



Absorption of soil residual azoxystrobin to lettuce

Min-Gi Kim¹ · Kyu-Won Hwang¹ · Eun-Jung Hwang¹ · Soo-Cheol Yoo¹ · Joon-Kwan Moon¹

상추 재배토양 중 잔류 Azoxystrobin의 작물흡수

김민기¹ · 황규원¹ · 황은정¹ · 유수철¹ · 문준관¹

Received: 21 August 2017 / Accepted: 21 September 2017 / Published Online: 31 December 2017
© The Korean Society for Applied Biological Chemistry 2017

Abstract This study was conducted to investigate the residual level and the amount of transfer to lettuce grown in field condition treated with the 5-methyl-1,2,4-triazolo[3,4-b][1,3]benzothiazole (Azoxystrobin). The field trials on lettuce were carried out at two different green houses located in Gwangju (Field 1) and Yongin (Field 2). Soil and lettuce samples were collected at different days after soil treatment of azoxystrobin with two different concentrations, respectively. Average recoveries for azoxystrobin ranged from 86.9 to 113.6% from soil and lettuce with the variation coefficient of 0.1-4.6%. The initial concentrations of azoxystrobin in Gwangju soil were 9.20, 11.00 mg/kg and decreased to 1.36, 2.70 mg/kg at 43 DAT (days after treatment) in field 1, while 1.06, 2.23 mg/kg decreased to 0.20 and 0.67 mg/kg at 36 DAT in field 2, respectively. The half-lives of azoxystrobin were about 19.4 and 23.3 days for the low and high concentration of azoxystrobin treated soils in field 1 and 11.5 and 17.8 days in field 2 soils, respectively. Residue levels of azoxystrobin in lettuce were not detected in field 1 and field 2 soils, respectively.

Keywords Absorption · Azoxystrobin · Fungicide · Lettuce · Residue

Joon-Kwan Moon (✉)
E-mail: jkmoon@hknu.ac.kr

¹Department of Plant Life and Environment Sciences, Hankyong National University, 327 Jungang-ro, Anseong17579, Republic of Korea

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

5-methyl-1,2,4-triazolo[3,4-b][1,3]benzothiazole (Azoxystrobin)은 strobilurin계 침투 이행성 약제로서(Table 1), 포자의 발아 및 균사의 성장을 억제하고 항염증 활성을 나타낸다(Turner 2015). Strobilurin계의 작용기작은 병원균의 호흡작용을 담당하는 세포 내 소기관인 미토콘드리아에 영향을 주어 호흡을 저해하고(Kim 등, 2006), 전자전달을 차단해 ATP 생성을 정지시킴으로써 에너지결핍을 초래하여 살균효과를 보이는 것으로 보고되고 있다(Fernández-Ortuño 등, 2008).

국내에서는 현재 인삼, 양파, 감귤 등의 잿빛곰팡이병과 양파, 포도 등의 노균병, 상추 중 흰가루 병에 사용 등록되어 우수한 방제효과를 나타내고 있으며(Lee 등, 2007; KCPA 2016), 작물이 아닌 골프장 잔디의 살균제로서 많이 사용되고 있다. 상추에 대한 농약잔류허용기준(maximum residue limit, MRL)은 20 mg/kg 으로 설정되어 있다(Ministry of Food and Drug Safety 2016). 국립 농산물 품질관리원의 안전성 조사에 따르면 2007년 11건, 2009년 2건, 2010년 2건 총 15건 부적합 판정을 받은 이력이 있으며, 작물의 경우 2011-2016년까지 부적합 판정이 0건이었지만(National Agricultural Quality Service 2017), 토양의 경우 2014-2016년까지 골프장 토양내에 0.55-1.0239 mg/kg으로 검출되고 있다(INHEN 2016). 부적합 및 검출빈도가 높은 요인으로는 작물체에 과량의 농약을 살포하거나, 이전 경작 작물에 살포된 농약이 잔류되어 후작물에 영향을 미치는 경우가 있는데 살포된 농약이 작물체에 잔류할 수 있는 경로로는 직접적으로 작물에 살포되어 약제가 부착되거나 흡수 이행되는 경우외에 작물에 살포된 농약이 토양 중으로 낙하, 또는 토양에 직접처리되어 토양 중 잔류하는 농약이 작물의 뿌리를 통해 작물체내로 흡수 이행되는 경우가 있다(Collins 등, 2006; Juraske 등, 2009). 작물에 살포된 농약은 작물체 표면의 특성에 따라 작물체내로 급속히 흡수되어 대부분의 체관액과 함께

Table 1 Physico-chemical properties of azoxystrobin (Tomlin 2015)

Common name	: Azoxystrobin
IUPAC name	: Methyl(E)-2{2-[6-(2-cyanophenoxy)pyrimidin-4-ylmethoxy]phenyl}-3-methoxyacrylate
Molecular weight	: 403.4
Molecular formula	: C ₂₂ H ₁₇ N ₃ O ₅
Vapor pressure (mPa)	: 1.1×10 ⁻⁷ (20 °C)
Melting point	: 116 °C (Tech., 114-116 °C)
log K _{ow}	: 2.5 (20 °C)
Solubility	: In water 6 mg/L (20 °C). In hexane 0.057, n-octanol 1.4, methanol 20, toluene 55, acetone 86, ethyl acetate 130, acetonitrile 340, dichloromethane 400 (all in g/L, 20 °C)

이행될 수 있다고 알려져 있다(Charles 2004). 또한, 토양에 잔류된 농약의 흡수 이행은 토양 입자상호간의 물리 화학적 특성 과도 매우 밀접한 관련이 있으며(Kim 등, 1997), 토양 보유 수 분이나 기상환경 및 관수시 토양층을 통과하는 물과 함께 이동하게 되고, 이동 중 농약이 토양에 흡착되는 성질에 따라 다른 이동속도를 보인다(Van Genuchten 등, 1986; Lee 2010). 이렇게 잔류된 농약은 토양수분과 함께 작물의 뿌리 및 줄기등과 같은 지하부 기관으로 부분 확산 및 흡수되어 물관부를 따라서 작물체내로 이행될 가능성이 있다. 친환경 유기농 재배산물에서 농약이 검출되어 부적합 판정받는 사례들 대부분이 작물에 살포된 농약이 토양 층으로 낙하되어 잔류된 토양잔류농약의 일부가 후작물로 흡수 이행되어 잔류량에 영향을 끼친다고 보고되었다(Paterson 등, 1994; Park 등, 2004; Kim 등, 2011; Ahn 등, 2012).

국내에서 주로 사용되고 있는 농약의 토양 반감기는 30일이 내 이지만, 반감기가 180일을 넘거나 그 이하일지라도 사용한 농약이 다음 후작물에 흡수될 우려가 있다(Kam 등, 1999). Azoxystrobin의 토양 반감기는 호기성 토양에서는 112일, 혐기 조건 토양에서는 119일로 보고되어 있어(Chungnam Center for Farmers Safety & Health 2017) 해당농약이 후작물에 흡수될 우려가 있을 것으로 판단된다.

상추와 같은 엽채류의 경우 과수작물과 다르게 토양에 잔류된 농약이 뿌리로 흡수 이행되면 짧은기간내에 가식부에 도달하여 식품 안전성에 영향을 줄 수 있다(Jeon 등, 2014). 따라서 토양, 작물특성 및 농약의 물리화학적 특성을 고려한 재배 환경 중 토양잔류농약의 작물흡수 및 잔류량 연구는 오염지 재배 농산물의 안전성확보를 위해서 매우 중요하다.

본 연구에서는 재배가 쉽고 많이 재배되는 상추를 대상으로, 살균제 azoxystrobin의 흡수이행양상을 구명하고자 약제가 살포

된 토양에 상추를 재배하고 수확 시 상추 중 잔류량을 확인하여, 안전농산물생산을 위한 토양 중 azoxystrobin의 잔류기준을 제안하는 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

시약, 재료 및 기구

Azoxystrobin 표준품(순도 99.4%)은 Sigma-Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO, USA)로부터, acetone, acetonitrile, dichloromethane, n-hexane은 HPLC급을 Brudick& Jackson Inc. (Muskegon, MI, USA)으로부터 구입하여 사용하였다. Sodium chloride (EP급)와 무수 sodium sulfate (GR급)는 삼전순약공업(Pyeongtaek, Korea)에서 구입하였다.

채취한 상추 시료는 NFM-8860 Mixer (NYC, Seoul, Korea)를 이용하여 마쇄하였고, 시료 추출액, 분배, 정제에 사용된 유기용매는 감압농축기(N-110S, EYELA, Tokyo, Japan) 또는 질소농축기(Hurricane-Lite, Cheongmin Tech, Seoul, Korea)를 이용하여 농축하였다. 야외시험용 농약제품은 azoxystrobin 21.7% 액상수화제로 신젠타코리아(주)(Seoul, Korea)의 제품(‘오티바’)을 사용하였다.

공시 작물 및 농약처리

공시 농작물인 상추는 ‘청치마’ 품종(아시아종묘(주), Seoul, Korea)으로, 경기도 광주시(시험포장 GLT) 및 용인시(시험포장 YLT)에 위치한 시설재배 하우스에서 로타리 작업으로 토양을 균질화하고, 상추를 20 cm×20 cm의 재식밀도로 파종하여 재배하였다. 토양 중 azoxystrobin의 처리는 파종전 azoxystrobin 21.7% 액상수화제를 시험포장 1 (Gwangju, Korea, soil 1)의 경우, 16.6 g (GLT 1) 및 33.2 g (GLT 2)을 5 L의 물에 녹여 2.5×4 m의 토양표면에 고르게 살포하였고, 시험포장 2 (용인, soil 2)의 경우 각각 2.8 g (YLT 1) 및 5.5 g (YLT 2)을 2 L의 물에 녹여 2.2×2.4 m의 토양 표면에 고르게 살포하였다.

시료 채취

토양시료는 농약살포 3시간후를 0일로하여 GLT의 경우 0, 7, 14, 25, 35, 39, 43 일차에 채취하였으며, YLT의 경우 0, 7, 14, 22, 28, 36 일차에 채취하였다. 채취한 토양은 즉시 음건하여 2 mm체로 친 후 분석에 사용하였다. 상추 시료는 GLT의 경우 35, 37, 39, 41, 43일차에, YLT의 경우 22, 25, 28, 32일차에 채취하였다. 상추 시료는 채취 후 시료가 상하지 않을 정도의 유속의 흐르는 물로 외부에 부착된 농약을 세척하고 뿌리를 제거한 지상부 무게를 측정 후 드라이아이스를 첨가하여 믹서기로 균질하게 분쇄하였다. 토양 및 작물시료는 분석 전까

Table 2 Characteristics of soils used

Sample	Texture	Particle distribution(%)			pH	EC ^{a)} (dS/m)	OM ^{b)} (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable cations (cmol/kg)		
		Sand	Silt	Clay					Ca	K	Mg
Soil 1	Sandy loam	76.1	18.9	5.0	5.1	6.80	13	1333	9.5	2.7	0.95
Soil 2	loam	42.0	45.5	12.5	5.8	10.39	19	1107	18.9	4.3	1.75

^{a)}EC (Electro Conductivity)

^{b)}OM (Organic matter)

Table 3 HPLC operation condition for the analysis of azoxystrobin in soil and lettuce

Instrument	: Agilent 1100 series
Detector	: Photo-Diode Array Detector (DAD)
Column	: Kinetex C18 (4.6×250 mm, 5 μm particle size)
Mobile Phase	: A (water), B (acetonitrile) A/B=45/55
Flow rate	: 1.0 mL/min
Wavelength	: 230 nm
Injection volume	: 10 μL
Retention time	: 6.64 min

지 -20 °C 냉동고에 보관하였다. 포장시험 중 하우스 내의 온도 및 습도는 data logger (EL-USB-2-LCD, LASCAR, Kowloon, Hong Kong)를 설치하여 기록하였다.

잔류분석 HPLC 기기 조건

시료 중 잔류 azoxystrobin은 Photo-Diode Array Detector (DAD)가 장착된 Agilent 1100 series HPLC (Agilent, Santa Clara, CA, USA)를 이용하여 분석하였고, 기기 조건은 Table 3와 같다.

표준검량선 작성

Azoxystrobin 표준품 100.60 mg을 칭량하여 100 mL 정용플라스크에 넣고 acetonitrile로 정용하여 1,000 mg/L 농도 표준용액을 조제하였다. 이를 acetonitrile로 단계적으로 희석하여 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 및 10.0 mg/L의 표준용액을 제조한 후 각각 일정량(10 μL)을 분석기기에 주입하여 나타난 크로마토그램상 면적을 기준으로 일차식의 검량선을 작성하였다.

시료 중 azoxystrobin의 잔류분석을 위한 전처리

토양 시료 20 g을 취하여 증류수 30 mL를 가하고 1시간 정지한 후(상추의 경우 10 g을 취하여 바로 추출) 100 mL의 acetone을 첨가하여 진탕기로 200 rpm으로 30분간 추출하였다. 추출물을 Büchner funnel로 흡인여과하고 30 mL acetone으로 잔사 및 용기를 씻어내려 앞의 여액과 합하였다. 여액을 500 mL 분액여두에 옮기고 20 mL의 포화식염수와 80 mL의 증류수를 차례로 가한 후 dichloromethane 70 mL로 총 2회 분배 추출하였다. Dichloromethane 분배 추출액을 20 g의 anhydrous sodium sulfate에 통과시켜 수분을 제거하고 40 °C 수욕상에서 감압농축, 건조한 후 5% acetone/hexane (5/95, v/v) 2 mL로 재용해하여 정제과정에 사용하였다. n-Hexane 5 mL로 활성화 시킨 SPE-FL (1 g)에 재용해된 시료 용액을 적하하고, 10 mL의 5% acetone/hexane (5/95, v/v)으로 불순물을 씻겨 흘려주고, 10 mL의 30% acetone/hexane (30/70, v/v)으로 azoxystrobin을 용출시켜 모은 용출액을 질소건고 하였다. 건고 후 잔사를 acetonitrile 4 mL (상추의 경우, 2 mL)로 재용해하여 각각 10.0 μL씩 HPLC-DAD에 주입하여 나타난 크로마토그램상의 피크면적을 표준검량선과 비교하여 잔류량을 산출하였다(Fig. 1).

토양 및 상추 중 azoxystrobin의 회수를 시험

Azoxystrobin 표준용액 10.0 mg/L을 각각 무처리 토양시료 20

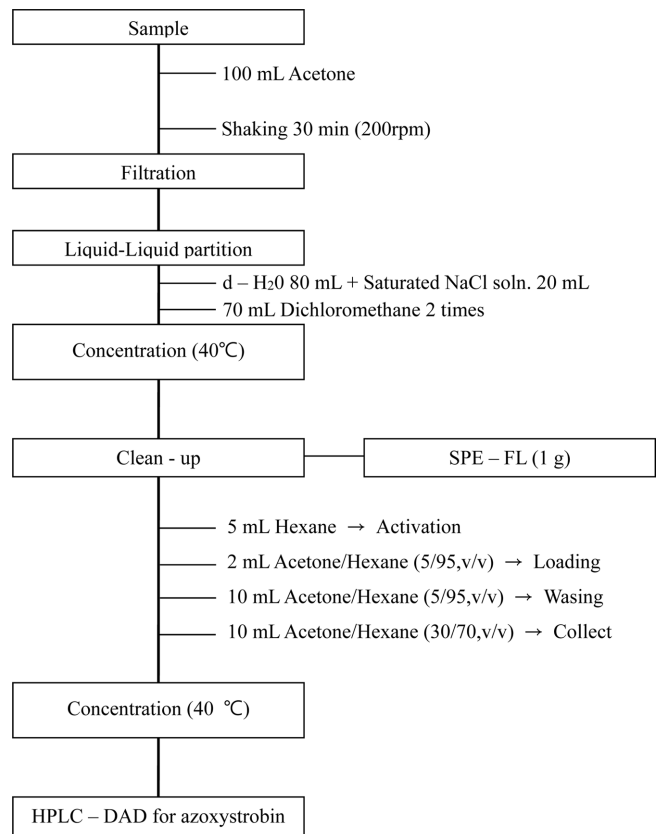


Fig. 1 Diagram of azoxystrobin residue analysis procedure from soil and lettuce

g에 0.4 및 2.0 mL, 무처리 상추 10 g에 0.2, 1.0 mL 첨가하여 각각의 0.2 및 1.0 mg/kg 수준이 되게 처리한 후 위의 잔류분석 방법으로 추출, 정제한 후 HPLC-DAD로 분석하여 회수율을 계산하였다.

토양 중 반감기 산출

일차별 토양 시료 중 농약잔류량의 평균치로 경과일수에 따른 잔류량을 $C_t = C_0 e^{-kt}$ (C_t : 잔류량, C_0 : 초기농도, k : 감소상수, t : 시간)으로 회귀식을 계산하고 k 값을 이용하여 생물학적 반감기 ($t_{1/2}$)를 $0.693/k$ 식으로 산출하였다.

결과 및 고찰

재배시설 내 온도, 습도 및 상추의 증량변화

상추 재배기간 동안 시설내의 일평균기온과 일평균습도는 GLT, YLT 각각 11.6-27.7, 15.9-27.6 °C, 46.0-85.4, 55.5-84.2% 범위였다.

채취한 상추의 평균무게는 GLT 1에서는 35일차 12.5 g에서 43일차 42.1 g으로 증가하였고, GLT 2에서는 11.2 g에서 34.9 g으로 증가하였다. YLT 1에서는 22일차 3.1 g에서 32일차에 63.7 g으로 증가하였고, YLT 2에서는 3.9 g에서 61.6 g으로 증가하였다(Table 4).

Table 4 Weight changes of lettuce during cultivation (g)

Field 1	35 DAT	37 DAT	39 DAT	41 DAT	43 DAT
GLT 1	12.5±3.8	21.9±8.6	33.0±3.1	30.9±9.8	42.1±4.0
GLT 2	11.2±7.8	14.9±4.8	14.7±7.1	20.2±5.6	34.9±2.6
Field 2	22 DAT	25 DAT	28 DAT	32 DAT	36 DAT
YLT 1	3.1±0.5	6.3±0.7	29.8±2.6	31.8±2.8	63.7±4.9
YLT 2	3.9±0.2	5.8±0.5	19.7±0.8	46.1±2.7	61.6±2.3

토양 및 상추 중 azoxystrobin 잔류분석법

Azoxystrobin의 표준검량선은 1.0 ng에서 100 ng까지 상관계수가 0.999 이상으로 직선성을 보였다. 최소 검출량(Limit of Detection, LOD)은 분석 크로마토그램상에서 신호대 잡음비의 3배 이상을 나타내는 농약의 양을 말하며 baseline으로부터 피크를 인정할 수 있는 최소의 양이다. 검출한계(Limit of Quantitation, LOQ)는 최소검출량 또는 최소검출농도, 시료량 및 분석조각 중의 희석배율등을 감안하여 산출된 수치로서 본 연구에 사용한 분석

방법으로 정량할 수 있는 한계를 의미하며 0.05 mg/kg 이하를 추천하고 있다. 본 연구에 사용한 분석법의 검출한계는 0.02 mg/L으로서 잔류분석법 기준에 적합하였고(RDA and KCPA, 2017), MRL 이하까지 검출 가능하였다.

시료 중 azoxystrobin의 회수율 시험은 잔류분석과정의 적절성을 조사하는 것으로 정량한계의 10배에서 50배 농도 사이의 두 수준으로 무처리 시료에 일정량의 azoxystrobin을 첨가한 후 전처리 및 분석하여 측정하였다. 시료용액의 분석 크로마토그램

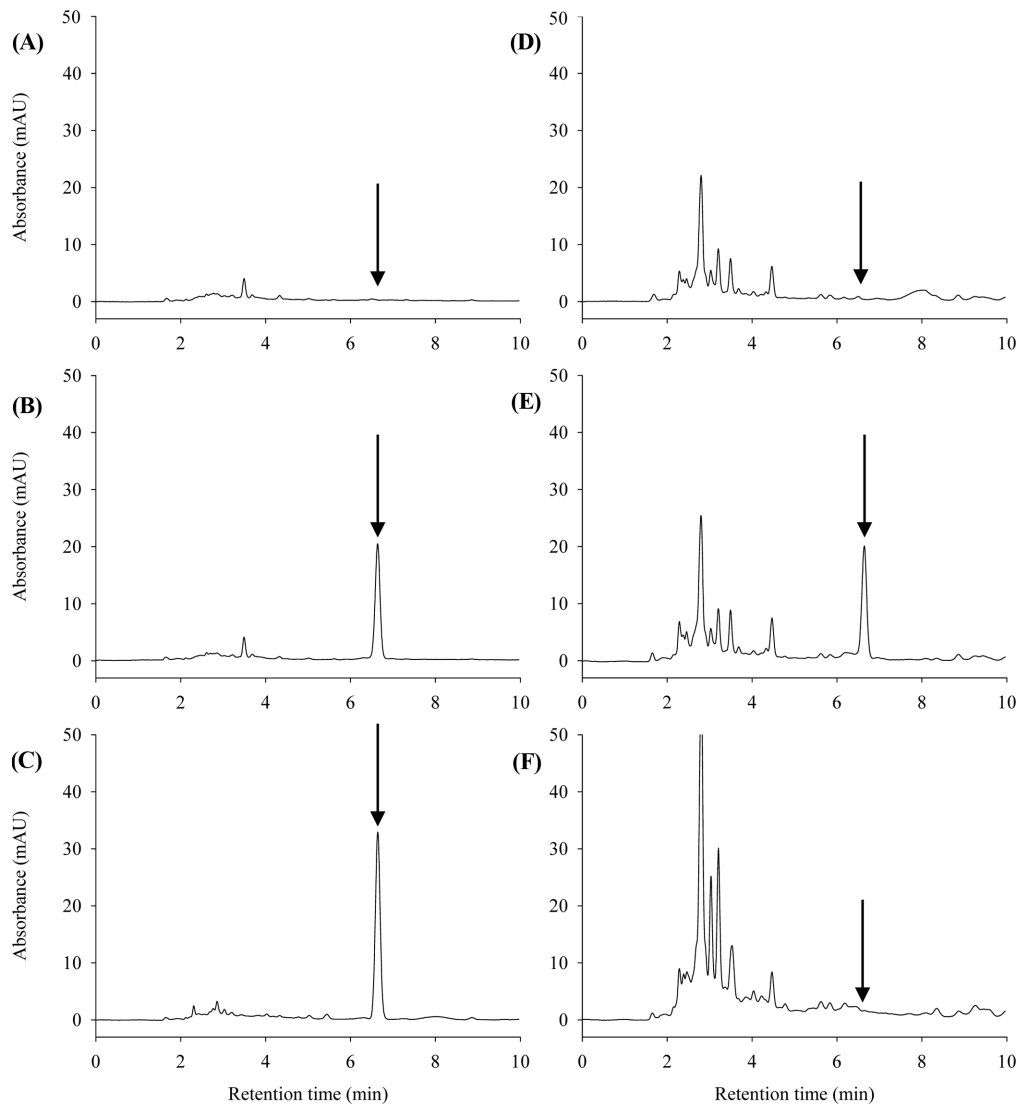


Fig. 2 HPLC chromatogram of GLT soil and lettuce sample (A; soil control, B; fortified soil at 1.0 mg kg⁻¹, C; soil sample of 43 DAT at GLT 1, D; lettuce control, E; fortified lettuce at 1.0 mg kg⁻¹, F; lettuce sample of 43 DAT at GLT 1)

Table 5 Recoveries and limits of quantitation of azoxystrobin

Sample	Fortification level (mg kg ⁻¹)	Recovery (%)			Mean ^{a)} ± C.V ^{b)}	LOQ (mg kg ⁻¹)
		Re.1	Re.2	Re.3		
GLT	0.2	95.8	96.6	95.0	95.8±0.8	0.02
	1.0	87.0	86.8	86.8	86.9±0.1	
YLT	0.2	112.5	115.4	113.0	113.6±1.4	0.02
	1.0	94.8	98.6	95.8	96.4±2.0	
Lettuce	0.2	103.3	95.1	103.0	100.5±4.6	0.02
	1.0	92.3	91.4	93.1	92.3±0.9	

^{a)}Average of triplicate

^{b)}Coefficient of variation, standard deviation/mean×100

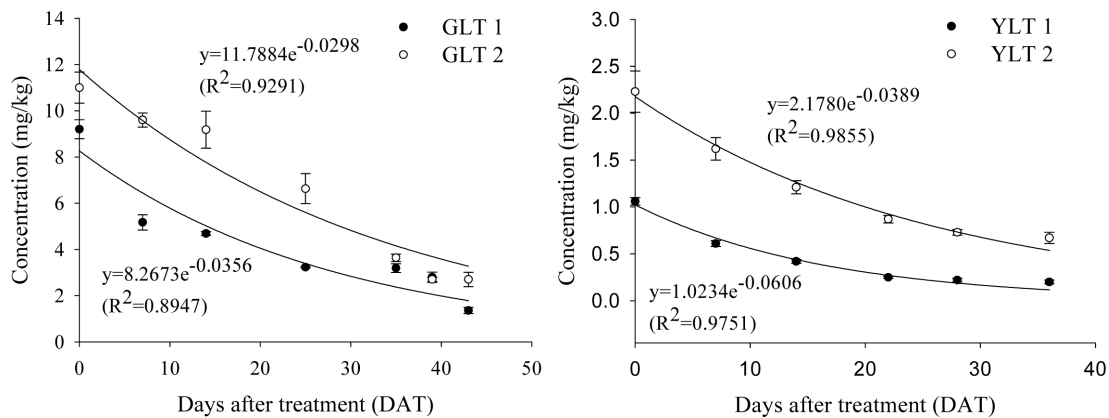


Fig. 3 Dissipation curve of azoxystrobin in GLT (A) and YLT soil (B)

에서 azoxystrobin의 머무름 시간은 6.6분이었고, 중첩되는 방해 물질은 없었다(Fig. 2). 회수율 시험결과 상추의 경우 0.2 및 1.0 mg/kg 두 수준에서 각각 100.5±4.6, 92.3±0.6%이었으며, 토양의 경우 GLT, YLT의 토양 각각 95.8±0.8, 86.9±0.1, 113.6±1.4, 96.4±2.0%이었다(Table 5). 이 결과 농약의 등록시험기준과 방법에서 권고하는 70-120%, 변이계수 20% 이내의 수준을 만족하여 토양과 상추 중 azoxystrobin의 잔류 분석에 적합하였다 (RDA and KCPA 2017).

토양 중 잔류량 변화

재배 토양 중 azoxystrobin의 초기 잔류농도는 GLT1 9.20 mg kg⁻¹이었으며 43일 후에는 1.36 mg kg⁻¹로 감소되었다. GLT 2에서는 초기 잔류량은 11.00 mg kg⁻¹이었으며 43일 후에는 2.70 mg kg⁻¹로 감소하였다. 재배 기간 토양 중 azoxystrobin은 1차 지수 함수적으로 잔류량이 감소하였다(Fig. 3).

잔류 감소 회귀식은 GLT 1, GLT 2 각각 $C_t = 8.2673e^{-0.0356t}$ ($R^2 = 0.8947$), $C_t = 11.7884e^{-0.0298t}$ ($R^2 = 0.9291$)이었고, 이 식에 따라서 산출된 GLT의 재배토양 중 반감기는 19.4, 23.3일 이었다. YLT 1 초기 잔류농도는 1.06 mg kg⁻¹이었으며 36일 후에는 0.20 mg kg⁻¹로 감소된 반면, YLT 2은 초기 2.23 mg kg⁻¹에서 36일 후에는 0.67 mg kg⁻¹로 감소하였다. 잔류 감소 회귀식은 YLT 1, YLT 2 각각 $C_t = 1.0234e^{-0.0606t}$ ($R^2 = 0.9751$), $C_t = 2.1780e^{-0.0389t}$ ($R^2 = 0.9855$)의 회귀식에 따라 감소하였고, YLT 재배토양 중 반감기는 각각 11.5, 17.8일 이었다.

토양 중 반감기는 GLT의 경우보다 YLT에서 더 길게 나왔다.

이는 두 재배토양 사이의 성분적 특성 차이 때문인 것으로 사료된다. Azoxystrobin이 비이온성 농약이라는 점을 감안해 볼 때, 유기물 함량이 토양 흡착에 관련된 주요 인자라고 할 수 있으며, 농약의 분해 및 흡착에 있어서 토양유기물의 함량 및 종류의 영향을 주고 있다는 사실은 여러 실험을 통해 밝혀진 바 있다(Bailey and White, 1970; Lee 등, 1998). Table 2에 나타난 바와 같이 포장2의 토양 중 유기물 함량이 포장1에 비해 약 1.5배 높았다.

상추 중 잔류량 변화

GLT 1 재배상추 중 azoxystrobin의 잔류량은 처리 35일 후 시료 중 0.03±0.02 mg kg⁻¹이었으며, 이후 37일 후부터 43일 후까지 재배상추 시료내 약제 검출이 되지않았다. GLT 2에서는 35일 후 수확시료 중 잔류량은 0.02±0.01 mg kg⁻¹이었으며, 이후 37일 후부터 43일 후 수확시 0.02 mg kg⁻¹ 미만으로, 검출되지 않았다.

YLT 1, YLT2 재배상추 중 잔류량은 처리 22일 후 수확부터 32일 후 수확시까지 0.02 mg kg⁻¹ 미만으로 잔류량은 검출되지 않았다(Table 6). 이러한 이유로는 토양내 존재하는 생물 또는 미생물학적인 분해, 포장지내에서의 용탈작용에 의한 약제의 소실이 될 수 있으며(Marin 등, 2003; Andreu and Picó 2004; Garratt and Kennedy 2007), 상추체내로 흡수된 농약이 작물체내 대사작용으로 인해 분해되거나, 증산작용으로 인한 옆면에서의 소실, 작물 비대성장에 의한 희석 및 농약의 분해성질등이 원인이 될 수 있다(Collins 등, 2006; Lee 등, 2012, Fantke

Table 6 Residue levels of azoxystrobin in lettuce

GLT	Residue (mg/kg)	
	GLT 1	GLT 2
35 DAT	0.03	0.03
37 DAT	N/A	N/A
39 DAT	0.05	N/A
41 DAT	N/A	N/A
43 DAT	N/A	N/A
YLT	Residue (mg/kg)	
	YLT 1	YLT 2
35 DAT	N/A	N/A
37 DAT	N/A	N/A
39 DAT	N/A	N/A
41 DAT	N/A	N/A
43 DAT	N/A	N/A

and Juraske 2013; Lu 등, 2014). 또한 농약이 토양 중에서 일정기간 숙성되었다면 작물체로의 이행은 낮아지는 경향을 보인다고 한다(Park 등, 2004). 따라서 실제 토양내에 잔류하는 azoxystrobin 농약이 상추채대로 흡수되는 양이 극히 적다고 판단된다.

토양 중 azoxystrobin의 관리농도 제안

상추 중 azoxystrobin의 MRL 20.0 mgkg⁻¹으로 설정되어있어, 수확시 잔류량이 MRL을 초과하지 않는 토양농도는 다음의 식을 통하여 계산할 수 있다.

$$C_{\text{soil}} \times \text{흡수율}(\%) / 100 = 20.0$$

$$C_{\text{soil}} = 20.0 \times 100 / \text{흡수율}(\%)$$

위 식에 따르면 토양 중 관리농도는 흡수율(%)에 따라 결정이 된다. GLT 1, GLT 2 및 YLT 1, YLT 2에서 재배한 상추 중 azoxystrobin 성분이 대부분 검출되지 않아 흡수율을 계산할 수 없었으며, 토양 중 잔류하는 azoxystrobin 또한 최대 9.20 mg kg⁻¹에서 0.67 mg kg⁻¹으로 감소하여, 토양 내에서도 20.0 mg kg⁻¹을 초과하지 않았다. 골프장 토양내 검출된 azoxystrobin 농약잔류량은 0.55-1.239 mg kg⁻¹으로 우려할 만한 수치로 검출되지 않았다(INHEN, 2016). 이와 같은 결과로 토양 중 잔류되는 azoxystrobin은 상추 재배시 문제를 일으키지 않을 것으로 생각되지만, 부위별 잔류농도 및 뿌리로의 흡수에 관한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

초 록

본 연구에서는 azoxystrobin을 대상으로 작물재배 토양중 azoxystrobin의 잔류소실 및 상추로의 전이량을 파악하고자 하였다. 포장시험은 광주(GLT)와 용인(YLT)의 시설 재배지 두 곳에서 실시하였다. Azoxystrobin을 토양 중 서로 다른 두 농도로 처리한 후, 토양과 상추를 채취하였다. 토양과 상추 중 평균 회수율 범위는 86.9113.6%이었고, 변이계수는 0.14.6%였다. Azoxystrobin의 초기 토양농도는 시험포장 1에서 9.20, 11.00 mg kg⁻¹이었으며 농약처리 43일 후에 1.36, 2.70 mg kg⁻¹로 감소

하였고, 시험포장 2에서는 초기 토양농도가 1.06, 2.23 mg kg⁻¹이었고 농약처리 36일 후에 0.20, 0.67 mg kg⁻¹으로 감소하였다. 시험포장 1에서의 토양 중 반감기는 저농도와 고농도 처리구에서 19.4, 23.3일이었으며, 시험포장 2에서는 11.5, 17.8일이었다. 상추 중 azoxystrobin 잔류량은 GLT과 YLT 두 포장에서 0.02 미만으로, 검출되지 않았다.

Keywords 살균제 · 상추 · 아зок시스트로빈 · 잔류 · 흡수

감사의 글 본 연구는 농촌진흥청공동연구사업 “재배환경 중 잔류농약의 작물흡수이행 연구(PJ010876012017)”의 지원에 의하여 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

References

- Ahn JW, Jeon YH, Hwang JI, Kim HY, Kim JH, Kim DH, Kim JE (2012) Monitoring of Pesticides Residue and Risk Assessment for Fruit Vegetables and Root Vegetables of Environment-friendly Certificated and General Agricultural Products. *Kor J Environ Agri* 31: 165–169
- Andreu V, Picó Y (2004) Determination of Pesticides and Their Degradation Products in Soil: Critical Review and Comparison of Methods. *Trend Anal Chem* 23: 10–11
- Bailey GW, White JL (1970) Factor influencing the adsorption, desorption and movement of pesticides in soils. *Residue Rev* 32: 29–92
- Charles R (2004) Modelling Pesticides Residues; École polytechnique fédérale de Lausanne: Lausanne, Sitzerland
- Chungnam Center For Farmers' Safety & Health (2017) Pesticide Health and Safety Information. <http://dkfarm.or.kr/pesticide>. Accessed 28 July 2017
- Collins C, Fryer M, Grosso A (2006) Plant Uptake of Non-Ionic Organic Chemicals. *Environ Sci Technol* 40: 45–52
- Fantke P, Juraske R (2013) Variability of Pesticide Dissipation Half-Lives in Plants. *Environ Sci Technol* 47: 3548–3562
- Fernández-Ortuño D, Torés JA, Antonio V, Alejandro PG (2008) Mechanisms of resistance to QoI fungicides in phytopathogenic fungi. *International Microbiology* 11: 1–9
- Garratt J, Kennedy A (2007) Modeling Pesticide Leaching and Dissipation in a Mediterranean Littoral Green house. *J Agric Food Sci* 55: 7052–7061
- INHEN (2016) Institute of Health & Environment Web. http://inhen.gb.go.kr/page.do?mnu_uid=175&Accessd 18 Sept 2017
- Jeon SO, Hwang JI, Lee SH, Kim JE (2014) Uptake of Boscalid and Chlorfenapyr Residues in Soil into Korean Cabbage. *Kor J Pesti Sci* 18: 314–320
- Juraske R, Castells F, Vijay A, Muñoz P, Antón A (2009) Uptake and persistence of pesticides in plants: Measurements and model estimates for imidacloprid after foliar and soil application. *J Hazard Mater* 165: 683–689
- Kam SK, Ko BC, Oh YG, Lee YD, Kim JH (1999) Adsorption and Leaching of Organophosphorus Pesticides in the Soil of Cheju Island. *Kor J Environ Sci Soc* 8: 379–386
- KCPA (2016) Using guideline of crop protection agents. Korea Crop Protection Association, Samjung Inc. Seoul, pp 130
- Kim ES, Yang YS, Seo JM, Kim JP, Oh M, Chung JK (2006) A Survey on Pesticide Residues of Imported Agricultural Products Circulated In Gwangju. *J Fd Hyg Safety* 21: 52–59
- Kim HY, Jeon YH, Kim JI, Ahn JW, Chung DH, Kim JE (2011) Monitoring of Pesticide Residues and Risk Assessment for Cereals and Leafy Vegetables of Certificated and General Agricultural Products. *Kor J Environ Agric* 30: 440–445
- Kim JH, Choe JH, Lee HG (1999) Safe use of pesticides for pesticide stability and comprehensive management of pests. *Integrated Pest Management: Basic Concepts and Practices*. National Institute of Agricultural Sciences,

- Wanju
- Kim K, Kim JH, Park CK (1997) Pesticide Runoff from Soil Surface by Rainfall. *Kor Environ Agri* 16: 274–284
- Lee KS (2010) Behavior of Pesticides in Soil. *Kor J Pestic Sci* 14: 303–317
- Lee KY, Starnd SE, Doty SL (2012) Phytoremediation of Chlorpyrifos by *Populus* and *Salix*. *Int J Phytoremediation* 14: 48–61
- Lee SY, Kim YK, Lee YK (2007) Cause and Control of Lettuce Powdery Mildew Caused by *Podosphaerafusca*. *Kor J Mycology* 35: 115–120
- Lee WS, Kim JE (1998) Effects of soil organic matter and oxidoreductase on adsorption and desorption of herbicide oxadiazon in soils. *Kor J Pesticide Sci* 3: 70–78
- Lu MX, Jiang WW, Wang JL, Jian Q, Shen Y, Liu XJ, Yu XY (2014) Persistence and Dissipation of Chlorpyrifos in *Brassica Chinensis*, Lettuce, Celery, Asparagus Lettuce, Eggplant, and Pepper in a Greenhouse. *Plos One* doi: 10.1371/journal.pone.0100556
- Marin A, Okiva J, Garcia C, Navarro S, Barba A (2003) Dissipation Rates of Cyprodinil and Fludioxonil in Lettuce and Table Grape in the Field and under Cold Storage Conditions. *J Agric Food Chem* 51: 4708–411.
- Ministry of Food and Drug Safety (2016) Pesticide MRLs <http://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcod>. Accessed 28 July 2017
- National Agricultural Quality Service (2017) Result of the 2007-2016 Agricultural Product Safety Survey released. <http://www.naqs.go.kr/>. Accessed 28 July 2017
- Park HJ, Choi JH, Park BJ, Kim CS, Ihm YB, Ryu GH (2004) Uptake of Endosulfan and Procymidone from Arable Soil by several Vegetables I (green house study). *Kor J Pesti Sci* 8: 280–287
- Paterson S, Mackay D, McFarlane C (1994) A Model of Organic Chemical Uptake by Plants from Soil and the Atmosphere. *Environ Sci Technol* 28: 2259–2266
- RDA and KCPA (2017) 2017 Test Guidelines for Pesticide Registration, Wanju
- Turner JA (2015) Azoxystrobin, A World Compendium The Pesticide Manual 17thED; Turner JA (Eds) British Crop Protection Council, Alton, Hampshire, UK, pp. 1146–1147
- Van Genuchten MT, Wierenga PJ (1986) Solute dispersion coefficients and dispersion factors. In: *Methods of Soil Analysis, Part Klutd A* (Ed.) Agronomy Monograph No. 9 (2nd ed.), ASA, Madison, pp. 1025–2054