

녹비작물 환원 시 Glomalin 함량에 따른 토양물리성 및 벼 수량 변화

전원태* · 성기영 · 김민태 · 오계정 · 오인석 · 강위금

농촌진흥청 국립식량과학원

Changes of Soil Physical Properties by Glomalin Concentration and Rice Yield using Different Green Manure Crops in Paddy

Weon-Tai Jeon, Ki-Yeong Seong, Min-Tae Kim, Gye-Jeong Oh, In-Seok Oh, and Ui-Gum Kang

National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

This experiment was conducted at Sinheung series (fine loamy, mixed, nonacid, mesic family of Fluvaqueptic Endoaquepts) in 2007 to 2008 at the National Institute of Crop Science (NICS), RDA, Suwon, Gyeonggi province, Korea. Three kinds of green manure crops (hairy vetch, barley, rye) incorporated in soil for rice cultivation. 6.3 kg N 10a⁻¹, and 3.2 kg P₂O₅ 10a⁻¹ were applied to rye and barley plot before rice transplanting. Chemical fertilizers had not been applied to hairy vetch plot. Glomalin concentration, soil bulk density, and porosity were measured in soil from different green manure crops incorporation after rice harvesting in paddy. Soil bulk density and porosity after rice harvesting improved at surface soil of hairy vetch incorporation plot. Degree of water stable aggregates increased all green manure incorporation plots. Glomalin concentrations significantly increased at hairy vetch incorporation treatment. In barley plot, the concentration of glomalin increased at 10-20 soil depth. There were no differences relationship between soil carbon, and glomalin concentration, but relationship between soil aggregate stability, and glomalin concentration significantly positive under green manure crop-rice cropping system. Rice yield decreased at hairy vetch incorporation plot because of field lodging. We suggested that hairy vetch incorporation should be considered about application amount, and water management using rice cultivation because of soil properties changes.

Key words: Green manure, Soil physical properties, Glomalin, Rice yield, Paddy

서 언

최근 저탄소 녹색성장이 화두가 되고 있다. 이에 따라 농림수산식품부는 겨울철 유희농경지에 녹비작물 재배면적을 2012년까지 22만ha까지 확대할 계획이다. 녹비작물은 화학비료를 대체하기 위하여 푸를 때 (green stage) 토양에 넣어 주는 두과, 화본과 등의 작물을 말한다 (Park et al., 2008). 자연에서 얻는 천연비료식물이라고 할 수 있겠다.

녹비작물은 화학비료를 절감 또는 대체 할 수 있는 식물자원으로 토양비옥도의 유지와 증진에 이용할 수 있다. 우리나라도 일제강점기인 1930년대에 자운영, 헤어리베치 등이 약 150,000 ha가 재배 (Lee, 1983)되기도 하였다.

녹비작물의 재배와 이용 시 토양유기물 유지와 질소 이용성이 증대된다고 알려져 있다 (Fred and Harold, 2000). 그리고 토양물리성인 공극률, 입단안정도, 투수력 등도 증대된다고 보고 (Jeon et al., 2008; Bronick and Lai, 2005)하고 있다. 이러한 원인은 토양부식의 증가로만 인식되어 왔었다. 그러나 미국의 Wright와 Upadhyaya (1996)가 최초로 glomalin이라는 물질을 동정하였고 이 물질은 토양입단화 촉진 및 토양탄소 축적과 관련 있는 것으로 밝혀졌다 (Rillig, 2007; Clark, 2007). Glomalin은 AMF (arbuscular mycorrhizal fungi)의 균사에서 분비되는 물질 (Wright et al., 1996; Rillig and Mummey, 2006)인 당단백질 (glycoprotein)로 당과 단백질의 두 가지 특성을 가지고 있다.

기존 glomalin의 연구는 주로 미국, 캐나다 등의 밭토양에서 이루어졌다. 아직까지 한국의 논토양에서 토양물리성이나 탄소함량과 관련된 glomalin에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 특히 녹비작물 이용 벼 재배 시 녹비작물을 환원하기 위하여 로타리경운 등이 행하여지

접수 : 2010. 3. 17 수리 : 2010. 4. 13

*연락처 : Phone: +82312906783

E-mail: jeon0550@rda.go.kr

고 벼가 재배되는 6월부터 9월 중순까지 담수상태를 유지하고 있다. 이러한 벼 중심의 윤작체계에서 Glomalin 함량의 변화와 더불어 토양의 용적밀도와 공극률의 변화를 구명함으로써 녹비작물 이용 벼 재배의 기초 자료를 얻고자 본시험을 수행하였다.

재료 및 방법

본 시험은 경기도 수원시 권선구 서둔동에 소재하고 있는 국립식량과학원 벼 시험포장 신흥통 (식양질)에서 수행하였다. 시험에 사용된 녹비작물은 헤어리베치, 호밀, 보리 3종이었다. 파종은 2007년 10월 부분경운파종기를 이용하였다. 부분경운파종기는 트랙터 부착형 8조 식으로 조간이 25 cm 이며 배수골 중앙부분은 35 cm, 배수골 양쪽은 20 cm이다. 이때 부분경운의 폭은 8 cm, 깊이 7 cm이며, 배수골 폭은 10 cm, 깊이는 12 cm이다. 자세한 파종 모식도와 파종기는 그림 1에 나타나 있다.

10a 당 파종량은 헤어리베치는 9 kg, 호밀과 보리는 각 14 kg이었다. 녹비의 토양 투입은 호밀 5월 7일, 헤어리베치와 보리는 5월 14일에 하였다. 벼 품종은 녹비 이용 윤작체계에 유리한 중생종인 품미벼를 6월 2일에 25일 묘를 기계이앙하였다. 벼 재배 시 관행시비량은 10a 당 질소, 인산, 칼리를 각각 9 kg, 4.5 kg, 5.7 kg을 사용하였다. 호밀과 보리는 토양에 환원 후 질소와 인산만 10a 당 6.3 kg와 3.2 kg을 사용하였다. 헤어리베치 투입구는 화학비료를 전혀 사용하지 않고 무비로 벼를 재배하였다. 녹비작물의 생초중은 1 m × 1 m 의 지상부를 예취하여 현장에서 평량 후 환산하였다. 건물중은 충분히 비닐하우스에서 풍건 후 건조기 60°C에서 24시간 건조 후 평량하여 환산하였다. 식물체 내의 질소와 탄소는 원소분석기 CNS2000 (LECO, USA)을 이용하여 분석하였다.

토양시료는 벼 수확 후 표토와 심토로 구분하여 채취하였다. 표토는 0-10 cm, 심토는 10-20 cm에서 채취하였다. 용적밀도와 공극률은 교란되지 않는 부분에서 100

cm³ 코아를 이용하여 채취 후 즉시 밀봉하였다. 실험실로 운반하여 습토의 무게를 평량한 후 110°C 건조기에 48시간 이상 건조한 다음 건토의 무게를 측정하였다. 토양의 탄소와 질소도 원소분석기 CNS2000 (LECO, USA)를 이용하여 분석하였다.

토양의 내수성입단화율은 wet sieving 기기 (Eijkelkamp 08. 13, Netherlands)를 이용하여 분석하였다. 4 g의 토양을 0.25 mm 입단체에 놓은 후 3분간 상하작동을 시킨 후 체에서 더 이상 물이 흘러나오지 않으면 캔을 꺼내어 무게를 측정한 캔에 옮긴 다음 완전히 건조시킨 후 무게를 측정하였다. 또한 다른 캔에 분산제 (2 g NaOH L⁻¹) 100 ml를 채웠다. 5-8분간 상하작동 후 분산용액이 흘러나오지 않을시 무게를 측정한 캔에 옮긴 후 수분이 날아갈 때까지 건조시킨 후 무게를 측정하였다. Glomalin의 분석은 냉장 보관 된 토양 시료 1 g에 sodium pyrophosphate 8 ml를 넣고 121°C에서 1시간 autoclaving 시켰다. 상등액을 따로 분리한 후 침출액을 다시 넣고 autoclaving 과정을 2회 더 반복하였다. 분리된 상등액을 모아 부피를 측정한 후 3000 rpm에서 15분 원심분리한 후 분리된 상등액의 일정량을 microtube에 옮긴 후 10,000 × g에서 원심분리시켰다. 그리고 상등액을 Quick Start Bradford Protein Assay (Whiffen et al., 2007)에 따라 분석하였다. 그 외 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법 (1988)에 준하였다. 벼 수량 및 수량구성요소 조사는 농촌진흥청 농사시험연구 기준 (RDA, 2003)에 따라 조사하였다.

결과 및 고찰

답리작은 벼 수확 후 표층수가 없는 논토양 상태를 말한다. 이러한 토양조건에서 녹비작물 헤어리베치, 보리, 호밀을 부분 경운 파종으로 재배하여 투입한 녹비작물의 생초중, 건물중, 질소생산성 및 탄질률 (C/N)은 표 1과 같다. 생초중은 보리 (1,900 kg 10a⁻¹)와 호밀 (1,600 kg 10a⁻¹)에 비하여 헤어리베치가 10a 당 2,100 kg으

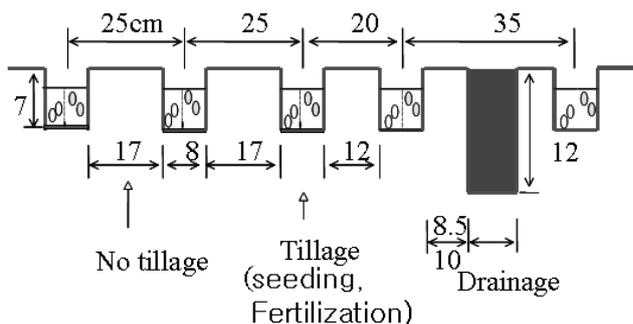


Fig. 1. Layout of partial tillage seeding (left), and seeder (right).

Table 1. Biomass, nitrogen production, and C/N of different green manure crops in paddy.

Green manure crops	Fresh weight	Dry weight	Nitrogen productivity	C/N ratio
	kg 10a ⁻¹	kg 10a ⁻¹	kg 10a ⁻¹	
Hairy vetch	2,100	384b	10.8	14.3
Barley	1,900	488a	6.3	48.8
Rye	1,600	461a	4.1	61.1

* different letters indicate statistical significance at the $p = 0.05$ level.

Table 2. The changes of soil porosity, bulk density, and degree of water stable aggregates by different green manure crops after rice harvesting.

Crop rotation systems	Soil depth	Porosity	Bulk density	Water stable aggregates
	cm	%	Mg m ⁻³	%, >250 μm
Mono culture	0-10	57.3	1.13	39.9
	10-20	55.8	1.17	47.0
Hairy vetch-Rice	0-10	59.9	1.07	61.6
	10-20	55.1	1.19	66.5
Barley-Rice	0-10	59.3	1.08	53.7
	10-20	58.0	1.11	56.9
Rye-Rice	0-10	62.0	1.01	46.6
	10-20	54.8	1.20	55.2

로 높았으나 건물중은 보리와 호밀이 무거웠다. 이는 헤어리베치의 수분함량이 많음에 원인이 있다. 그러나 벼 생육에 필요한 질소의 생산성은 탄질률이 낮고 질소함량이 높은 헤어리베치가 10.8 kg 10a⁻¹으로 가장 높았다 (Table 1).

녹비작물이 투입되면 토양의 물리성이 변화된다 (Jeon et al., 2008; Bronick and Lai, 2005). 벼 수확 후 토양의 표토 (0-10 cm)와 심토 (10-20 cm)에서 토양의 공극률, 용적밀도와 내수성입단화율을 조사하였다 (Table 2). 표토에서는 벼 단작의 공극률 57.3%와 용적밀도 1.13 Mg m⁻³에 비하여 모든 녹비 투입구에서 공극률이 증대하고 용적밀도는 감소하는 경향이였다. 심토에서는 벼 단작의 공극률 55.8%와 용적밀도 1.17 Mg m⁻³에 비하여 보리 투입구의 공극률 58.0%와 용적밀도 1.11 Mg m⁻³으로 물리성 개선되는 경향이였고 다른 녹비작물 투입구에서 뚜렷한 변화가 없었다. 표토에서 물리성의 변화가 뚜렷한 원인은 녹비작물의 환원 시 로타리 경우으로 대부분 표토에 투입되기 때문으로 판단되었다. 그러나 내수성입단화율은 관행에 비하여 모든 녹비투입구가 높았고 표토보다 심토에서 높았다. 내수성입단화율은 식물체의 투입보다는 뿌리의 미세한 근들이 더 중요한 원인으로 작용되어 증가된 것으로 추정되었다.

어떠한 원인에서 녹비 투입 시 표토의 공극률과 용적 밀도가 개선되고 내수성입단화율이 증가되는지를 검토하

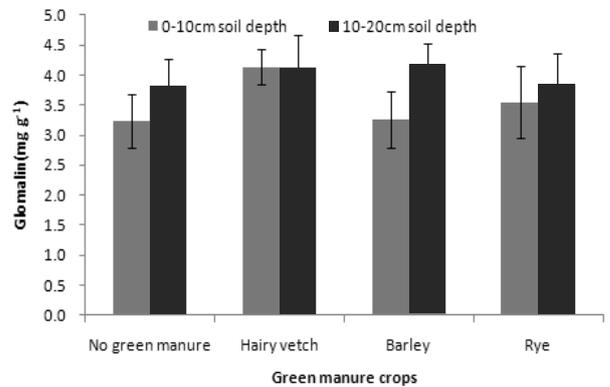


Fig. 2. The changes of glomalin concentration by different green manure crops after rice harvesting.

기 위하여 벼 수확 후 토심별 녹비 투입에 따른 glomalin을 분석하였다 (Fig. 2). Glomalin은 녹비를 투입하지 않은 1 모작에 비하여 녹비 이용 벼 재배구에서 glomalin의 함량이 증가되는 경향이였다. 표토에 비하여 심토에서 높은 경향을 보였고 특히 헤어리베치의 표토에서 glomalin의 함량이 유의성 있게 증가하였다. 심토의 보리구에서는 헤어리베치구와 같은 수준으로 증가하였다. 이는 호밀보다 보리의 뿌리가 입단형성과 glomalin의 함량 증가에 기여한 것으로 추정되었다.

벼 재배 후 glomalin 함량과 내수성입단화율과의 상관관계를 조사한 결과 유의한 정의 상관관계가 있었다

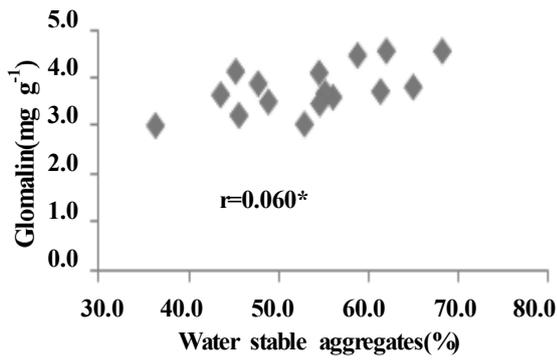


Fig. 3. Relationship between degree of water stable aggregates, and glomalin concentration by different green manure crops after rice harvesting.

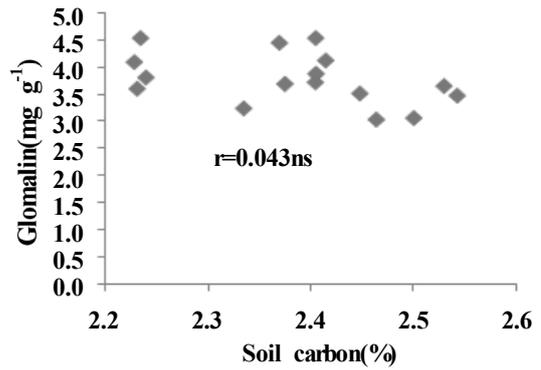


Fig. 4. Relationship between soil carbon, and glomalin concentration by different green manure crops after rice harvesting.

Table 3. Rice yield, yield components, and field lodging using green manure crops.

Crop rotation systems	Panicle no. hill ⁻¹	Spikelets no. panicle ⁻¹	Filled grain ratio %	1,000-grain weight g	Rice yield kg 10a ⁻¹	Field lodging 0-9
Mono culture	17.3	87	83.4	22.1	522a	0
Hairy vetch-Rice	19.7	84	88.5	21.3	493b	5
Barley-Rice	18.3	76	88.0	21.3	518a	0
Rye-Rice	15.1	77	83.4	22.2	498b	0

* Different letters indicate statistical significance at the $p = 0.05$ level.

(Fig. 3). Wright 등 (2007)은 glomalin 함량은 토양의 내수성입단과 고도로 유의한 상관이 있다고 보고하였다 (Wright et al., 2007). 본 시험의 결과에서 고도로 유의한 상관이 나오지 않은 이유는 벼 재배 후 분석을 하였기 때문으로 추정된다. 녹비 투입 시의 로타리경운 및 벼 재배기간의 담수상태로 경과가 주요한 원인으로 사료되었다. 그러나 녹비이용 벼 윤작체계의 논토양에서도 glomalin의 함량과 내수성입단의 정의 상관관계는 확인할 수 있었다.

벼 수확 후 토양내 glomalin 함량과 토양탄소의 상관관계를 조사한 결과 상관관계가 인정되지 않았다 (Fig. 4). 그러나 내수성입단과 같이 glomalin도 토양탄소와 밀접한 관계가 있는 것으로 보고(Wright and Upadhyya, 1996; Nichols and Wright, 2005; Wright et al., 2007)되어 있다. 이들의 연구는 내수성입단율과 마찬가지로 발토양 조건에서 이루어진 결과로 벼 수확 후 분석한 본 시험과 상이한 결과가 나온 것으로 추정된다. 그러나 장기적으로 녹비작물 투입, 경운방법 등을 개선할 경우 논토양에서도 유기물함량이 증가될 수 있을 것으로 생각되었다.

Table 1의 녹비를 이용하여 재배한 벼의 수량 및 수량구성요소를 나타낸 것이 Table 3이다. 벼 단작 (1기작)의 관행시비구 (522 kg 10a⁻¹)와 보리녹비 투입구 (518 kg 10a⁻¹)는 쌀수량의 유의적 차이가 없었다. 이는 보

리녹비구에 이양 전 질소와 인산질 비료를 10a 당 6.3 kg과 3.2 kg을 사용한 것에 기인된 것으로 생각되었다. 호밀구는 동일한 비료를 사용하여도 관행시비구보다 수량이 낮은 것은 보리보다 질소생산량이 적고 호밀의 탄질률 (C/N)이 높아 질소부동화 현상이 일어나서 수량이 낮아진 것으로 추정되었다. 헤어리베치구는 10a 당 10.8 kg의 질소가 생산되어 벼 재배 시 추가의 화학비료를 사용하지 않았다. 그러나 생육 후기에 포장도복이 발생하여 수량이 감소하였다. 포장 도복의 원인은 헤어리베치가 공급한 충분한 질소량도 있으나 glomalin의 함량 증가에 따른 토양의 단위 부피당 용적밀도가 낮아져 벼 식물체를 지지하는 힘이 약하여 생육후기에 도복이 발생한 것으로 생각되었다. 따라서 녹비작물 헤어리베치를 이용하여 벼 재배 시 투입되는 양분량과 같이 토양의 물리성 변화도 감안하여 본답 관리를 할 때 친환경적 안전 벼 재배가 가능할 것으로 판단되었다.

요 약

녹비작물 헤어리베치, 보리, 호밀을 이용하여 벼 재배 시에 토양 물리성, glomalin 함량 및 벼 수량 변화를 구명하고자 본 시험을 수행하였다. 보리와 호밀은 10a 당 질소와 인산을 각각 6.3 kg과 3.2 kg을 사용하였고 헤어리베치는 화학비료 사용 없이 벼를 재배하였

다. 시험장소는 경기도 수원시에 소재하고 있는 국립식량과학원 벼연구포장인 신흥통에서 중생종인 품미벼를 재배하였다.

녹비작물 이용 벼 수확 후 토심 10-20cm에서의 토양물리성이 뚜렷한 차이가 없었으나 0-10cm에서 용적 밀도가 감소하고 공극률이 증가하였다. 헤어리베치 투입구에서 용적밀도와 공극률이 뚜렷이 개선되었다. 내수성 입단화율은 모든 녹비투입구에서 증가되는 경향이였다. Glomalin의 함량은 1모작 관행시비구에 비하여 모두 증가하는 경향이였고 헤어리베치구에서 유의적으로 증가하였다. 심토에서는 헤어리베치와 같이 보리 시용구에서도 증가되었다. Glomalin 함량과 내수성입단화율이 정 의 유의한 상관관계가 인정되었고 토양탄소함량과는 상 관관계가 없었다. 벼 수량은 관행시비한 1모작에 비하여 보리+화학비료 시비구는 비슷하였으나 호밀+화학비료 투입구는 낮았다. 화학비료를 전혀 투입하지 않은 헤어 리베치구의 벼 수량은 포장도복으로 감소하였다. 따라서 논토양에서 녹비작물 헤어리베치 이용 벼 재배 시 토양 의 물리성이 변화하기 때문에 투입량, 본답 물관리 등에 유의해야 될 것으로 생각되었다.

인 용 문 헌

Bronick, C.J., and R. Lai., 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124:3-22.

Clark, A. 2007. Managing cover crops profitably (third edition). Sustainable agriculture network. MD, USA.

Fred, M., and E., Harold. 2000. Building soils for better crops. 10. cover crops p. 87. Sustainable Agriculture Network.

Jeon, W.T., M.T. Kim, K.Y. Seong, and I.S. Oh. 2008. Changes of soil properties and temperature by green manure under rice-based cropping system. *Korean J. Crop Sci.* 53: 413-416.

Lee, H.J. 1983. Korean Agricultural Technology History Chart 5. Production technology of forge and green manure crops. Jungminsa. pp.433-459.

Nichols, K.A., and S.F. Wright. 2005. Comparison of glomalin and humic acid in eight native U.S. soils. *Soil Sci.* 170:958-997.

Park, S.T., W.T. Jeon, M.T. Kim, K.Y. Sung, J.H. Ku, I.S. Oh, B.K. Lee, Y.H. Yoon, J.K. Lee, K.H. Lee, and J.H. Yu. 2008. Understanding of environmental friendly agriculture and rice production using green manure crops. RDA, NICS. Sammi. Suwon. pp.20-21.

RDA. 1988. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Suwon, Korea.

RDA. 2003. Standard methods for agricultural experiments. Rural Development Administration, Suwon, Korea.

Rillig, M.C., and D.L. Mummey. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist* 171:41-53.

Rillig, M.C., B.A. Caldwell, H.A.B. Wösten, and P. Sollins. 2007. Role of proteins in soil carbon and nitrogen storage: controls on persistence. *Biogeochemistry* 85:25-44.

Whiffen, L.K., D.J. Midgley, and P.A. McGee. 2007. Polyphenolic compounds interfere with quantification of protein in soil extracts using the Bradford method. *Soil Biol. Biochem.* 39:691-694.

Wright, S.F., and A. Upadhyaya. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil sci.* 161:575-586.

Wright, S.F., M. Franke-Snyder, J.B. Morton, and A. Upadhyaya. 1996. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. *Plant Soil* 181:193-203.

Wright, S.F., V.S. Green, and M.A. Cavigelli. 2007. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. *Soil Till. Res.* 94:546-549.