

## 강원도 고랭지 배추경작지의 토양 및 수질 중 농약 오염 실태

박동식 · 김태한 · 김성수 · 이상민 · 김성문 · 허장현\*

강원대학교 농업생명과학대학 생물환경학부

**요약** : 강원도 고랭지의 주요 소득원 중 하나인 배추재배는 그 재배 면적과 생산량이 지속적으로 증가하고 있지만, 병해충 방제를 위하여 사용되는 농약으로 인한 고랭지 농업환경 오염가능성에 대한 우려도 높아지고 있다. 본 연구에서는 청정 강원도 고랭지 지역인 평창, 정선 및 태백지역의 배추경작지 토양과 수질 중 시기별 잔류농약의 오염 실태를 파악하고자 하였다. 각 지역에서 2002년 4월부터 10월까지 2개월 간격으로 토양 및 수질 시료 각각 240점과 84점을 채취하여 시료 중 농약 잔류량을 다성분 동시 스크리닝 분석법으로 분석하였다. 지역 및 시기별 잔류농약 조사 결과, 토양 중 농약의 잔류량은 평창 및 정선의 경우 18종의 농약이 0.004~0.412 mg kg<sup>-1</sup> 수준으로 검출되었으나, 평창의 횡계리에서 10월에는 농약이 전혀 검출되지 않았다. 태백의 경우에서도 검출농약의 종류가 다른 지역과 비슷하였으며, 4월, 6월 보다는 8월 및 10월에 0.002~0.663 mg kg<sup>-1</sup> 수준으로 검출되었다. 평창 및 정선에서는 살충제 endosulfan이 35%의 검출빈도를 보였으며, 태백에서 높은 검출빈도를 보인 약제로는 endosulfan이 최고 100%, 살균제 dimethomorph, diniconazole이 85%, 살충제 prothiofos와 살균제 fluazinam이 30% 이상 이었다. 또한 배추 경작지 미등록 농약 (diniconazole, alachlor, carbendazim, alpha-cypermethrin, carbofuran, prothiofos)들도 0.004~0.412 mg kg<sup>-1</sup> 범위로 조사되어 농약 오용의 실태를 확인할 수 있었다. 한편 채취된 모든 수질 시료에서는 농약이 검출되지 않아 토양 중 농약잔류가 수계오염에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 나타났다. (2004년 8월 17일 접수, 2004년 9월 23일 수리)

### 서 론

강원도 고랭지는 전체 고랭지 재배 면적의 79%를 차지하며, 연평균 기온이 낮고 습도가 높은 고랭지 특유의 기후적인 조건으로 배추 및 시금치와 같은 엽채류나 근채류 또는 양채류 등의 작물이 주로 경작되고 있다. 특히 배추는 1990년대 초부터 재배면적과 생산량이 매년 증가하는 추세이며, 이 지역 경작자들의 주요 소득원으로서 감자와 함께 고랭지 농업을 대표하고 있다(고령지농업시험장, 2002). 고랭지 배추 재배는 이 지역에서의 재배 적합성 및 꾸준한 생산의 증가로 농가소득 증대에 크게 기여하지만, 동일 작물의 연속재배로 인하여 다양한 병해충 발생과 이를 방제하기 위한 비용 증가가 큰 문제로 대두되고 있다. 강원도 고랭지 배추 경작자들은 병해충 방제를 위해 농약 사용을 가장 선호하는 것으로 나타났을 뿐만 아

니라(김 등, 1997), 미등록 약제의 사용, 농약의 안전 사용기준의 미준수 및 동일 계통약제의 연용 등 농약의 오·남용이 심각한 것으로 보고되고 있다(김 등, 2002; 송, 1995).

농약의 사용으로 생산량 증가라는 유익성을 보장받지만, 과다사용 및 연용은 경작지의 농약 잔류문제, 수계 유입으로 인한 지하수 및 하천 오염과 농약 저항성 병해충 및 잡초의 출현 등 다양한 문제를 야기할 수 있다. 그러나 이 지역에 대한 농약잔류 실태에 대한 연구 자료가 미흡하여 농약사용으로 인한 청정 재배지역의 오염과 관리방안 모색에 어려움이 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 다성분 동시 스크리닝 분석법을 이용하여 강원도 고랭지 배추경작지의 지역 및 재배 시기별 토양 및 수질 중 잔류농약 실태를 조사하여 향후 강원도 고랭지 배추 경작지의 올바른 농약 사용과 농업환경 오염방지를 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

\*연락처

## 재료 및 방법

### 다성분 분석 대상 농약

분석대상 농약은 국내에 등록되어 있고, MRL (maximum residue limit)이 설정된 농약을 선정하였으며, 분석기기는 GLC(ECD, NPD)와 HPLC(FLD, UVD)를 사용하였고, 분석조건은 표 1과 같았다. 이 조건하에서 농약의 머무름 시간을 기준으로 GLC/ECD 분석농약을 E1(alphamethrin 외 27성분), E2(acetamiprid 외 23성분) 및 E3(bromopropylate 외 21성분)로, GLC/NPD 분석농약은 N1(bitertanol 외 21성분), N2(amitraz 외 18성분) 및 N3(cyprodinil 외 18성분)로 각각 분류하였다. HPLC 분석농약은 UV detector 및 FL detector 사용농약으로 분류하여 각각 5종 및 6종을 포함, 총 145 성분을 분석대상으로 하였다(표 2). 회수율 실험 및 검량선 작성에 사용한 농약표준품은 90%이상 순도의 Dr. Ehrenstorfer사(독일) 및 WAKO사(일본) 제품을 사용하였다.

### 토양·수질시료의 채취 위치 및 경사도 측정

2002년 4월, 6월, 8월 및 10월에 강원도 고랭지 배추 경작지인 평창군(육백마지기, 황계리), 정선군(예미, 골지리) 및 태백시(매봉산, 귀네미골)의 농경지 및 농경지 주변 관개수와 하부 하천에서 GPS(global positioning system) 및 경사도계를 이용하여 3개 지역, 6개 sites에서 토양시료를 위해 10개, 수질 시료를 위해 3곳의 채취 지점을 선정하였고, 시기별로 일관성 있게 각각 240점, 84점을 채취하였다. 시료 채취 지점을 표고 별로 분류한 결과 평창 육백마지기의 2지점, 정선 골지리의 10지점이 표고 400~600 m인 준고랭지였고, 나머지 채취지점들은 표고 600 m 이상인 고랭지였다. 평창 황계리의 경우만 경사도가 평균 17.3~22.4%이었으며, 나머지 채취지점들은 모두 40%이상의 급경사를 이루고 있었다. 토양 시료는 토양 및 식물체 분석법에 준하여 일반분석을 하였으며(농촌진흥청, 2000), 물리화학적 특성은 표 3과 같았다.

Table 1. GC and HPLC operating conditions for pesticide analysis

|              | GC  | HPLC  |
|--------------|---|---|
|              | HP-6890 Plus with G2614A autosampler  | HP-1100 series  |
| Column       | DB-5 Capillary column (30 m×0.25 mm i.d.)   | Phenomenox (25 cm, particle size 5 µm, C <sup>18</sup> )  |
| Inlet        | Temperature : 250°C,<br>Injection volume : 1 µL, split.<br>Constant flow : 1.2 mL min. <sup>-1</sup>  | Injection volume : 10 µL  |
| Detector     | Electron capture detector<br>Temperature : 320°C<br>Make up (N <sub>2</sub> ) : 10 mL min. <sup>-1</sup><br>Nitrogen-phosphorus detector<br>Temperature : 320°C, Make up (N <sub>2</sub> ) : 10 mL min. <sup>-1</sup><br>Fuel gas (H <sub>2</sub> ) : 3.1 mL min. <sup>-1</sup><br>Air : 60 mL min. <sup>-1</sup> | UV-Visible detector<br>Wavelength : 220 nm<br>Fluorescence detector<br>Excitation : 286 nm<br>Emission : 316 nm   |
| Oven         | Total 40 min. : 130°C (2 min. hold)<br>→ increased at 7°C min. <sup>-1</sup> to 200°C<br>→ at 2°C min. <sup>-1</sup> to 220°C (4 min. hold)<br>→ finally at 10°C min. <sup>-1</sup> to 300°C (6 min. hold)  | 40°C  |
| Mobile phase | —   | H <sub>2</sub> O/acetonitrile (45/55, v/v)<br>: 0 min. ~5 min. ⇒<br>1.0 mL min. <sup>-1</sup><br>H <sub>2</sub> O/acetonitrile (30/70, v/v)<br>: 5.1 min. ~25 min. ⇒<br>1.3 mL min. <sup>-1</sup> |

Table 2. List of pesticides categorized by analytical instruments for multiresidue analysis in soil and water

| Analytical instrument | Pesticides  |
|-----------------------|---|
| GLC/ECD<br>(E1 group) | anilofos, alpha-cypermethrin, butachlor, chlorfenapyr, chlorfluazuron, cyfluthrin, dichlofluanid, difenoconazole, fenvalerate, fipronil, fluazinam, fonofos, hexaflumuron, imazalil, imibenconazole, iprodione, metobromuron, nuarimol, phosalone, pretilachlor, pyrazophos, pyridaben, tecloftalam, trafiluraloin, triadimefon, triflumizole, trifluralin, vinclozolin (28 pesticides) |
| GLC/ECD<br>(E2 group) | acetamiprid, acrinathrin,alachlor, bifenox, bifenthrin, chinomethionat, chlorfenson, cypermethrin, dichlobenil, dicofol, diniconazole, ethoprophos, fenarimol, flufenoxuron, tau-fluvalinate, folpet, isoprothiolane, metribuzin, oxadiazon, penconazole, phorate, probenazole, prochloraz, tralomethrin (24 pesticides)  |
| GLC/ECD<br>(E3 group) | bromopropylate, chlorothalonil, cyhalothrin, deltamethrin, dimethylvinphos, endosulfan, esfenvalerate, ethafluralin, etridiazole, fenpropathrin, fluoromide, linuron, nitralin, oxyfluorfen, permethrin, phthalide, procymidone, propanil, propargite, prothiofos, tetradifon, tolclofos-m (22 pesticides)  |
| GLC/NPD<br>(N1 group) | bitertanol, bromacil, cadusafos, chlorpropham, chlorpyrifos, clofentezine, cyproconazole, DDVP(dichlorvos), hexaconazole, hexazinone, IBP(iprobenfos), malathion, mefenacet, methidathion, myclobutanil, pendimethalin, prometryn, pyridaphenthion, quinalphos, simazine, tebufenpyrad, terbuthylazine (22 pesticides)  |
| GLC/NPD<br>(N2 group) | amitraz, azinphos-m, BPMP(fenobucarb), buprofezin, chlorpyrifos-m, dazomet, diazinon, EPN, isofenphos, isoprocarb, metalaxyl, napropamide, parathion, pirimicarb, pirimiphos-m, profenofos, propaquizafop, tebuconazole, triazophos (19 pesticides)   |
| GLC/NPD<br>(N3 group) | cyprodinil, demeton-s-m, dimethoate, edifenphos, fenbuconazole, fenitrothion, fenthion, flusilazole, isazofos, mepanipyrim, mevinphos, phenthoate, phosmet, piperophos, propamocarb hydrochloride, pyraclofos, terbufos, thiobencarb, tricyclazole (19 pesticides)  |
| HPLC/UV               | carbendazim, diflubenzuron, dimethomorph, imidacloprid, teflubenzuron (5 pesticides)  |
| HPLC/FL               | carbaryl, carbofuran, furathiocarb, isoprocarb, methiocarb, methomyl (6 pesticides)   |

Table 3. Physicochemical properties of the soils used in this study

| Regions            | pH <sup>a)</sup> | EC <sup>a)</sup>      | O.M. <sup>a)</sup>    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>a)</sup> | Ca <sup>a)</sup>            | K <sup>a)</sup> | Mg <sup>a)</sup> |
|--------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|---|-----------------------------|-----------------|------------------|
| Sites (ID)         | (1:5)            | (ds m <sup>-1</sup> ) | (g kg <sup>-1</sup> ) | (mg kg <sup>-1</sup> )                      | (cmol(+) kg <sup>-1</sup> ) |                 |                  |
| Pyeongchang        |                  |                       |                       |   |                             |                 |                  |
| Yukbaekmajigi (YK) | 5.27             | 0.64                  | 66.20                 | 875.70                                      | 3.83                        | 1.13            | 0.84             |
| Hoenggye-ri (HR)   | 5.72             | 0.35                  | 16.50                 | 794.80                                      | 3.02                        | 0.52            | 0.67             |
| Jeongseon          |                  |                       |                       |   |                             |                 |                  |
| Yemi (YM)          | 6.75             | 0.43                  | 35.70                 | 849.70                                      | 5.37                        | 1.00            | 1.73             |
| Golji-ri (GR)      | 5.64             | 0.61                  | 23.60                 | 1096.50                                     | 4.27                        | 1.07            | 0.67             |
| Taebaek            |                  |                       |                       |   |                             |                 |                  |
| Maebongsan (MS)    | 6.81             | 0.36                  | 55.70                 | 477.60                                      | 7.48                        | 1.90            | 1.74             |
| Guinmigol (GG)     | 5.85             | 0.38                  | 44.70                 | 416.50                                      | 5.92                        | 1.17            | 0.96             |

<sup>a)</sup>mean values of triplicates with 10 sampling sites at each region.

회수를 실험 및 토양·수질 시료의 다성분 잔류농약 분석

회수율 실험 : 각각의 표준품을 정량한 후 유기용매로 용해하여 1,000 mg kg<sup>-1</sup>의 stock solution을 조제하였다. 분석대상 농약의 혼합 표준용액 1,000 mg

kg<sup>-1</sup> 으로부터 4.0 mg kg<sup>-1</sup>과 2.0 mg kg<sup>-1</sup>용액을 조제하여 토양, 수질 시료에 각각 0.1, 0.002 mg kg<sup>-1</sup> 수준 처리 한 후 토양·수질 시료의 분석 방법과 동일하게 수행하여 회수율을 구하였다.

토양 · 수질 시료 분석

시료 중 잔류농약 분석은 그림 1과 같은 과정으로 추출, 정제 및 분석을 하였다. 분석대상 농약의 정성 분석은 분석기기상에 나타나는 토양 및 수질 시료와 표준품의 retention time을 비교하였고, 각 그룹에서 retention time이 같을 경우에는 mass spectrometer (Shimadzu QP-5000, Japan)를 이용하여 검정하였다. 본 실험에서 언급한 검출빈도는 농약의 검출 수를 시료

의 수로 나누고 100을 곱한 값으로 정의하였다.

결과 및 고찰

잔류분석법의 회수율

토양 · 수질 시료 중 농약의 회수율 : 분석법의 적합성을 판단하기 위해 토양 및 수질시료 중 회수율 실험을 상기 분석법에 준하여 수행하였다. 토양 중

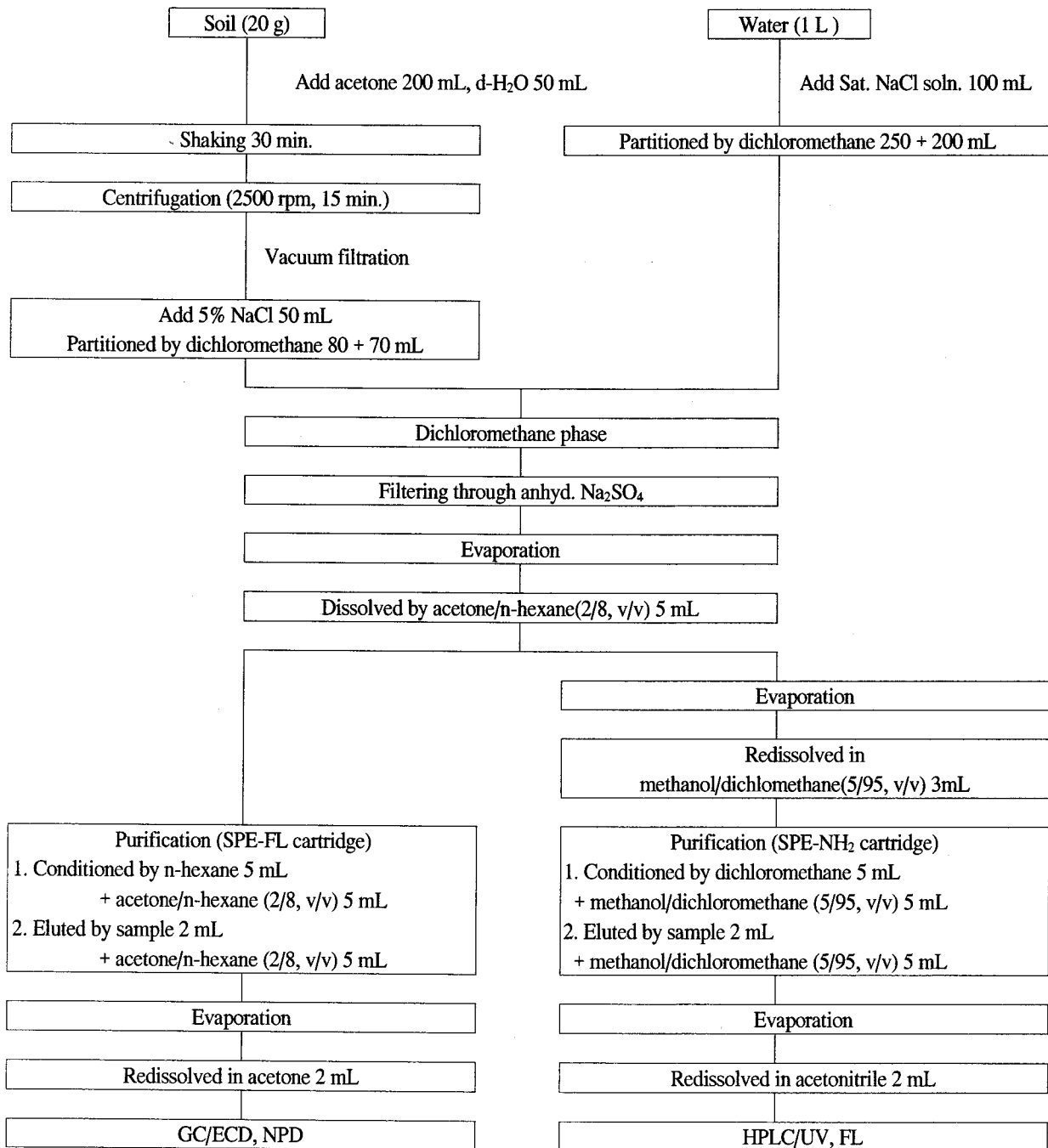


Fig. 1. A scheme for multiresidue analysis of pesticides in soil and water.

GC/ECD를 이용한 E1, E2 및 E3 그룹 농약에서는 각각 44.8~138.9%, 40.9~139.0% 및 46.7~139.0%의 회수율을 보였으며, 수질시료의 경우는 각각 49.0~129.8%, 42.0~132.5% 및 41.0~93.3%였다. 토양 시료 중 GC/NPD를 이용한 N1, N2, N3 그룹 농약의 회수율은 각각 47.0~102.6%, 45.0~95.9% 및 41.4~86.0%의 범위를 보였으며, 수질 시료의 경우는 각각 42.0~71.0%, 21.8~114.2% 및 39.6~93.4%의 회수율을 보였다. HPLC/UV, FL detector로 분석한 11성분 농약의 토양 및 수질 시료 중 회수율은 각각 75.1~93.7%와 74.8~101.3%로 회수율의 결과는 그룹별로 차이를 보였다. 분석대상 농약의 검출한계 및 최소 검출량의 범위는 GC의 경우 각각 0.002~0.2 mg kg<sup>-1</sup>, 0.02~0.5 ng; HPLC의 경우 각각 0.004~0.2 mg kg<sup>-1</sup>, 0.02~2 ng이

였다.

토양 · 수질 시료 중 지역 및 시기별 잔류농약

표 4는 강원도 고랭지 배추 경작지 및 시기별 검출 농약과 검출량을 나타내고 있으며, 표 5는 지역 및 시기별 농약의 검출빈도를 나타내고 있다.

평창 지역의 육백마지기에서는 4월과 6월 보다 경작시기인 8월 및 10월에 다소 다양한 농약들이 검출되었으며, 살충제 endosulfan과 살균제 dimethomorph 두 약제가 최고 45%의 검출빈도를 보였다. 이 지역에서의 검출 농약은 fluazinam 외 12종으로 0.004~0.412 mg kg<sup>-1</sup>의 범위를 보였다. 그러나 같은 지역의 황계리에서는 육백마지기에서 검출된 농약들이 10월에는 전혀 검출되지 않았고 4월, 6월 및 8월에 fluazinam의 6

Table 4. Pesticide residues in soil samples

| Regions            | Month (2004)   |  |   |  |
|--------------------|--|--|---|--|
|                    | Sites(ID)  | April  | June  | August   |
| <b>Pyeongchang</b> |  |  |   |  |
| YK                 | endosulfan (0.007~0.008) <sup>a)</sup><br>fluazinam (0.057)  | endosulfan (0.007~0.016)   | cypermethrin (0.054)<br>dimethomorph (0.043~0.048)<br>endosulfan (0.004~0.021)                                    | alpha-cypermethrin (0.044)<br>captan (0.412)<br>endosulfan (0.005~0.024)<br>esfenvalerate (0.007)<br>trifluralin (0.145)                 |
| HR                 | endosulfan (0.014~0.020)<br>fluazinam (0.160)<br>prothiofos (0.017~0.507)  | carbofuran (0.022)<br>dimethomorph (0.033)<br>endosulfan (0.006~0.019)                                     | carbofuran (0.034)<br>chlorfenapyr (0.037~0.112)<br>dimethomorph (0.034)<br>isoprocarb (0.023)<br>linuron (0.011) | ND <sup>b)</sup>   |
| <b>Jeongseon</b>   |  |  |   |  |
| YM                 | cypermethrin (0.095)<br>endosulfan (0.016~0.023)<br>fluazinam (0.040)  | alachlor (0.053~0.056)<br>dimethomorph (0.057)<br>endosulfan (0.006~0.007)                                 | alachlor (0.035~0.080)<br>cypermethrin (0.056)<br>endosulfan (0.006~0.015)<br>prothiofos (0.033)                  | alpha-cypermethrin (0.052)<br>dimethomorph (0.028)<br>diniconazole (0.082~0.269)<br>endosulfan (0.051~0.133)<br>prothiofos (0.024~0.098) |
| GR                 | alpha-cypermethrin (0.076~0.087)<br>cypermethrin (0.057~0.065)<br>endosulfan (0.005~0.024)<br>imidacloprid (0.063)<br>prothiofos (0.022) | carbendazim (0.108)<br>dimethomorph (0.052~0.286)<br>endosulfan (0.007~0.008)<br>procymidone (0.040~0.147) | carbofuran (0.022)<br>dimethomorph (0.033~0.062)<br>endosulfan (0.006~0.019)<br>procymidone (0.147)               | endosulfan (0.010~0.033)<br>dimethomorph (0.039~0.337)   |

Table 4. Continued

| Regions        | Month (2004)   |  |   |   |
|----------------|--|--|---|---|
|                | Sites(ID)  | April  | June  | August  |
| <b>Taebaek</b> |  |  |   |   |
| MS             | alpha-cypermethrin (0.045~0.158)<br>cypermethrin (0.034~0.041)<br>diniconazole (0.064)<br>endosulfan (0.009~0.202)<br>esfenvalerate (0.019)<br>fluazinam (0.126~0.425)<br>prothiofos (0.028~0.095) | alachlor (0.053)<br>carbendazim (0.076~0.111)<br>dimethomorph (0.085~0.149)<br>diniconazole (0.064~0.104)<br>endosulfan (0.06~0.1) | carbendazim (0.076~0.111)<br>carbofuran (0.016)<br>cypermethrin (0.101)<br>dimethomorph (0.062~0.326)<br>diniconazole (0.051~0.161)<br>endosulfan (0.056~0.380)<br>esfenvalerate (0.030)<br>flufenoxuron (0.094)<br>fluralinate (0.028)<br>procymidone (0.078)<br>prothiofos (0.019~0.049)<br>teflubenzuron (0.054) | carbendazim (0.663)<br>chlorfluzuron (0.030)<br>dimethomorph (0.055~0.515)<br>diniconazole (0.047~0.199)<br>endosulfan (0.009~0.183)<br>esfenvalerate (0.01~0.011)<br>prothiofos (0.021~0.149)  |
| GG             | dimethomorph (0.262~0.678)<br>diniconazole (0.076~0.224)<br>endosulfan (0.007~0.065)<br>fluazinam (0.053~0.137)  | dimethomorph (0.039~0.192)<br>diniconazole (0.065~0.161)<br>endosulfan (0.09)  | carbendazim (0.108)<br>carbofuran (0.029)<br>dimethomorph (0.039~0.286)<br>diniconazole (0.065~0.093)<br>endosulfan (0.008~0.151)<br>ethafluralin (0.002)<br>isoprocarb (0.038)<br>procymidone (0.04)<br>prothiofos (0.035~0.282)   | carbaryl (0.063)<br>carbendazim (0.061~0.129)<br>cypermethrin (0.031~0.063)<br>dimethomorph (0.055~0.404)<br>diniconazole (0.056~0.272)<br>endosulfan (0.012~0.129)<br>esfenvalerate (0.016~0.027)<br>isoprocarb (0.013)<br>permethrin (0.033)<br>teflubenzuron (0.025~0.046) |

a) mg kg<sup>-1</sup>, b) not detected.

중이 0.006~0.507 mg kg<sup>-1</sup> 수준으로 검출되었다. 이는 황계리의 표고가 (평균 798.7 m) 육백마지기 (평균 1081.4 m)보다 낮기 때문에 재배 적정온도를 감안하여 같은 지역이라도 배추 정식 및 재배시기에 따른 발생 병해충 및 사용 농약이 다르기 때문인 것으로 판단된다.

정선 지역의 예미에서도 평창의 육백마지기과 유사하게 4월, 6월 보다는 8월 및 10월에 다양한 농약이 검출되었으며, 살충제 endosulfan, cypermethrin과 살균제 dimethomorph, diniconazole 및 제초제 alachlor가 20~50%의 검출빈도와 0.006~0.095 mg kg<sup>-1</sup>의 검출범위를 보였다. 그러나 골지리에서는 특정시기 보다는 모든 채취시기 및 채취지점에서 예미에서 검출된 농약 이외에 다소 다양한 농약들(살충제: imidacloprid, prothiofos, carbofuran과 살균제: carbendazim, procymidone)이 예미와 비슷한 수준으로 검출되었다. 이러

한 결과 역시 두 지역의 표고차이에 따른 재배시기의 상이함과 방제대상 병해충 및 사용농약이 서로 다른 것에 기인하는 것으로 판단된다. 그러나 이 지역 특성 중의 하나인 경사도는 시료 채취지역별로 다소 차이는 있었으나 잔류농약의 일반적인 경향에 영향을 주지 않는 것으로 확인되었다.

태백지역에서의 농약 검출 경향은 평창 및 정선과 유사하였으며, 채취 시기별로는 매봉산의 경우 8월, 귀네미골의 경우 10월이 4월 및 6월보다 더욱 다양한 농약들이 검출되었다. 매봉산에서 carbendazim의 16종이 0.009~0.663 mg kg<sup>-1</sup>수준으로 검출되었으며, 귀네미골에서는 dimethomorph의 14종이 0.007~0.282 mg kg<sup>-1</sup>범위로 검출되었다. 태백에서는 endosulfan, diniconazole과 dimethomorph가 85%이상으로 다른 지역보다 높은 검출빈도를 보였다. 그 외에도 살충제 prothiofos와 살균제 fluazinam이 30%의 검출 빈도를 나타냈다.

Table 5. Detection frequencies of pesticides in soil samples

| Regions     | Month (2004)  |   |  |  |
|-------------|---|---|--|--|
|             | April   | June  | August   | October  |
| Pyeongchang | endosulfan (20) <sup>a)</sup><br>fluazinam (10)<br>prothiofos (10)  | endosulfan (45)<br>dimethomorph (10)<br>carbofuran (5)  | endosulfan (35)<br>dimethomorph (15)<br>chlorfenapyr (10)<br>carbofuran (5)<br>cypermethrin (5)<br>isoprocarb (5)<br>linuron (5)   | endosulfan (35)<br>alpha-cypermethrin (5)<br>captan (5)<br>cypermethrin (5)<br>esfenvalerate (5)<br>trifluralin (5)  |
| Jeongseon   | endosulfan (35)<br>cypermethrin (15)<br>alpha-cypermethrin (10)<br>fluazinam (5)<br>imidacloprid (5)<br>prothiofos (5)  | dimethomorph (20)<br>endosulfan (20)<br>alachlor (10)<br>procymidone (10)<br>carbendazim (5)  | alachlor (30)<br>endosulfan (30)<br>dimethomorph (15)<br>carbofuran (5)<br>cypermethrin (5)<br>procymidone (5)<br>prothiofos (5)   | endosulfan (50)<br>dimethomorph (20)<br>diniconazole (20)<br>prothiofos (15)<br>alpha-cypermethrin (5)   |
| Taeback     | endosulfan (90)<br>fluazinam (30)<br>prothiofos (20)<br>alpha-cypermethrin (15)<br>diniconazole (15)<br>cypermethrin (10)<br>dimethomorph (10)<br>esfenvalerate (5) | diniconazole (45)<br>dimethomorph (35)<br>endosulfan (30)<br>carbendazim (15)<br>alachlor (5) | endosulfan (100)<br>diniconazole (85)<br>dimethomorph (85)<br>prothiofos (55)<br>carbendazim (20)<br>carbofuran (10)<br>procymidone (10)<br>cypermethrin (5)<br>esfenvalerate (5)<br>flufenoxuron (5)<br>fluvalinate (5)<br>procymidone (5)<br>teflubenzuron (5) | dimethomorph (80)<br>endosulfan (65)<br>diniconazole (55)<br>carbendazim (25)<br>esfenvalerate (25)<br>prothiofos (15)<br>cypermethrin (10)<br>teflubenzuron (10)<br>cabaryl (5)<br>chlorofluzuron (5)<br>isoprocarb (5)<br>permethrin (5) |

<sup>a)</sup>% of detection frequency.

이러한 결과는 이 지역이 다른 지역보다 병해충 방제를 위하여 다양한 농약을 사용했을 가능성과 토양 중 농약 잔류성에 영향을 주는 주된 요인 중의 하나인 유기물 함량의 차이로 설명할 수 있었다(El-Kabbany *et al.*, 2000). 표 3에서 보는바와 같이 태백 지역 토양의 유기물 함량이 육백마지기를 제외한 다른 3 지역(평창군 횡계리; 정선군 예미, 골지리)보다 높으므로 많은 양의 농약사용으로 지속적인 토양에의 농약 흡착이 이루어졌기 때문에 다른 2개의 지역보다 더욱 다양한 농약들이 모든 채취시기 및 채취지점에 걸쳐 검출된 것으로 사료되었다.

수질 시료의 경우 정선의 예미 지역과 태백의 귀네미골에서는 가뭄으로 인해 4월, 6월 및 10월에 시료를 채취할 수 없었고, 시기별로 채취가 가능했던 모든 지역의 수질 시료에서는 농약이 검출되지 않았다. 이는 8월의 장마기간 동안 농약이 수계로의 이동 중 많은 양이 희석되어 검출되지 않았을 것이라 판단되며, 8월을 제외한 기간은 비경작시기로 농약사용의

제한과 가뭄으로 인해 농약의 이동이 용이하지 않았기 때문인 것으로 사료된다.

강원도 고랭지 배추 경작지에서 배추 파종 및 정식 전과 생육 시에 해충 방제용으로 살포하는 유기염소계 살충제 endosulfan이 모든 시료 채취지역과 모든 시기에 검출되었고, 또한 가장 높은 검출 빈도를 보였다. 이는 이 약제의 사용이 가장 빈번하였음을 말해 주는 것이며, 이것은 이 지역 특성으로 알려진 동일 작물의 연속재배에 따른 해충 발생이 심각하다는 김 등(2002)의 연구보고와 연관성이 있는 것으로 판단된다. 또한 이 약제의 물리화학적 특성상 작물에서의 반감기는 3~7일이나 토양 중 반감기는 60일에서 800일인 것을 감안한다면(TomLin, 2000), 이 약제의 사용이 실험 당해 연도 뿐만 아니라 매년 연용에 의해 토양 중 집적되어 높은 검출빈도 및 검출량을 나타내었을 것으로 판단된다.

2002년 기준으로 배추 경작지 등록약제(농약공업협회, 2002) 이외의 농약도 다량 검출되었다. 평창, 정선

및 태백에서 검출된 미등록 약제로 가장 높은 검출빈도를 보인 것은 이 지역 경작자들이 선호하는 살균제로 결구형성을 강화시키는 diniconazole 외에도 alachlor 및 살균제 carbendazim 등으로 검출빈도가 각각 85, 30, 25% 이었으며, 10% 이상의 검출빈도를 보인 미등록 약제들 또한 다양하였다(alpha-cypermethrin, carbofuran, prothiofos). 8월 및 10월에 미등록약제들이 다량 검출된 것은 시기적으로 배추 정식 전에 사용한 것이 아니라 재배 중 발생하는 병해충 방제와 출하시 상품성을 높이기 위하여 사용한 것으로 사료되며, 이러한 미등록 약제들의 높은 검출빈도는 이 지역 농약 오용의 실태를 보여주는 것이라 하겠다.

농약의 잔류성은 경작자들이 선호하여 사용을 지속적으로 하는 농약의 소비 경향과 환경 중 농약의 소실율에 크게 의존하게 되는 것으로 알려져 있다(Harner *et al.*, 1999). 따라서 김 등(2002)이 보고한 이 지역 배추 경작자들이 선호하는 살충제(에이팜® : emamectin benzoate, 피레스® : cypermethrin, 파밤탄® : lufenuron), 살균제(빈나리® : diniconazole, 다이센엠-45® : mancozeb, 일폼® : oxolinic acid) 및 제초제(그라목손® : paraquat dichloride, 근사미® : glyphosate, 뉴원싸이드® : fluazifop-P-butyl) 중 본 실험을 통해 확인된 검출농약과 비교해 본 결과 diniconazole의 경우 정선 예미에서 0.082~0.269 mg kg<sup>-1</sup>범위로 20%의 검출빈도를 보였으며, 태백 배봉산 및 귀네미골에서 85%의 높은 검출빈도와 0.047~0.224 mg kg<sup>-1</sup>수준으로 검출되었으나 평창 2개 지역과 정선의 골지리에서는 검출되지 않았다. Cypermethrin의 경우 3개 지역 모두에서 5~10%의 검출빈도와 0.031~0.10 mg kg<sup>-1</sup>범위로 검출되어 선호약제와 검출빈도 및 검출량은 밀접한 관계가 있음을 시사해 주고 있다. 그러나 에이팜® (토양 박테리아 추출물)과 같이 천연물 소재 농약이거나 그라목손®과 파밤탄®의 경우처럼 토양에 강하게 흡착되거나 또는 전처리가 복잡한 근사미®와 같은 농약들은 일반 분석법으로 검출되지 않을 것이며, 다이센엠-45®과 뉴원싸이드®와 같이 현대농업이 요구하는 고효율, 저잔류 특성을 갖는 약제들은 환경 중 자연적 또는 빠른 분해성으로 검출되지 않을 것으로 사료되며 이러한 약제들에 대한 연구가 요구 된다.

본 연구를 더욱 지속적으로 확대 실시하여 이 지역의 농약오염 실태에 대한 자료를 체계적으로 확보하는 것이 필요하다고 판단되며, 이러한 잔류농약 실태 결과들을 농민, 관계기관 및 산업체에서 활용한다면, 경사도가 높은 강원도 고랭지에서 사용하기 적합한 농약의 선정과 함께 저농약 투입을 유도할 수 있을 것이라 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 농업특정연구과제인 '고랭지 경사지 토양의 농약오염특성 및 농약투입저감방안'의 일환으로 수행되었습니다. 연구비를 지원해준 농촌진흥청에 깊은 감사를 드립니다.

## 인용문헌

- El-Kabbany, S., M. M. Rashed and M. A. Zayes (2000) Monitoring of the pesticide levels in some water supplies and agricultural land, in El-Haram, Giza(A.R.E.). *J. Hazardous Materials*. 72:11~21.
- Harner, T., J. L. Wideman, L. M. M. Jantunen, T. F. Bidleman and W. J. Parkhurst (1999) Residues of organochlorine pesticides in Alabama soils. *Environ. Poll.* 106:323~332.
- TomLin, C. D. S. (2000) The pesticide manual. The British Crop Protection Council. p.1250.
- 고령지농업시험장 (2002) 고령지 채소재배기술. 개정판. p.561.
- 김성문, 이석중, 허장현, 한 대성, 신현포 (1997) 고냉지 감자경작지의 잡초방제법. 문화출판사. p.68.
- 김성문, 최해진, 김희연, 이동경, 김태한, 안문섭, 허장현 (2002) 강원도 고냉지대 배추 경작자들의 농약 사용 실태. *한국농약과학회지* 6(4):250~256.
- 농약공업협회 (2002) 농약사용 지침서. p.911.
- 농촌진흥청 (2000) 토양 및 식물체 분석법. p.202.
- 송승석 (1995) 배추좀나방의 약제 방제상 문제점과 대책. 여름배추의 피해가 늘어나고 있다. *농약정보*. 5·6월호. 농약공업협회. pp.27~29.



---

**Monitoring of pesticide residues at alpine and sloped-land in Gangwondo, Korea**

Dong-Sik Park, Tae-Han Kim, Seong-Soo Kim, Sang-Min Lee, Songmun Kim and Jang-Hyun Hur\* (*Division of Biological Environment, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Republic of Korea*)

**Abstract** : Alpine and sloped-land in Gangwondo, Korea is the most important land type for cultivation of Chinese cabbage. However, farmers in these regions have major problems with insect pests, weeds and disease. Over use or inappropriate use of agrochemicals occurs frequently. No intensive study of pesticide contamination in this area has been done. The work presented in this paper addresses this deficiency. We measured pesticide residues within soil and water samples using multiresidue analysis. Samples were collected bimonthly from April to October, 2002 at three sites with 10 sampling spots. At the three sites, Pyeongchang, Jeongseon and Taebaek, pesticides most frequently detected (>30% of samples) in soil samples were endosulfan, fluazinam, diniconazole, alachlor, prothiofos and dimethomorph. The amount of pesticide residues in the soils was ranged from 0.004 to 0.412 mg kg<sup>-1</sup> in these samples. Non-registered pesticides were also detected in these samples, indicating illegal use of pesticides. No pesticide were detected in the water samples collected from those sites. The results showed that pesticide residues might be dependant on physiochemical properties of pesticides, application history and soil properties. This study provides basic data for appropriate pesticide use on alpine and sloped-land in Korea.

**Key Words** : alpine and sloped-land, multiresidue analysis, Chinese cabbage, pesticide residues.

---

\*Corresponding author (Fax : +82-33-241-6640, E-mail : jhhur@kangwon.ac.kr)