들의 작용기작을 설명하는데 있어서 대표적인 해충방제용 제제를 예로서 들고자 한다.

섭식성 해충방제용 제제

Bt 제제

섭식성 해충 방제용으로 사용되고 있는 대표적인 제제는 Bt 제제가 있다. Bt 제제는 *Bacillus thuringiensis*라는 그람 양성 세균이 생산하는 결정체 단백질을 'Cry toxin'을 활용하는 제제이다⁹⁾. 'Cry toxin' 단백질은 pH가 염기성인 해충의 위장에서 작용하는 것이 특징이며 배추좀나방, 담배나방, 흑명나방 등의 3-4령 단계 유충을 방제하는데 활용되고 있다.

Bt 제제의 작용기작을 간단하게 그림으로 도식하면 Fig. 2에 나타난 바와 같다¹⁰⁾. Bt toxin 단백질이 살포된 작물의 잎을 해충이 섭취하면 pH가 염기성인 위장에 이르러 단백질이 용해된다. 용해된 단백질은 해충의 위장에 존재하는 단백질 분해효소에 의해 아미노산 양쪽말단이 제거되어 Domain I, II, III를 가진 약 68 KDa 크기의 Cry toxin 단백질로 바뀐다. Cry toxin의 Domain II와 III가 해충의 위장 세포막에 존재하는 membrane receptor에 결합하면 Domain I이 위장조건에 의해 재배열되면서 α -helix hairpin구조로 바뀐다. 이때 α -helix hairpin은 해충의 위장 membrane 속에

Fig. 1. Number of bio-pesticides registered in Korea.

Fig. 2. Insecticidal mode of action of Bt toxin. 1. Bt toxin crystal protein mixture; 2. Crystal protein becomes soluble in the insect gut with alkaline conditions; 3. Both terminal fragments of crystal protein are removed by gut proteases to release a protein mixture consisting of Domain I, II and III; 4. Domain II and III bind to insect gut membrane receptor sites; 5. Domain I is rearranged and inserted into membrane to form membrane pore; 6. Influx and efflux of ions and cell components through the pore lead to cell lysis¹⁰⁾.

끼어들어가 일종의 'tunnel pore'를 형성하게 되는데 형성된 pore를 통해 해충의 세포막 구성분이나 세포 내 이온들이 용출되면서 살충효과를 가져온다. Bt 제제는 작물의 잎을 가해하는 성충을 방제하는 효과는 매우 낮아 작물의 생육초기에 발생하는 나방류 유충의 방제에 효과적이다.

Neem oil 제제

Neem oil 제제는 *Azadirachita indica*¹¹⁾라는 식물의 씨앗에서 추출된 azadirachtin을 유효성분으로 이용한다(Fig. 3). 섭식성 해충은 나방이 되기까지 일생을 애벌레(larva)→번데기(pupae)→성충(adult)등의 완전변태과정을 거치며 이 과정에서 해충은 탈피(molting)를 거쳐야 한다. 해충의 탈피는 앞가슴샘(prothoracic gland)에서 분비하는 ecdysone이라고 하는 steroid성 호르몬과 뇌하수체샘(endocrine gland)에서 분비되는 juvenile hormone (JH)의 적절한 농도비율 조절을 통한 일련의 생화적인 대사에 의해 진행된다. 해충의 뇌하수체에서 분비되는 JH의 농도가 최대로 낮아질 때까지 ecdysone은 지속적으로 가슴샘에서 분비되고 그 결과 해충은 오래된 세포를 껍질로 변환시키는 탈피과정을 진행한다(Fig. 4). 만약 이들 호르몬의 생리적인 균형이 깨지면 해충은 비정상적인 탈피과정을 거치므로 성장과정이 저해된다. Azadirachtin은 ecdysone과 구조적으로 유사하므로 JH와 ecdysone의 정상적인 비율 조절에 영향을 주게 되고 ecdysone의 분비억제를 유도하여 해충의 탈피과정에 교란을 일으키는 'Insect Growth Regulator (IGR)'이다¹²⁾. Azadirachtin의 이러한 IGR 효과는 해충을 직접 살충하는 작용은 아니지만 해충의 생육과 성장에 영향을 주어 이의 밀도를 조절하는 효과를 가져온다. 해충에 의한 작물의 피해가 해충의 밀도와 깊은 상관이 있다는 점을 고려할 때 neem oil 제제는 효율적인 해충방제제의 하나로 받아들여지고 있다.

Fig. 3. Chemical structure of azadirachtin.

Fig. 4. Insecticidal mode of action of azadirachtin¹²⁾.

Fig. 5. Chemical structure of rotenone.

흡습성 해충방제용 제제

데리스 제제

데리스 제제는 *Derris elliptica*¹³⁾라는 식물뿌리에서 추출한 살충물질인 rotenone을 유효성분으로 이용하는 제제이다(Fig. 5). Rotenone은 흡습성 해충을 방제하는 접촉독제, 식독제 및 기피제로 사용되고 있으며 과거 아프리카 토인들이

Fig. 6. Insecticidal mode of action of rotenone¹⁴⁾.

이 물질을 함유한 데리스 뿌리즙액을 이용하여 물고기 잡는데 사용하기도 했다.

Rotenone의 작용기작은 Fig. 6에 나타난 바와 같이 Fe-S를 함유한 flavin mononucleotide (FMN) 전자전달계를 교란시켜 최종적으로 해충의 ATP 합성을 저해하는데 있다. 곤충의 미토콘드리아 호흡연쇄과정은 ATP 합성에 매우 중요하다. 미토콘드리아 호흡과정에서 생성된 전자는 NADH에 전달되고 이는 다시 FMN을 거쳐 NADH:ubiquinone oxidoreductase로 구성된 ubiquinone complex I에 전달되어 일련의 연쇄반응을 통해 ATP 합성에 관여한다. Rotenone는 미토콘드리아 전자전달계의 complex I에 직접 결합하여 ATP 합성을 위한 전자흐름을 저해함으로써 살충 효과를 가져 온다¹⁴⁾. Rotenone은 포유동물에 독성이 약하여 친환경농업에서 진딧물을 방제하기 위해 많이 사용되고 있지만 최근에 '파킨슨' 병을 일으키는 것으로 보고¹⁵⁾되고 있어 친환경농업에서 사용빈도가 점점 감소하고 있다.

제충국 제제

제충국 제제는 과거 30년 동안 가장 많이 사용되고 있는 흡습성 해충 방제용 제제로서 살충성분은 *Chrysanthemum cinerariaefolium*이라는 제충국나무 꽃에서 추출된 pyrethrin류 화합물이다¹⁶⁾. 제충국에 함유된 pyrethrin류 화합물은 pyrethrin I, pyrethrin II, cinerin I, cinerin II, jasmolin I, jasmolin II 등이 있으며(Fig. 7), 이 중 pyrethrin I과 II가 주요 살충력을 지닌 물질로서 이를 이용한 해충방제에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다¹⁷⁾.

Pyrethrin 제제의 살충기작은 Fig. 8에서 나타난 바와 같이 해충의 신경전달교란을 일으켜 신경을 마비시킴으로서 살충력을 가져오는 'knockdown' 효과이다¹⁷⁾. 해충의 신경전달은 K⁺와 Na⁺의 농도비율 차이로 생긴 신경세포 분극(polarization)과 탈분극(depolarization)과정이 자극적으로 반복되면서 발생하는 신경막전위(axon potential) 변화에 의해 가능하다. 분극-탈분극 변화에 의해 발생된 막전위는 신경전달물질(neurotransmitter) 방출을 유도하는데 이 물질은 곤충의 신경운동을 위한 신호(neuron signal)가 된다. 이때 이온의 신경세포내 유입(influx)과 유출(efflux)은 신경세포

Fig. 7. Chemical structures of pyrethrins, cinerins and jasmolins.

Na⁺ channel에 의해 정교하게 조절된다. 정상적인 상태에서는 해충의 신경세포 말단에서 활성화된 막전위가 정지전위(resting potential)로 회복되는 것이 주기적으로 조절되지만 pyrethrin과 같은 신경전달 시스템 교란물질이 신경세포에 도달되면 Na⁺ channel의 정상적인 개폐조절이 저해된다. 신경세포에서 Na⁺ channel의 기능이 저해되면 막전위의 활성화 전위가 하강되는 것이 지연되어 정지전위로의 회복이 늦어지고, 그 결과 신경말단에 계속적으로 막전위가 전달됨으로서 전기적 과부하 유도로 인해 해충은 죽게 된다. Pyrethrin은 광조건과 적용환경의 pH 변화에 민감하여 분해가 빠르므로 반복적으로 살포를 해야 하는 단점이 있다.

담배 제제

담배 제제는 *Nicotiana tabacum*이나 *Nicotiana rustica*¹³⁾ 같은 담배 잎에 함유되어 있는 nicotine을 유효성분(Fig. 9)으로 하여 해충을 방제한다. Nicotine은 염기성 액체로서 중성 pH에서는 1가 양이온을 띠며 산성 pH에서는 2가 양이온을 띠므로 담배 잎에서 추출할 때는 알칼리 조건에서 비이온성 화합물 형태로 얻는다. 이를 제제화할 때는 비이온성 nicotine을 다시 황산이나 염산으로 pH를 낮추어 염산염 혹은 황산염 화합물을 얻는다. 이렇게 얻은 화합물은 점

Fig. 8. Insecticidal mode of action of pyrethrins. A. Sodium channel mediates the influx and efflux of ions, Na⁺ and K⁺, causing electrical charge in nerve axon. Polarization and depolarization of nerve cells regulated by ion channel cause a neurotransmitter to be released. B. The interference of pyrethrins with sodium channel causes multiple potential in the nerve cells by delaying the closing of ion channel. The delayed ion channel causes the oversupply of electrical charge in nerve axon so that insects are paralysed¹⁷⁾.

Fig. 9. Chemical structures of nicotine.

Fig. 10. Insecticidal mode of action of nicotine¹⁸⁾.

촉독제, 식독제 및 기피제로 사용된다.

Nicotine의 작용기작은 Fig. 10에 보여준 바와 같이 곤충의 신경전달 물질인 acetylcholine의 binding receptor에 대한 경쟁을 통해 신경전달 기능을 저해하는 것이다. Nicotine은 그 화학구조가 acetylcholine의 중심구조와 유사하기 때문에 acetylcholine과 acetylcholine receptor를 놓고 경쟁적으로 결합한다¹⁸⁾. 이 과정에서 신경전달의 교란이 발생하고 nicotine이 acetylcholine에 결합하면 acetylcholine이 결합할 수 있는 작용부위가 사라지게 되므로 해충의 신경전달이 차

단된다. Nicotine에서 유래한 대표적인 합성농약으로 진딧물 같은 흡증성 해충방제에 가장 많이 사용되고 있는 imidacloprid가 있으며, 이는 대표적인 'knockdown' 제제이다.

해충방제용 친환경농자재의 전망과 산업화의 중요성

지금까지 해충방제용 친환경농자재의 현황과 방제기작에 대해 소개하였으며, 다음으로 친환경농자재의 전망과 산업화의 중요성을 언급하고자 한다. 친환경농자재의 전망을 예측하려면 친환경농업 정책추진 현황, 친환경농산물 재배면적 규모, 그리고 친환경농산물의 마케팅 규모를 고려할 필요가 있다.

친환경농자재의 전망

우리나라는 2009년 현재 친환경농업실천 10년, 그리고 각 지자체별로 추진하고 있는 '친환경농업 5개년 계획'의 5년차에 접어들고 있다. 우리나라 지자체가 농업부분에서 추진해왔던 '친환경농업 5개년 계획'의 핵심내용을 전라남도를 사례로서 살펴보면 2009년까지 합성농약 사용량을 2005년 기준 30% 까지 감축하는 것과 친환경농산물 재배면적을 2009년까지 전체 경지면적의 30% 수준인 98,000 ha까지 확대하는 것이다. 한국농촌경제연구원 2009년 보고서인 '최근 국내외 친환경농산물의 생산 실태 및 시장 전망'에 따르면 전라남도는 5년 동안 약 1조원이라는 막대한 예산을 투자하여 2008년 기준 현재 전체 경지면적의 32.5%에 해당하는 경지면적을 친환경농업 재배면적으로 달성하여 그 면적이 약 101,000

ha에 이르고 있다. 이는 전국 친환경농업 경지면적의 58.2%에 해당하는 수준으로서 전국에서 제일 높다. 친환경농업 정책이 농가에 직접적으로 적용되는 형태를 보면 친환경농업 농자재구입 보조금 지원, 친환경농업 부대시설 지원, 친환경농업 광역화 시범단지 조성, 친환경농업 농기계구입 보조금 지원, 친환경농업 영농법인 설립 지원, 친환경농업 교육비 지원 등등이다. 전라남도는 ‘친환경농업 5개년 계획’이 끝나면 ‘생명식품 5개년 계획’을 새롭게 세워 현재 저농약-무농약-유기농산물을 포함한 친환경농업시스템을 무농약-유기농산물을 대상으로 하는 친환경농업시스템으로 발전시킬 계획이며 이를 위해 2014년까지 약 1조 6백억원을 투자하여 합성농약의 사용을 2009년도 사용대비 30% 수준으로 감축하는 정책을 추진할 계획이다. 이러한 친환경농업 정책이 향후 농업분야에서 ‘저탄소 녹색산업’의 하나로 간주되어 범국가적으로 추진될 전망이다. 그에 따라 친환경농자재의 필요성과 수요는 더욱 증가할 것으로 기대된다. 아울러 합성농약 사용에 대한 지속적인 감축정책(1차 정책 30% + 2차 정책 30%)은 합성농약을 대신할 수 있는 다양한 농자재의 개발과 수요가 요구되고 있어 친환경농자재의 전망은 밝아질 전망이다.

한편, 친환경농업 재배면적의 지속적인 증가는 친환경농산물의 지속적인 매출신장을 가져오고 있다. 한국농촌경제연구원에서 2009년 9월에 밝힌 보고서에 따르면 친환경농산물 시장은 2008년 3조 2천여억원에서 2009년 3조 7천여억원으로 약 17% 증가하였다고 한다. 또한, 2015년에는 그 시장이 5조원 이상이 될 것이며 2020년에는 전체 농산물시장 규모의 20%를 육박하는 약 7조원으로 예측하고 있다. 친환경농산물의 시장성에 대한 하나의 예로서 국내 유통업체 이마트에서 제공한 자료를 보면 이 유통업체의 최근 3년간 친환경농산물 매출액은 매년 증가하여 2007년 현재 1,000억원 수준인 것으로 밝혀졌다(Table 1). 특히 가공된 농산물보다 신선 농산물 매출액에서 현저한 증가를 보이고 있어 친환경농산물이 깨끗하게 재배된다는 사회적 인식하에 생체농산물 상태로 소비되는 경향이 높게 나타난 것으로 사료된다. 이것은 결국 친환경농산물의 유통시스템에 대한 국가적 개선책의 필요성을 부각시킬 것이며 그 결과 친환경농산물 재배면적은 더욱 증가할 전망이어서 농자재의 필요성과 수요도 또한 증가될 전망이다.

친환경농자재 산업화의 중요성

Table 1. Marketing income of environmentally-friendly agricultural products

Product	Annual marketing income (Billion won)*		
	2005	2006	2007
Manufactured	10	17	25
Freshed	50	62	75
Total	60	79	100

*Kindly presented by E-Mart company.

서두에서 언급하였던 것처럼 병해충 방제용 합성농약과 친환경농자재는 ‘합성’과 ‘천연소재’라는 용어에서 큰 차별성은 있지만 두 농자재 모두 기능적 및 작용기작 면에서 크게 다를 바 없음을 언급한 바 있다. 우리나라 농업에서 합성농약이 가장 효과적인 병해충 방제용 농자재로 인식된 이유는 무엇보다도 농자재의 산업화에 있다고 할 수 있다. 농자재가 산업화되면 농업현장에 필요한 시기와 장소에 구애받지 않고 수요자의 요구가 있을 때마다 언제든지 공급이 가능하며 사용목적의 정확성을 준다. 상기에서 언급한 바와 같이 국가의 저탄소 녹색산업 정책추진, 그리고 안전한 농산물에 대한 소비자 욕구의 증가는 친환경농산물의 시장성을 더욱 증가시킬 것으로 예측된다. 이것은 곧 친환경농업에 사용되는 농자재의 필요성을 더욱 증가시키고 있으므로 이에 따른 농자재의 산업화가 매우 중요하다고 할 수 있다.

농약이 개발될 때 고려되어야 할 사항은 농약성분(유효성분)의 유효농도이다. 농업에 사용되는 합성농약의 일반적인 산업화 방향은 Fig. 11에 보여준 바와 같이 예시할 수 있다. 즉, 병해충 방제용 후보성 물질이 선정되면 산업화를 위해 이 물질의 LD₅₀(적용대상에 대해 50% 치사율 농도) 혹은 ED₅₀(적용대상에 50% 방제효과 농도)이 결정된다. LD₅₀과 ED₅₀을 갖는 농도가 독성학적으로 아무런 문제가 없는 수준일 경우 이 농도들은 실질적으로 농가현장에서 살포되는 유효농도 수준에 해당한다. 농가현장에서 농약을 살포할 때는 넓은 재배면적에 고르게 살포하기 위해 통례상 200-1,000배 수준으로 희석된다. 따라서 농약이 상품화될 때 제품용기에 함유되는 농약의 농도는 유효농도보다 원하는 희석배수 만큼 높은 농도로 포장된다. 물론 산업화 과정에서 여러 가지 보조제를 첨가하여 제품화되는 농약성분의 함량을 줄일 수 있다.

친환경농자재가 산업화되려면 상기와 같은 과정을 거쳐야 하지만 우리나라에서 사용 가능한 친환경농자재는 제품화과정에서 합성과정이 완전히 배제되어야 하는 규제안이 있다. 이는 합성농약의 악영향을 없애려는 목적하에 자연적인 과정에서 생성된 활성물질을 유효성분으로 인정하는 기준안에서 비롯된 것이다. 하지만 상기와 같은 산업화과정이 없으면 친환경농자재의 제품화는 원료를 국외에서 수입한 다음 국내에서는 단지 가공만 하는 수준이 될 것이며 이는 서두에서 언

Fig. 11. Typical scheme for pesticide commercialization.

급하였던 것처럼 우리나라의 빈약한 생물농약 현황과 같은 결과를 가져온다. 그러므로 친환경농업의 지속적인 발전을 위해 농자재의 산업화를 위한 노력이 필요하다. 우리나라 현실에서 친환경농자재 산업화의 걸림돌이 될 수 있는 사항들을 정리 해보면 다음과 같다. 다음과 같은 사항들이 극복될 때 친환경농자재의 산업화는 효율적으로 진행될 수 있을 것이다.

친환경농자재 원료 확보

친환경농자재의 산업화에서 중요한 요건중 하나는 농자재를 지속적으로 개발할 수 있는 원료공급원의 확보여부라고 할 수 있다. 우리나라에서 현재 사용하고 있는 농업해충 방제용 친환경농자재의 대부분은 천연식물 추출물 제제이다. 이에 해당하는 천연식물은 제충국, 님오일, 테리스, 고삼, 담배 등으로서 이들 천연식물 추출물은 국내가 아니라도 국외에서 대량생산이 가능하며 유효성분에 대한 살충력과 독성적 안전성에 대한 과학적인 자료가 database화 되어있기 때문에 지속적으로 사용되고 있다. 안타깝게도 우리나라는 이들 원료를 생산할 수 있는 공급원이 없다. 이들 식물이 우리나라 일부지역에서 재배된다 하더라도 지속적으로 공급할 수 있을 정도의 양을 생산할만한 재배환경이 없고 식물의 수확단계와 가공단계에서 요구되는 높은 인건비 때문에 산업체에서 수익성을 고려한 나머지 산업화 의지를 포기하고 있다.

살충원료중 제충국의 경우 케냐가 최대 생산국으로서 최근 3년 동안 평균 생산량이 약 30,000톤에 이르며 세계 생산량의 70%를 차지하고 있다¹⁹⁾. 케냐에서 제충국의 생산과 수출은 국민을 먹여 살리는 주요 산업중 하나이다. 케냐 다음으로 중국이 최근 3년 동안 평균 5,000톤을 생산하고 있으며, 특히 중국 운남성은 연평균 1,200톤을 생산하여 주로 우리나라에 수출하고 있다. 본 논문의 저자들은 2007년 봄에 중국 운남성의 제충국 생산공장을 견학한 경험이 있는데, 운남성의 광대한 지역이 제충국 재배만을 농업으로 하고 있었으며, 공장에서는 제충국을 계약재배 농가로부터 구입하여 산업화를 하고 있었다. 공장현지를 둘러보았을 때 놀랍게도 한꺼번에 100톤이라는 제충국을 추출할 수 있는 대형 자동추출장치 8대가 항상 가동되고 있었다. 추출기에서 얻어진 추출물은 자동적으로 초임계액추출기에서 95%까지 정제되어 고형물이 제거된 다음 국제수출기구에서 제시한 수출용 드럼통에 옮겨져 해외로 수출된다. 공장 안에는 제충국 추출물에 함유된 pyrethrin의 존재여부를 검증하는 기기분석이 이루어져 품질관리가 되고 있었다.

한편, Neem oil의 경우 인도가 세계 최대 생산지로서 인도에는 2천5백만 그루의 님나무가 재배되어 생산량은 예측이 어려울 정도로 광대하다¹⁹⁾. 중국과 인도, 그리고 케냐가 이렇게 병해충 방제용 천연식물의 거대한 생산지가 되는 데는 값싼 노동력 때문일 것으로 추측된다. 우리나라는 제충국이나 님오일 식물을 재배할 수 있는 지형학적 및 인적환경이 다른

국가에 경쟁할 수 있는 수준에 미치지 못하고 있다. 그 결과 우리나라 친환경농자재의 경우 대부분이 국외에서 수입되어 들어온다. 우리나라의 대표적인 어느 친환경농자재 산업체에서 제공한 자료에 의하면 2007년 현재 우리나라에서 시판되고 있는 해충방제용 친환경농자재의 매출액의 경우 버벌구 방제용이 170억원, 응애 방제용이 390억원, 진딧물 방제용이 709억원, 배추좀나방 방제용이 40억원으로 총 1,309억원에 이르고 있으며 원료가 대부분 중국에서 수입된 것으로 밝혀졌다. 해충방제용 미생물제제 또한 서두에서 언급하였던 것처럼 원료를 수입한 후 가공된 자재가 많다. 결론적으로 친환경농자재 원료공급원이 마련되지 않으면 원료를 해외에 의존하게 되어 국내에 판매될 때는 합성농약 값보다 훨씬 비싸게 공급될 수 있을 것이며, 국제적인 경제상황에 따라 가격변동이 심할 경우 친환경농자재의 국내공급은 어려운 상황에 처하게 될 수 있을 것이다. 이것은 곧 친환경농업이 실패로 전락되는 길이 될 수도 있을 것이다.

친환경농자재 원료의 과학적 표준화

우리나라 친환경농가에서는 멀구슬나무 열매, 녹차나무 잎, 고추씨 오일, 은행나무 열매, 자리공나무 열매, 매실, 폐죽나무 껍질, 역귀나무 잎, 어성초, 참나무 오일, 그리고 각종 한약재에서 유래된 다양한 식물추출물이 농가에서 병해충 방제용 민간요법으로 활용되고 있다. 이들 식물추출물은 재배면적이 영세하였던 과거 오래전부터 관습적으로 사용되어 온 방법이지만 친환경농업에 지속적으로 공급할 수 있는 원료량을 확보하기가 어렵기 때문에 산업화의 한계가 있다. 또한, 민간요법으로 사용되고 있는 많은 농자재들을 보면 병해충 방제기작이나 독성에 대해 과학적으로 입증된 자료가 미비하다. 즉, 이들 식물로부터 얼마나 많은 양의 추출물을 얻어서, 어떻게 농축하여 유효농도를 높이고, 추출물에 함유된 무순 활성물질을 농가현장에 어느 정도 수준으로 희석하여 살포해야 하는지 등의 과학적인 자료가 없다. 예로서 어떤 살충성 천연식물의 경우 1 kg 열매를 4 L 분량의 에탄올에 3~4일 동안 침지추출한 후 추출물을 10배 농축하여 살포하라는 정보가 인터넷상에 널리 알려져 있으며, 실질적으로 친환경농가에서는 해충방제를 위해 이 정보를 활용하는 경우가 많다. 설사 이 정보가 사실이라 할지라도 1,000 m²에 살포되는 물량인 700 L을 기준으로 필요한 식물추출물 양을 예측해보면, [(1 kg/4 L) x 10 x 700 L] = 1,750 kg으로서 추출액을 10배 수준으로 희석하여 살포한다 하더라도 175 kg이 필요하다. 더욱이 제제살포를 1회에 그치는 것이 아니라 반복적으로 살포해야하는 점을 고려하면 식물추출물의 소요량은 더욱 증가할 것이다. 전라남도처럼 광범위한 친환경 재배면적에 살포하고자 할 경우 얼마나 많은 양의 식물이 필요할 것인가를 예측해보면 대량적 재배환경이 부재한 우리나라에서는 산업성과 실효성이 떨어진다고 할 수 있다. 또한, 해충의 성장속도가 비교적 빠른 흡즙성 해충의 경우 식물추출물을 3~4일

간 침지하는 동안 해충밀도는 더욱 증가할 것이기 때문에 상기의 방법은 방제에 적절하지 못하다. 뿐만 아니라 같은 식물이라 할지라도 재배지역이 다르면 식물에 함유된 활성물질의 함량이 달라질 수 있으므로 재배지역적 추출물의 차이는 농자재의 표준화를 가져올 수 없다. 그러므로 검증되지 않은 자료가 우리나라 친환경농업에 정책적으로 추진된다면 친환경농업 발전에 장애요인이 될 수 있다. 따라서 친환경농업에 필요한 농자재의 산업화를 위해서는 자재의 유효성분에 대한 품질관리와 표준화 방법이 마련되어 자재의 신뢰성과 과학적 접근성을 확보할 수 있어야 한다. 합성 농자재는 독성이 있어 친환경농업에 허용이 되지 않고 천연(생)물 소재는 자연적인 것이므로 안전하다는 것은 큰 오류이다. 물론 천연물(생) 소재는 합성 자재에 비해 환경에 덜 지속적이어서 잔류성이 낮지만 그렇다고 안전하다는 것을 의미하지는 않는다. 우리나라는 지금까지 천연(생)물 소재에서 유래된 자재의 인축에 대한 독성학적 자료와 non-target 생물에 대한 악영향, 그리고 병해충의 저항성 유발에 대한 자료가 미비한 실정이기 때문에 농자재관리법이 보장되지 않으면 친환경농자재의 오용과 남용의 염려가 발생할 것이다. 그러므로 친환경농자재의 산업화를 위한 자재의 표준화와 과학적 검증은 매우 중요하다.

친환경농자재 관리법령

우리나라 친환경농자재는 생물농약과 4종 복합비료 형태로 산업화된 다음 지자체 해당기관에 등록된 후 농가에 보급되다가 2008년부터 농촌진흥청에서 이를 다시 '유기농자재 목록고시제'를 마련하여 친환경농업에 사용가능한 자재를 농가에 알려주고 있다. 살펴보면 과거 4종 복합비료로 등록된 농자재의 대부분이 다시 유기농자재로 등록되어 관리되고 있는 것이 많다. 물론 농자재등록을 위해 약효와 독성실험 성적이 요구된다. 하지만 합성농자재와 같은 엄격한 독성 및 약해, 그리고 약효시험을 거치지 않았기에 안전성을 보장할 수 없다. 무엇보다도 등록된 농자재의 유효성분이 무엇인지 그리고 원료의 출처가 무엇인지에 대한 정보가 미비하게 제공되고 있어 농자재관리를 위한 제정안이 필요하다. 흡습성 해충방제에 광범위하게 사용되고 있는 데리스제제의 성분인 rotenone은 최근에 파킨슨 질병을 유도한다고 발표되고 있는 점을 고려할 때¹⁵⁾ 농자재의 유효성분 관리를 위한 국가적 법령제정은 친환경농자재의 안전성과 신뢰성을 높이고 나아가 국내외적인 산업화의 경쟁력을 높이기 위해 필요하다. 농자재 유효성분에 대한 관리는 또한 농자재를 사용하는 친환경농가에게 제공하는 중요한 정보이기도 하다. 이것은 동일한 유효성분으로 구성된 농자재가 다른 제품명으로 판매될 경우 농가에서는 유효성분을 고려하지 않고 사용하게 되므로 동일한 약제를 반복적으로 사용할 것이며 그 결과 병해충에 대한 저항성 유발을 가져올 수 있을 것이기 때문이다. 그러므로 향후 개발될 친환경농자재는 유효성분을 제품에 공시하게

하고 분석기관에서 해당 유효성분에 대한 검사를 받아 검증된 농자재를 산업화하는 정책이 필요하다. 이것은 수입된 농자재 원료의 진실여부를 가름하는 길이기도 하다.

친환경농자재 마케팅 시스템

우리나라 친환경농자재는 합성농약을 시판하는 판매점에서 구입이 가능하다. 또한 각 지자체 지역별 존재하는 농협을 통해서도 구입이 가능하다. 농자재 관리법상 농약을 판매하는 자는 비료를 포함한 모든 농자재를 판매할 수 있도록 허가하고 있기 때문이다. 본 저자들은 이것을 각 지자체별 친환경농자재 관리부서에서 마케팅 시스템을 감독하기를 권하고 싶다. 물론 지자체별 관리부서가 담당할 때는 상기에서 언급 하였던 것처럼 유효성분에 대한 검증과 안전성에 대한 자료가 반드시 database화 되어 있어야 하며, 기준에 미달된 자재는 과감하게 판매를 중지시켜야 한다. 현재의 농자재 판매 시스템은 친환경농자재를 개발하고 납품하는 산업체와 판매점간에 다양한 이해적인 거래를 유발할 가능성이 있으며 아무리 효능이 좋은 제제를 개발한 산업체라 할지라도 현재 판매시스템의 질서를 이해하지 않으면 농자재 마케팅이 어려운 실정이다. 친환경농자재를 개발한 산업체가 거대하고 자금의 유동성이 우수할 경우 현재 판매시스템의 질서하에서 잘 견디고 있지만 그렇지 못한 중소기업은 경제적으로나 정치적으로 뒤떨어져 있어 농자재 마케팅의 어려움을 겪고 있다. 이것은 다양한 친환경농자재를 요구하고 있는 미래지향적 친환경농업 발전에 커다란 장애요인이 될 수 있으며 농가현장에서 들려오는 농자재의 장단점을 이해하는데 어려움이 될 수 있을 것이다. 그러므로 친환경농자재의 마케팅은 상기에서 제안한 관리기준을 선행조건으로 하여 지자체 담당부서에서 엄격하게 감독하는 질서를 세워야 할 것이다.

결론

우리는 지금까지 친환경농업 병해충 방제용 농자재의 현황과 친환경농산물 시장성에 따른 농자재의 전망, 그리고 갈수록 증가하는 친환경농자재의 수요도를 만족시키기 위해 필요한 친환경농자재 산업화의 중요성과 산업화를 위해 필요한 사항들을 살펴보았다. '친환경농업 5개년 정책추진 계획'의 마지막 년차인 올해 정책추진 성과를 보면, 국가적으로 광범위하게 추진해온 친환경농업 육성책 덕분에 농업환경은 친환경농업 실천이전에 비해 건강해져 보인다. 인간과 환경이 공존하는 농업시스템 개발과 추진은 지속가능한 농업시스템 마련에 중요하다. 하지만 농가소득을 보장하고 농업경제의 건전한 순환을 위해서는 농업의 산업화가 필요하다. 특히, 친환경농업에 사용되는 농자재의 산업화는 지속가능한 농업시스템을 유지하는 원동력이 된다. 또한, 산업화와 더불어 농자재에 대한 표준화 그리고 신뢰성 있는 관리방안이 법령으로 마련되어 농자재에 대한 과학적인 database화 시스템이 구축

될 때 진정한 친환경농업 시스템을 마련할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 지역농업연구사업 친환경농업 연구비사업단의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Copping, L. G. and Duke, S. O. (2007) Natural products that have been used commercially as crop protection agents, *Pest Manag. Sci.* 63, 524–554.
- Edelson, J. V., Duthie, J., and Roberts, W. (2002) Toxicity of biorational insecticides: activity against the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), *Pest Manag. Sci.* 58, 255–260.
- Immaraju, J. A. (1998) The commercial use of azadirachtin and its integration into viable pest control programmes, *Pest Manag. Sci.* 54, 285–280.
- Casanova, H., Ortiz, C., Peleáz, C., Valleio, A., and Moreno, M. E. (2002) Insecticide formulations based on nicotine oleate stabilized by sodium caseinate, *J. Agric. Food Chem.* 50, 6389–6394.
- Crombie, L. (1999) Natural product chemistry and its part in the defence against insects and fungi in agriculture, *Pestic. Sci.* 55, 761–774.
- Michereff-Filho, M., Torres, J. B., Andrade, L. NT, and Nunes, M. U. C (2008) Effect of some bio-rational insecticides on *spodoptera eridania* in organic cabbage, *Pest Manag. Sci.* 64, 761–767.
- Schnepf, E., Crockmore, N., Van Rie, J., Lereclus, D., Baum, J., Feitelson, J., Zeigler, D. R., and Dean, D. H. (1998) *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal crystal proteins, *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 62, 775–806.
- Lee, S. G., Choi, K. H., Lee, Y. S., Oh, K. S., O, J. H., and Choi, S. W. (2006) Insecticidal activities against major lepidopteran pests and culture condition of *Bacillus thuringiensis* sp. *aizawa* collected in Korea, *Kor. J. Pesti. Sci.* 10, 131–137.
- Roh, J. Y., Choi, J. Y., Li, M. S., Jin, B. R., and Je, Y. H. (2007) *Bacillus thuringiensis* as a specific, safe, and effective tool for insect pest control, *J. Microbiol. Biotechnol.* 17, 547–559.
- Bravo, A., Gill, S. S., and Soberón, M. (2007) Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control, *Toxicon.* 49, 423–435.
- Mordue (Luntz) A. J., Simmonds, M. S. J., Ley, S. V., Blaney, W. M., Mordue, W., Nasiruddin, M., and Nisbet, A. J. (1998) Actions of azadirachtin, a plant allelochemical, against insects, *Pestic. Sci.* 54, 277–284.
- Kraiss, H. and Cullen, E. M. (2008) Insect growth regulator effects of azadirachtin and neem oil on survivorship, development and fecundity of *Aphis glycines* (Homoptera: Aphididae) and its predator, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae), *Pest Manag. Sci.* 64, 660–668.
- Isman, M. B. (2001) Biopesticides based on phytochemicals, p. 1–12, In Koul, O. and Dhaliwal, G. S. (ed.), *Phytochemical biopesticides*, Harwood Academic Press, Amsterdam, The Netherland.
- Rich, R. P. (1996) Quinone binding sites of membrane proteins as targets for inhibitors, *Pestic. Sci.* 47, 287–296.
- Caboni, P., Sherer, T. B., Zhang, N., Taylor, G., Na, H. M., Greenamyre, J. T., and Casida, J. E. (2004) Rotenone, deguelin, their metabolites, and the rat model of Parkinson's disease, *Chem. Res. Toxicol.* 17, 1540–1548.
- Katsuda, Y. (1999) Development of and future prospects for pyrethroid chemistry, *Pestic. Sci.* 55, 775–782.
- Soderlund, D. M. (2008) Pyrethroids, knockdown resistance and sodium channels, *Pest Manag. Sci.* 64, 610–616.
- Millar, N. S. and Denholm, I. (2007) Nicotinic acetylcholine receptors: targets for commercially important insecticides, *Invert. Neurosci.* 7, 53–65.
- Isman, M. B. (2006) Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and increas-ing regulated world, *Annu. Rev. Entomol.* 51, 45–66.