

## 무경운 피복작물 작부체계가 벼 뿌리 생육에 미치는 영향

손다니엘 · 이영한<sup>1\*</sup>

경남과학기술대학교, <sup>1</sup>경상남도농업기술원

### Effects of No-tillage Rice Cover Crop Cropping Systems on Rice Root Growth

Daniel Son and Young-Han Lee<sup>1\*</sup>

Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

<sup>1</sup>Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea

This study was conducted to evaluate the effect of rice cover crop cropping systems on rice root growth in a rice field as affected by conventional tillage without rice straw or green manure crop treatment (CTFS, check plot), no-tillage without cover crops (NTNT), no-tillage amended with rape (NTRA), no-tillage amended with rye (NTRY), no-tillage amended with hairyvetch (NTHV), and no-tillage amended with Chinese milk vetch (NTCM). In 0-5 cm soil depth, dry weight of root in NTRS (128 g m<sup>-2</sup>) was significantly higher than in the other plots ( $p < 0.05$ ) at harvesting stage. In addition, content of active organic matter at 0-5 cm soil depth was 1,684 g m<sup>-2</sup> in NTCM, 1,309 g m<sup>-2</sup> in NTRA, 1,295 g m<sup>-2</sup> in NTRS, 1,072 g m<sup>-2</sup> in NTRY, 917 g m<sup>-2</sup> in NTHV, 434 g m<sup>-2</sup> CTFS, and 426 g m<sup>-2</sup> in NTNT treatment. In no-tillage rice cover crop cropping system, our findings suggest that NTRS and NTCM should be enhanced root growth and active organic matter in paddy field.

**Key words:** No-till, Root growth, Paddy, Active organic matter, Cover crop

## 서 언

논 토양에서 경운 작업은 이앙을 원만하게 하고 뿌리 활착을 유익하게 하는 장점이 있으나 단위 면적당 노동력과 에너지 투입이 증가되고 생산비가 증가되며 토양의 유실을 촉진한다 (Hong et al., 2003). 벼 재배시 무경운 토양은 경운한 곳에 비해 토양유실이 적어 토양보전에 유리한 측면이 있으나 표층의 경도가 경운한 곳에 비해 높아 벼를 이앙할 경우 결주율이 높고 초기 생육이 더디며 뿌리가 주로 표층에 많이 분포하기 때문에 쉽게 도복되는 단점이 있다 (Kim et al., 1993). 일반적으로 뿌리의 기능은 식물체를 지지하고 양수분을 흡수하며 동화산물과 영양분의 저장, 분배, 호르몬 합성 등의 중요한 역할을 한다 (Jeon, 2003). 양수분의 흡수 기능은 토양에서 이용 가능한 양분함량과 벼 뿌리 밀도에 의해 좌우된다 (Barley, 1970; Newman and Andrews, 1973). 보통 벼 뿌리는 90% 이상이 토심 15 cm 이내에 분포하고 있어 (Cho et al., 1995) 무경

운 논에서는 잡초 발생량을 조절하고 벼 뿌리의 활성을 증대 시키는 것이 도복을 방지하고 수량을 확보하는데 중요한 요인이 된다 (Lee et al., 2009).

따라서 본 연구는 무경운 논에서 피복작물로 자운영, 벧짚, 헤어리베치, 유채, 호밀 등을 처리하고 토양 깊이별 벼 뿌리의 생육상황과 활성 유기물 함량을 조사하여 무경운 벼 재배기술을 보완하기 위한 기초자료를 제공하기 위해 수행하였다.

## 재료 및 방법

**재배환경 및 시험포장 조건** 무경운 논에서 녹비종류에 따른 벼 뿌리 분포에 미치는 영향을 검토하기 위하여 경남농업기술원 시험포장 (35°12'26"N, 128°07'06"E)에서 시험을 수행하였다. 시험토양은 하성평탄지에 분포하는 배수가 양호한 이현통 (Ihyeon Series)으로 분류된 미사질양토 (모래 9.1, 미사 73.0, 점토 17.9%)에서 유기농 재배지와 유사한 토양조건을 만들기 위하여 자운영, 헤어리베치, 유채, 호밀, 벧짚 등의 녹비가 사용된 포장으로 일미벼를 시험품종으로 선정하여 시험을 수행하였다. 재배기간인 5월에서

접수 : 2011. 5. 19 수리 : 2011. 6. 8

\*연락처 : Phone: +82557716413

E-mail: lyh2011@korea.kr

10월까지 평균 기온은 21.5°C, 강우량은 1,430 mm였다. 토양 양분관리를 위해 토양 검정 시비처방과 화학농약을 사용한 경운 처리구 (관행)와 무경운 논에서 관행농자재를 사용하지 않고 유기농업 방법으로 무처리, 벧짚, 헤어리베치, 유채, 호밀, 자운영을 완전임의배치법 3반복으로 처리하였다. 벧짚 소독은 마른 종자를 60°C에서 8분간 실시하여 5월 16일에 파종하였고 파종량은 상자당 130 g이었다. 피복작물은 시험 전년도 11월 4일에 ha 기준으로 헤어리베치 120 kg, 유채 21 kg, 호밀 132 kg, 자운영은 66 kg을 파종하였다. 무경운 논에서 생육된 피복작물의 C/N율은 헤어리베치가 13, 자운영은 16으로 낮은 반면 벧짚은 59, 유채는 57, 호밀은 67이었다. 벧짚, 유채 및 호밀은 예취하여 10 cm 크기로 잘라서 토양에 피복하였고 헤어리베치는 예취하여 그대로 피복하여 담수하였으며 자운영은 예취를 하지 않고 하고현상이 일어난 후 자연 상태에서 담수하였다. 시험포장의 담수는 5월 28일에 실시하였고 6월 13일에 기계이앙 하였다. 무경운 처리구는 10 cm 깊이로 담수하여 이앙 2일 전에 물을 댄 후 이앙 4일 후 다시 10 cm 깊이로 담수하였다. 무경운 처리구의 잡초방제를 위하여 녹비작물을 피복하고 관개수위를 10 cm 높이로 조절하였다.

**뿌리 생육조사 및 활성 유기물 조사방법** 생육초기 벼 뿌리에 대한 조사는 6월 29일에 농촌진흥청 연구조사 분석기준 (RDA, 2003)에 준하여 0.2 m × 0.2 m의 격자를 이용하여 토양을 30 cm 깊이까지 3반복으로 채취하여 발근장, 발근수, 발근중, 발근량 (신근장 × 신근수)을 조사하였다. 또한, 수확기에는 원통모노리스법 (Morita et al., 1996)에 준하여 직경 25 cm, 길이 40 cm 원통을 이용하여 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm 토양 깊이에서 뿌리의 건조중량과 활성 유기물 함량을 조사하였다. 벼 뿌리와 활성 유기물은 10 L 원통에 0.5 mm 체를 사용하여 토양을 수돗물로 세척하여 핀

셋으로 분리하였다. 분리된 벼 뿌리와 활성 유기물은 70°C에서 48시간 건조시켜 건조 중량으로 환산하였다 (NIAST, 2000).

**통계 분석방법** 모든 연구결과의 통계분석은 SAS 9.1.3 버전 (2006)을 사용하였다. 벼 뿌리 생육조사 및 활성 유기물 함량 등은 5% 유의수준에서 Duncan's multiple range test를 수행하였다.

## 결과 및 고찰

**벼 생육초기 뿌리 분포조사** 생육초기 무경운 유기물 피복에 따른 벼 뿌리 분포는 Table 1과 같다. 발근장은 무경운 자운영 처리구에서 6.7 cm로 가장 길었으며 무경운 녹비무처리와 무경운 유채 처리구에서 6.1 cm, 무경운 헤어리베치 처리구가 5.8 cm로 그 다음을 차지하였고, 벧짚 5.5 cm, 그리고 관행과 무경운 호밀 처리구가 각각 3.9 cm, 3.8 cm를 나타냈다. 그러나 주당 발근수는 관행이 45 no. plant<sup>-1</sup>, 무경운 유채처리구가 42 no. plant<sup>-1</sup>로 많았으며, 무경운 자운영 처리구는 32 no. plant<sup>-1</sup>, 무경운 호밀 처리구는 28 no. plant<sup>-1</sup>였으며, 무경운 헤어리베치 처리구는 24 no. plant<sup>-1</sup>, 무경운 벧짚 처리구는 18 no. plant<sup>-1</sup>, 무경운 녹비무처리구는 17 no. plant<sup>-1</sup>로 낮은 수준이었다. 전체적인 발근량을 볼 때 무경운 유채 처리구가 256 cm로 가장 높았으며 무경운 자운영 처리구 214 cm, 관행 176 cm, 무경운 헤어리베치 처리구는 139 cm였으며 무경운 호밀 처리구는 106 cm, 무경운 녹비무처리는 104 cm과 무경운 벧짚 처리구는 99 cm를 나타냈다. 일반적으로 무경운 상태에서 벼 생육초기에는 표토의 경도가 높고 벧짚과 잡초 등이 고사되면서 발생된 유기물질 등으로 인해 벼의 뿌리가 충분히 성장하지 못하여 뿌리분포가 불량하다고 보고되고 있으나 (Kwon and

**Table 1. Early rice root growth affect by no-tillage rice cover crop cropping systems.**

| Treatment <sup>†</sup> | Length of root<br>cm | Number of root<br>No. plant <sup>-1</sup> | Dry weight of root<br>g plant <sup>-1</sup> | Amount of root<br>cm |
|------------------------|----------------------|---|---|----------------------|
| CTFS                   | 3.9c <sup>‡</sup>    | 45a                                       | 0.24a                                       | 176b                 |
| NTNT                   | 6.1ab                | 17c                                       | 0.15b                                       | 104c                 |
| NTRS                   | 5.5b                 | 18c                                       | 0.16b                                       | 99c                  |
| NTRA                   | 6.1ab                | 42a                                       | 0.25a                                       | 256a                 |
| NTRY                   | 3.8c                 | 28b                                       | 0.24a                                       | 106c                 |
| NTHV                   | 5.8ab                | 24bc                                      | 0.20ab                                      | 139bc                |
| NTCM                   | 6.7a                 | 32b                                       | 0.28a                                       | 214ab                |

<sup>†</sup>CTFS, conventional tillage without rice straw or green manure crop treatment; NTNT, no-tillage without cover crops; NTRS, no-tillage amended with rice straw; NTRA, no-tillage amended with rape; NTRY, no-tillage amended with rye; NTHV, no-tillage amended with hairy vetch; NTCM, no-tillage amended with Chinese milk vetch.

<sup>‡</sup>Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

Kuk, 2002) Wilhelm (1998)은 경운은 토양환경 변화를 가져와 밀의 경우 경운에 비해 무경운에서 뿌리 건물량이 증가한다는 상반된 보고가 있다. 본 연구에서는 무경운 상태에서 유채와 자운영 처리구는 벼 초기 뿌리 분포는 관행에 비해 양호하였다.

**토양 깊이별 벼 뿌리 분포** 수확기 토양 깊이별 벼 뿌리의 건중은 Table 2와 같다. 토양 깊이 0-5 cm에서 무경운 벼질 처리구에서 128 g m<sup>-2</sup>로 다른 처리구에 비해 유의적으로 높았다 ( $p < 0.05$ ). 무경운 자운영 처리구도 83.5 g m<sup>-2</sup>로 무경운 벼질 처리구를 제외한 다른 처리구에 비해 유의적인 차이를 보였으며 무경운 헤어리베치 처리구는 53.0 g m<sup>-2</sup>으로 가장 낮았다. 토양 0-5 cm 층위의 벼 뿌리 분포 비율은 76-86%로서 높은 수준을 보였으며 층위가 깊을수록 분포비율이 낮아지는 경향이였다. 토양 깊이 5-10 cm에서 무경운 녹비작물은 자운영, 벼질=관행, 헤어리베치=호밀, 유채=무처리 순으로 낮았으며 대체적으로 호밀, 유채

등 거친 유기물 처리구에서 벼 뿌리 중량이 낮았다. 그리고 토양깊이 10-15 cm에서는 무경운 벼질 처리구가 가장 높았고, 무경운 호밀 처리구가 3.5 g m<sup>-2</sup>으로 유의적으로 낮은 벼 뿌리 건중을 보였으나 다른 처리간에는 차이가 없었다. Cho et al. (1995)은 무경운 논에서 뿌리분포는 경운에 비해 0-10 cm에서 5.8-1.9% 정도 많이 분포하였으나 10-20 cm에서는 오히려 경운구에서 많이 분포한다고 하였으나 본 연구에서는 유채를 제외한 관행과 무경운 처리구간의 차이는 없었다. 그러나 무경운 그리고 무경운 기계이앙재배는 뿌리량의 감소, 심층 분포비율의 저하로 뿌리 도복 발생이 우려되므로 (Park et al., 2002) 뿌리 발달을 촉진시킬 수 있도록 식부장치를 최대한 깊게 조절하여 이앙하거나 물관리 등에 대한 기술적인 보완이 필요할 것으로 생각되었다.

**활성 유기물 함량 비교** 수확기 토양 깊이별 활성 유기물 함량은 Table 3과 같이 0-5 cm에서는 무경운 자

**Table 2. Dry weight of rice root affect by no-tillage rice cover crop cropping systems at harvesting stage.**

| Treatment <sup>†</sup> | Dry weight of rice root at soil profile |         |          |
|------------------------|---|---------|----------|
|                        | 0-5 cm                                  | 5-10 cm | 10-15 cm |
|                        | ----- g m <sup>-2</sup> -----           |         |          |
| CTFS                   | 64.0cd <sup>‡</sup>                     | 15.5ab  | 4.5ab    |
| NTNT                   | 64.0cd                                  | 7.5c    | 4.0ab    |
| NTRS                   | 128.0a                                  | 15.5ab  | 5.5a     |
| NTRA                   | 69.5bc                                  | 8.5c    | 4.5ab    |
| NTRY                   | 73.0bc                                  | 11.0b   | 3.5b     |
| NTHV                   | 53.0d                                   | 12.5b   | 4.5ab    |
| NTCM                   | 83.5b                                   | 17.5a   | 4.5ab    |

<sup>†</sup>CTFS, conventional tillage without rice straw or green manure crop treatment; NTNT, no-tillage without cover crops; NTRS, no-tillage amended with rice straw; NTRA, no-tillage amended with rape; NTRY, no-tillage amended with rye; NTHV, no-tillage amended with hairy vetch; NTCM, no-tillage amended with Chinese milk vetch.

<sup>‡</sup>Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

**Table 3. Dry weight of active organic matter in soil affect by no-tillage rice cover crop cropping systems at harvesting stage.**

| Treatment <sup>†</sup> | Dry weight of active organic matter at soil profile |         |          |
|------------------------|---|---------|----------|
|                        | 0-5 cm  | 5-10 cm | 10-15 cm |
|                        | ----- g m <sup>-2</sup> -----                       |         |          |
| CTFS                   | 434d <sup>‡</sup>                                   | 310b    | 188bc    |
| NTNT                   | 426d  | 198d    | 139d     |
| NTRS                   | 1,295b  | 251c    | 211b     |
| NTRA                   | 1,309b  | 386a    | 265a     |
| NTRY                   | 1,072c  | 265c    | 167c     |
| NTHV                   | 917c  | 242c    | 164c     |
| NTCM                   | 1,684a  | 290b    | 179c     |

<sup>†</sup>CTFS, conventional tillage without rice straw or green manure crop treatment; NTNT, no-tillage without cover crops; NTRS, no-tillage amended with rice straw; NTRA, no-tillage amended with rape; NTRY, no-tillage amended with rye; NTHV, no-tillage amended with hairy vetch; NTCM, no-tillage amended with Chinese milk vetch.

<sup>‡</sup>Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

운영 처리구가 1,684 g m<sup>-2</sup>으로 가장 많았으며 무경운 유채 처리구 1,309 g m<sup>-2</sup>, 무경운 벗짚 처리구 1,295 g m<sup>-2</sup>, 무경운 호밀 처리구 1,072 g m<sup>-2</sup>, 무경운 헤어리베치 처리구 917 g m<sup>-2</sup> 순이었고, 관행 434 g m<sup>-2</sup>와 무경운 녹비무처리구는 426 g m<sup>-2</sup>으로 가장 낮은 함량을 보였다. 그러나 5-10 cm 깊이에서는 무경운 유채 처리구의 활성 유기물 함량이 386 g m<sup>-2</sup>으로 가장 많았고 관행은 310 g m<sup>-2</sup>, 무경운 자운영 처리구는 290 g m<sup>-2</sup>을 나타냈다. 토양 깊이 10-15 cm에서는 무경운 유채 처리구가 265 g m<sup>-2</sup>으로 가장 높았으며 무경운 벗짚 처리구는 211 g m<sup>-2</sup>을 나타냈으며 관행은 188 g m<sup>-2</sup>이었다. 이러한 결과는 Hong et al. (2003)이 보고한 바와 같이 무경운 논에서는 경운 논과 달리 표토에 5 cm 정도 유기물 층이 형성되므로 무경운 피복작물 처리는 토양 깊이 0-5 cm의 표층에 유기물이 집적되는 것을 알 수 있었다. 이상의 연구결과 무경운 피복작물 작부체계에서 벗짚 처리구와 자운영 처리구는 벼 뿌리 생육과 활성 유기물 함량을 증대시키는 것으로 판단되었으며 토양 내 활성 유기물 저장과 관련하여 무경운 논에서 깊이별 활성 유기물 함량의 분포비율의 변동에 대한 지속적인 검토가 필요할 것으로 생각되었다.

## 요 약

무경운 논에서 피복작물로 자운영, 벗짚, 헤어리베치, 유채, 호밀 등을 처리하고 토양 깊이별 벼 뿌리의 생육상황과 활성 유기물 함량을 조사하였다. 벼 생육초기 주당 발근량은 무경운 유채 처리구가 256 cm로 가장 양호하였으며 무경운 자운영 처리구는 214 cm, 관행은 176 cm, 무경운 헤어리베치 처리구는 139 cm, 무경운 호밀 처리구는 106 cm, 무경운 녹비무처리구는 104 cm, 무경운 벗짚 처리구는 99 cm 순으로 나타났다. 토양 깊이 0-5 cm에서 무경운 벗짚 처리구에서 128 g m<sup>-2</sup>로 다른 처리구에 비해 유의적으로 높았다 ( $p < 0.05$ ). 무경운 자운영 처리구도 83.5 g m<sup>-2</sup>로 무경운 벗짚 처리구를 제외한 다른 처리구에 비해 유의적인 차이를 보였으며 무경운 헤어리베치 처리는 53.0 g m<sup>-2</sup>으로 가장 낮았다. 토양 깊이별 활성 유기물 함량은 0-5 cm에서 무경운 자운영 처리구가 1,684 g m<sup>-2</sup>으로 가장 많았으며 무경운 유채 처리구 1,309 g m<sup>-2</sup>, 무경운 벗짚 처리구 1,295 g m<sup>-2</sup>, 무경운 호밀 처리구 1,072 g m<sup>-2</sup>, 무경운 헤어리베치 처리구 917 g m<sup>-2</sup> 순이었고 관행은 434 g m<sup>-2</sup>, 무경운 녹비 무처리구는 426 g m<sup>-2</sup>으로 매우 낮은 함량을 보였다. 본 연구결과 무경운 피복작물 작부체계에서 벗짚 처리구와 자운영 처리구는 벼 뿌리 생육과 활성 유기물 함량을 증대시키는 것으로 판단되었다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ006906 202011)의 지원에 의해 이루어진 것임을 밝힙니다.

## 인 용 문 헌

- Barley, K.P. 1970. The configuration of the root system in relation to nutrient uptake. *Adv. Agron.* 17:159-201.
- Cho, H.J., I.S. Jo, B.K. Hyun, and J.S. Shin. 1995. Effects of different tillage practices on changes of soil physical properties and growth of direct seeding rice. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 28(4):301-305.
- Hong, K.P., Y.G. Kim, W.K. Joung, G.M. Shon, G.W. Song, Y.J. Choi, and Z.R. Choe. 2003. Changes in physicochemical properties of soil, yield and milling quality of rice grown under the long-term no-till rice system. *Korean J. Crop Sci.* 48(3):196-199.
- Jeon, W.T., C.Y. Park, Y.S. Cho, K.D. Park, E.S. Yun, U.G. Kang, S.T. Park, and Z.R. Choe. 2003. Spatial distribution of rice root under long-term chemical and manure fertilization in paddy. *Korean J. Crop Sci.* 48(6): 484-489.
- Kim, J.Y., Y.S. Lee, K.P. Hong, B.J. Lee, G.M. Shon, Y.J. Choi, and Z.R. Choe. 1993. Effects of direct sowing and mechanical transplanting on the growth of rice in no-tillage paddy rice system. *Crop Production and Improvement Technology in Asia* 73-82.
- Kwon, O.D. and Y.I. Kuk. 2002. Weed occurrence, growth and yield of rice transplanted with 30-day-old seedlings in no-tillage paddy fields. *Korean J. Weed Sci.* 22(3): 199-206.
- Lee, Y.H. 2010. Evaluation of no-tillage rice cover crop cropping systems for organic farming. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:200-208.
- Lee, Y.H., D. Son, and Z.R. Choe. 2009. Effects of rice-winter cover crops cropping systems on the rice yield and quality in no-tillage paddy field. *Korean J. Environ. Agric.* 28(1):53-58.
- Morita, S. and J. Abe. 1996. Root system architecture of rice plants based on formation of phytomers. *Proceeding of the international symposium (Maximizing sustainable rice yields through improved soil and environmental management)*, Thailand.
- Newman, E.I. and R.E. Andrews. 1973. Uptake of phosphorus and potassium in relation to root growth and root density. *Plant Soil* 38:49-69.
- NIAST (National institute of Agricultural Science and Technology), 2000. *Methods of analysis of soil and plant*, NIAST, Suwon, Korea.
- Park, H.K., S.S. Kim, W.Y. Choi, K.S. Lee, and J.K. Lee.

2002. Effect of continuous cultivation years on soil properties, weed occurrence, and rice yield in no-tillage machine transplanting and direct dry-seeding culture of rice. *Korean J. Crop Sci.* 47(3):167-173.
- RDA (Rural Development Administration). 2003. Standard of analysis and survey for agricultural research. RDA, Suwon, Korea.
- SAS Institute, 2006. SAS Version 9.1.3 for Window, SAS Inst., Cary, NC.
- Wilhelm, W.W. 1998. Dry-matter partitioning and leaf area of winter wheat grown in a long-term fallow tillage comparisons in the US Central Great Plains. *Soil Till. Res.* 49:40-56.