

경운과 무경운에 따른 토양 내 잡초종자의 수직적 분포양상

이병모^{1*} · 박광래 · 이 연 · 조정래 · 이상민 · 안난희 · 최현석 · 지형진

¹국립농업과학원 유기농업과

Vertical Distribution of Weed Seed in the Soil as affected by Tillage and No-till

Lee, Byung-Mo^{1*}, Kwang-Lai Park, Youn Lee, Jeong-Rae Cho, Sang-Min Lee, Nan-Hee An, Hyun-Sug Choi and Hyeong-Jin Jee

¹Organic Agriculture Division, National Academy of Agricultural Science, 126 Suinro, Gwonseounggu, Suwon, 441-701, Korea

ABSTRACT. A simple monitoring method was designed to evaluate seed bank in a upper soil (0 to 30 cm depth), which was observed for the pattern of vertical distribution of weed in the soil under tillage or no-tillage condition. The field experiment was established at an organic corn field located in Hwacheon in Kangwon-do from 2010 to 2011. Undistributed linear soil samples were taken using non-destructive soil sampler from 0 to 30 cm depth at the tillage or no-tillage soils. Weed seed distribution in the linear soil samples was estimated by counting the number of weed germinated according to the soil depth. Under tillage condition, the weed seeds were more evenly distributed from 0 to 30 cm depth, with being 75% of weed seeds located in 0 to 15 cm depth compared to the no-tillage condition. Soil samples taken by no-tillage condition had 85% of weed seeds within 15 cm of soil depth, with being 93% of weed seeds from 0 to 20 cm depth. The number of weeds or the number of weed species were three times higher for tillage soil compared to no-tillage soil, and the major dominant weed species were observed for annual plants, such as *Echinochloa crus-gall*, *Mollugo pentaphylla*, and *Digitaria ciliaris*.

Key words: No-till, Soil seedbank, Tillage, Vertical distribution, Weed

서 론

토양 종자은행(soil seedbank)이라는 용어는 Roberts(1981)에 의해 토양 안에 존재하는 살아있는 종자를 저장하는 저장소라는 의미로 제시되었다. 토양 종자은행은 주로 휴면의 형태로 종자를 저장하는 토양 내 자연창고라고 할 수 있다(Christoffoleti and Caetano, 1998). 토양안의 종자는 종종 휴면상태로 존재하며 종자의 수명에 따라 살아있거나 죽어서 새로운 종자들로 대체되기도 한다. 또한 종자뿐 아니라 괴경, 구근 등 살아있는 영양번식체의 저장소 역할도 한다.

토양 종자은행 연구는 찰스 다윈이 1859년에 호수 바다

토양을 채취해 종자의 출현을 관찰한 것이 최초의 시작이었다. 최초의 논문은 1882년 '서로 다른 토양 깊이에서의 종자 출현 관찰'이라는 제목으로 Putersen에 의해 발표되었다(Roberts, 1981).

잡초의 종자은행은 그 경제적 중요성 때문에 농학에서 매우 집중적으로 연구되어 왔다. 주로 식생 분포 예측이나 제초제 처리 이후 발생하는 잡초 양상을 모델링하여 잡초 방제 프로그램을 수립하는 연구 등이 활발히 진행되어 왔다(Christoffoleti and Caetano, 1998). 또한 산림의 갱신과 회복에 관해서도 많은 연구가 진행되었다. 산불, 기상이변, 농작업, 벌목 등의 경우 급속한 식생 교체를 가능하게 하는 원동력이 된다(Eycott et al., 2006). 따라서 토양 종자은행이 없다면 신속한 식생 천이가 저해된다. 이처럼 토양 종자은행은 자연환경 생태계에서 중요한 역할을 담당하며 식물의 공간과 시간적 생활상을 역사적으로 반영해주는 중요한 거울이 된다.

토양 종자은행의 구성과 지속성은 해당 잡초의 종자 수

*Corresponding author: Lee Byung-Mo
Tel: +82-31-290-0562, Fax: +82-31-290-0507
E-mail : leebm@korea.kr

Received : November 7, 2012, Revised : November 13, 2012,
Accepted : November 19, 2012

명에 따라 달라진다. 종자은행을 구성하는 잡초종자의 수명에 따라 일시적인(temporary) 종자은행과 지속적인(persistent) 종자은행으로 나눈다(Garwood, 1989; Barralis et al., 1988). 토양 종자은행을 구성하는 종자의 수명이 5년 이내인 단명종자로 이루어졌는가, 5년 이상인 장명종자로 구성되어 있는가에 따라 종자은행을 분류하는 기준이 된다. 이러한 토양 종자은행은 수시로 종자의 유입과 사멸, 교란 등에 의해 동적으로 움직인다. 또한 인간의 경작 행위는 토양 경운을 동반하기 때문에 종자은행을 수직적으로 움직이게 만든다. 경운과 작물윤작뿐 아니라 경운방법(disc plow and disc harrow)에 따라(Ball, 1992), 경운-무경운 조건에 따라(Buhler et al., 2001) 잡초 종자은행의 분포가 달라진다. 제조제 사용 또한 종자은행의 구성에 크게 영향을 미치게 된다(Ball, 1992). 이처럼 농경지에서의 잡초 종자는 인간의 경작 활동에 의해 토양 속으로 끊임없이 유입 혹은 사멸되는데 이러한 잡초 종자의 동적인 유입과 사멸, 교란, 휴면을 정확히 측정하는 것이 차년도 발생하는 잡초 분포양상을 예측하는데 중요한 요인이 된다(Ball, 1992).

땅속에 묻혀있는 종자들의 양과 종류를 정확히 측정하는 것은 매우 어렵다. Roberts(1981)는 해당 지역내 발생 잡초를 그대로 떠서 관찰하는 것이 가장 좋은 방법이라고 소개하며 이에 따라 채취한 토양을 크기별로 체질하여 토양과 종자로 분리한 후 종자를 발아시켜 초종을 분류하였다. 그러나 이러한 방법은 많은 작업량과 샘플링에 따른 불균일 문제가 발생할 수 있으며 발아에 따른 대규모 온실등의 시설이 필요하다고 하였다. Buhler와 Maxwell(1993)은 토양 속의 종자 분리를 위해 종자를 용액속에 넣어 분리하는 방법을 사용하였다. 토양을 Potassium carbonate 용액에 혼입 후 10,000 rpm으로 원심분리하게 되면 종자와 토양을 간편하게 분리할 수 있지만 potassium carbonate에 의해 종자 활력이 다소 저해된다고 하였다.

이처럼 토양을 채취해 토양과 종자를 분리하고 살아있는 종자만 분별하여 종을 구분해내는 작업은 토양 종자은행 연구에 큰 걸림돌이 아닐 수 없다. 이에 본 연구에서는 토양 종자은행의 규모와 수직적 분포를 간단히 측정할 수 있는 모니터링 방법을 소개하고, 경운과 무경운이 토양 내 잡초종자의 수직적 분포양상에 미치는 영향을 분석하여 잡초 변이 양상을 예측하고자 한다.

재료 및 방법

시험포장 조성 및 토양 채취

본 시험은 2010년부터 무경운으로 조성된 강원도 화천의 현지 포장에서 수행되었다. 2010년부터 동계녹비작물

인 호밀을 파종하여 휴경한 포장을 2011년도에 옥수수를 공시하여 포장을 조성하였다. 옥수수 품종은 미백찰 2호를 공시하였으며 20일간 육묘한 후 이식하였다. 경운 시험구는 옥수수를 이식하기 전 유박비료를 투입한 후 트랙터를 이용하여 로터리 경운을 실시하였다. 무경운 시험구는 6월 21일에 녹비를 예취하여 포장에 전면 피복한 후 감자이식기를 사용하여 이식 구멍을 뚫는 것과 동시에 옥수수를 이식하였다. 옥수수 이식 후 발생하는 잡초는 생육 초기와 중기에 각 1번씩 예초기를 이용하여 예취하였다. 잡초조사는 옥수수 이식 바로 전인 6월과 7월, 8월에 각 1회씩 50 × 50 cm 방형구를 이용하여 경운/무경운 처리 구당 15반복으로 수행하였으나 본 논문에서는 토양 시료 채취 직전인 8월에 조사한 결과만 이용하여 자료를 분석하였다.

토양내 잡초종자의 수직적 분포양상 조사를 위한 토양 시료채취는 9월 9일에 수행하였다. 토양 시료는 Eijkelkamp사의 liner sampler(Netherlands)를 이용하여 지름 5 cm × 30 cm 깊이의 비 교란된 토양기둥을 채취하였다. 채취 장소에 따른 불균일을 최소화하기 위하여 경운구와 무경운구 5곳을 선정해 2반복씩 채취하여 분석에 사용하였다.

토양 시료 처리 및 깊이별 종자 분포양상 분석

본 모니터링 방법은 해당 지역내 토양을 그대로 채취한 후 그 토양 안에서 발생하는 식물종을 관찰하는 것이 가장 좋은 방법이라는 Roberts(1981)의 제안에 따라 종자를 발아시켜 관찰하였다. 당해년도에 생산된 종자는 휴면성을 가질 수 있으므로 채취해온 토양 시료를 4°C 저온저장고에 4주간 보관해 휴면을 타파시킨 다음 사용하였다. 종자 발아를 위해 35 × 20 cm의 플라스틱 사각용기를 준비하고 여기에 수도용 상토를 2 cm 두께로 깔아 발아된 잡초가 일정기간 살 수 있으며 타 종자의 오염이 없는 토양 조건을 조성해 주었다. 플라스틱 사각 용기에 채취해온 토양 기둥을 길이방향으로 놓은 다음 이를 편평하게 펼쳐주었다(Fig. 1(B)). 펼쳐줄 때는 토양 기둥의 길이방향으로 교란이 일어나지 않도록 주의하면서 수평방향으로만 펼쳐주었다. 얇게 펼쳐진 토양층에 분무기로 미세하게 수분을 공급해 토양과 종자가 떠나려가지 않도록 조심한 다음 사각용기는 뚜껑을 덮어 발아 전까지 충분한 수분조건을 유지하였다. 사각용기는 온실에 배치하여 자연 조건에서 발아하도록 유도하였으며 출아가 이루어진 후 뚜껑을 제거하여 일반적인 관리를 해주었다. 발아 조사는 식물종의 분별이 가능해진 출아 후 10일과 25일에 실시하였다. 이 때 토양 기둥의 표토부터 5cm 간격으로 구획해 발생 식물종을 헤아려 토양깊이별 종자의 양과 분포를 조사하였다(Fig. 1(C)).

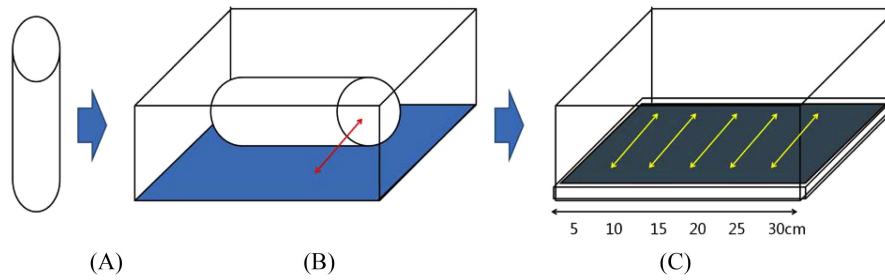


Fig. 1. Diagrams of new monitoring method for evaluating vertical distribution of soil seedbank. (A) Sampled soil pillars (B) Tilt in rectangular containers (C) Spreads soil pillars in the horizontal direction.

통계분석

경운과 무경운에 따른 잡초의 발생 양상과 토양깊이별 잡초 분포 양상을 평가하기 위한 통계분석은 SAS program (Ver. 9.2)을 이용하였으며, ANOVA 검정에 의한 통계적 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

무경운과 경운에 따른 하계(8월) 잡초 발생 양상을 조사한 결과 무경운보다 경운구에서 보다 더 많은 잡초가 발생하였다(Table 1). 경운구는 m^2 당 40종 1,262개의 잡초가 발생하여 무경운구 31종 429개에 비해 2.9배 많은 잡초 발생을 보였다. 반면에 잡초의 생체중은 무경운구가 경운구보다 더 많았다. 한편 무경운구 중 예초작업 등의 제초를 전혀 하지 않았던 무제초구는 무경운구 보다는 많고 경운구보다는 적은 잡초발생을 나타내었으며 잡초의 생체중은 무제초로 인해 가장 많았다. 주요 우점종은 경운구가 돌피, 석류풀, 바랭이, 금방동사니 등이었고, 무경운구는 돌피보다는 바랭이가 많이 발생하였다. 그 외 석류풀, 돌피, 금방동사니 등이 우점하였으며 썩 등의 다년생 잡초도 상당히 관찰되었다.

토양은 수많은 종자들을 저장하고 있는 거대한 자연 창고이다. 이를 일컬어 토양 종자은행(soil seedbank)이라고

하며 이 때문에 작물 경작중에 잡초를 제거해도 토양 속의 종자가 다시 출현하여 우점하게 된다. 토양 경운은 이러한 잡초의 재발생을 촉진시키는 주요한 요인중에 하나이다(Blackshaw et al., 2001). 토양 경운을 통해 토양 속에서 휴면중에 있던 잡초 종자는 지표면으로 올라와 발아가 촉진되므로 무경운에 비해 토양경운은 잡초 발생이 더욱 많다고 하였다(Peachey et al., 2004; Buhler et al., 2001). 본 시험구에서도 경운구가 무경운구보다 거의 3배나 많은 잡초가 발생하여 이와같은 경향을 입증하였다. 반면 잡초의 생육량은 무경운구가 경운구보다 많았는데 이는 예초에 의한 재생력이 경운구보다 무경운구 잡초들이 월등했기 때문으로 판단된다. 한편 무제초구는 무경운으로 유지가 되었기 때문에 경운구보다는 잡초 발생량이 많지 않으나 무경운구보다는 더 많은 잡초발생량을 보여줘 예초작업 등의 적절한 잡초관리가 필요함을 보여주었다. 우점잡초의 발생은 무경운에 의해 다년생잡초로의 천이가 조금씩 진행되는 것을 보여주었으며 동일한 일년생잡초 중에서도 돌피와 바랭이의 발생순위가 다르게 나타나 돌피는 경운조건에 의해 발아가 더욱 촉진됨을 보여주었다.

기존의 토양 종자은행 연구에서는 채취해온 토양시료에서 토양과 잡초를 체질등의 방법으로 분리해낸 다음 잡초를 받아시켜 살아있는 잡초의 양을 조사하였다. 이 방법을 정확한 잡초종자의 양과 함께 사멸 : 생존 종자의 비

Table 1. Weed occurrence per square meter as affected by soil tillage in no-till corn field.

Treatment	Species No. ^{b)}	Number of weed (m^{-2})	Fresh weight ($g m^{-2}$)	Major dominant weed species ^{c)}			
Tillage	24a ^{d)}	1262.4a	243.7b	EC	MP	DC	CM
No-Till	14b	428.8b	424.6a	DC	MP	EC	CM
Control ^{a)}	15b	639.0b	979.0b	DC	PL	AS	MP

^{a)} Control; No-till and no weed control

^{b)} Sum of weed species number in 3 times replication of quadrat(50 × 50 cm) sample

^{c)} The abbreviations of each weed species are as follow: EC: *Echinochloa crus-gall*; CM: *Cyperus microiria*; MP: *Mollugo pentaphylla*; PL: *Persicaria longiseta*; DC: *Digitaria ciliaris*; AS: *Arenaria serpyllifolia*

^{d)} Means with the same letter are not significantly different at 0.05 probability level

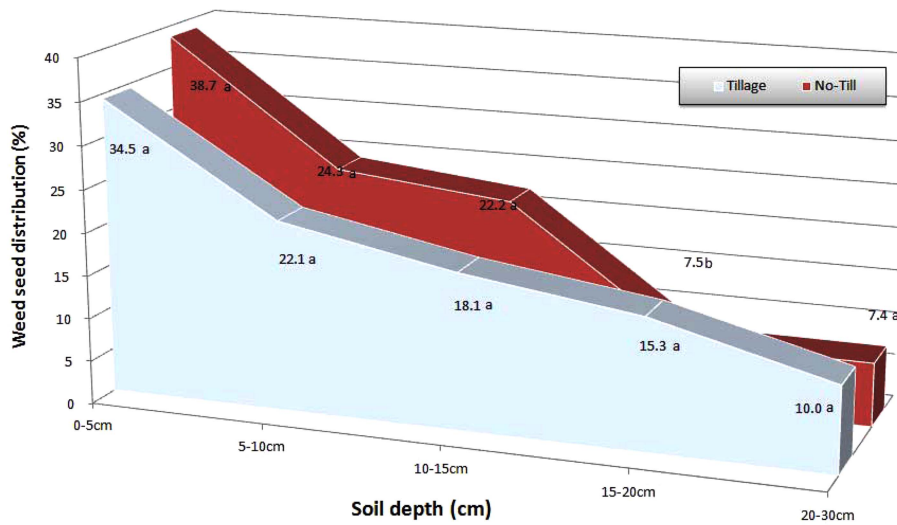


Fig. 2. Vertical weed seed distribution (%) at 0~30 cm soil depth in an organic corn field under tillage and no-till system. Values are percentage of weed seed distribution in the soil according to soil depth. Within each soil depth, the same lowercase letter are not different at the 5% probability level based on LSD comparisons.

을 알 수 있는 장점이 있으나 토양 깊이별 분포 양상을 조사하는데 번거롭다는 단점이 있다. 본 연구에서 제안하고자 하는 방법은 채취해온 토양을 그대로 발아시킴으로써 작업량을 획기적으로 줄일 수 있을뿐 아니라 토양 깊이별 잡초의 분포 양상을 파악하는데 이상적이다. 경운과 무경운으로 나누어 토양 내 잡초종자의 양과 분포양상을 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 경운구와 무경운구는 잡초종자의 양 자체가 서로 다르기 때문에 절대적인 수치로 비교하는 것 보다는 백분율로 변환하여 비교하였다. 경운구는 5 cm에서 30 cm까지 비교적 고르게 잡초 종자가 분포하고 있었다. 특히 15 cm까지 전체 종자의 75%, 15 cm 이상의 깊이에서도 25%의 종자가 분포하는 등 무경운구에 비해 비교적 많은 종자가 깊은 곳까지 분포하고 있었다. 반면 무경운구는 15 cm 깊이까지 전체의 85%가 분포되고 있어 대부분의 종자가 경운구에 비해 얇은 깊이에 분포하고 있음을 보여주었다. 15 cm 이상의 깊이에는 전체의 15% 종자만이 분포하고 있었으며, 이러한 종자 분포 양상은 무경운의 연차가 오래될수록 점차 심화될 것으로 전망된다. 이는 토양 종자은행은 신규 종자의 공급과 휴면 종자의 사멸이라는 동적 관계를 가지는데(Christoffoleti and Caetano, 1998), 무경운 토양은 신규 종자의 공급이 지표면에만 이루어지고 깊은 곳의 종자들은 점차 사멸되기 때문이다. 이러한 이유 때문에 무경운 포장에서 적절한 잡초방제가 이루어져 신규 종자의 공급이 최소한으로 제한된다면 점차 토양내 종자은행의 밀도가 떨어져 무경운구의 잡초발생이 경운구보다 줄어들게 되는 것이다(Buhler et al., 2001). 본 연구에서는 앞으로도 지속적인 경운과 무

경운 조건에 따른 토양 종자은행의 양과 분포 변화를 모니터링하여 향후 잡초 발생 예측모델을 개발하기 위한 기초 자료를 축적하고자 한다. 또한 본 모니터링 방법을 활용한다면 다양한 조건에서의 토양 종자은행에 대한 연구를 손쉽게 활발하게 할 수 있을 것으로 기대한다.

요 약

번거로운 토양 종자은행 조사를 위해 간편한 모니터링 방법을 고안하였으며 이를 이용하여 경운과 무경운에 따른 토양내 잡초종자의 수직적 분포 양상을 관찰하였다. 본 시험은 강원도 화천의 유기농 옥수수 포장에서 수행되었다. 포장의 조성은 2010년부터 경운과 무경운 조건으로 2년간 조성된 무경운 포장에서 30 cm 깊이의 비파괴 토양 시료를 채취한 후 그 안에서 발생하는 잡초를 헤아려 종자의 토양 분포정도를 조사하였다. 토양속 잡초 종자의 분포는 경운구의 경우 15 cm 이내에 75%의 종자가 분포되어 있는 등 30 cm 깊이까지 대체로 고르게 분포되고 있었던 반면 무경운 조건에서는 15 cm 이내에 85% 이상의 종자가, 20 cm 이내에 93%의 종자가 분포되어 대체로 토양 표면에 집중되었다. 한편 잡초의 발생초종수와 개체수는 경운구가 무경운구에 비해 3배나 많은 양이 발생되었으며 주요 우점초종은 돌피, 석류풀, 바랭이 등의 일년생 초종이었다.

주요어: 경운, 무경운, 수직분포, 잡초, 토양, 종자은행

Acknowledgments

This study was carried out with the support of “Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ9070882011)”, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ball, D.A. 1992. Weed seed bank response to tillage, herbicides, and crop rotation sequence. *Weed Sci.* 40:654-659.
- Barralis, G., Chadoeuf, R. and Lochamp, J.P. 1988. Longevité des semences de mauvaises herbes annuelles dans un sol cultivé. *Weed Res.* 28:407-418.
- Blackshaw, R.E., Larney, F.O., Lindwall, C.W., Watson, P.R. and Derksen, D.A. 2001. Tillage intensity and crop rotation affect weed community dynamics in a winter wheat cropping system. *Can. J. Plant Sci.* 81:805-813.
- Buhler, D.D. and Maxwell, B.D. 1993. Seed separation and enumeration from soil using K_2CO_3 -centrifugation and image analysis. *Weed Sci.* 41:298-302.
- Buhler, D.D., Kohler, K.A. and Thompson, R.L. 2001. Weed seed bank dynamics during a five-year crop rotation. *Weed Technol.* 15:170-176.
- Christoffoleti, P.J. and Caetano, R.S.X. 1998. Soil seed bank. *Sci. agric.* 55:74-78.
- Eycott, A.E., Watkinson, A.R. and P.M. Dolman. 2006. The soil seedbank of a lowland conifer forest: The impacts of clear-fell management and implications for heathland restoration. *Forest Ecol. Manag.* 237:280-289.
- Garwood, N.C. 1989. Tropical soil seed banks: a review. In: Leck, M.A., V. T. Parker, and R.L. Simpson (Ed.). *Ecology of Soil Seed Banks*. Academic Press, London, England. pp.149-209.
- Peachey, R.E., William, R.D. and Mallory-Smith, C. 2004. Effect of no-till or conventional planting and cover crops residues on weed emergence in vegetable row crop. *Weed Technol.* 18:1023-1030.
- Roberts, H.A. 1981. *Seed Banks in the Soil*. Advances in Applied Biology. Academic press, Cambridge. England. p. 5.