

Economic Value of Soil Biodiversity in Arable Land

Young Kyu Hong¹, Jin Wook Kim¹, Byung Keun Hyun², Hyuck Soo Kim³, Jae E. Yang⁴, and Sung Chul Kim^{5*}¹Doctoral Candidate, Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea²Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Academy of Agricultural Sciences, Wanju-Gun 55365, Korea³Assistant Professor, Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea⁴Professor, Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea⁵Professor, Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea*Corresponding author: sckim@cnu.ac.kr

ABSTRACT

Received: February 24, 2021**Accepted:** February 25, 2021

ORCID

Sung Chul Kim

<https://orcid.org/0000-0002-2521-6516>

Biodiversity in agricultural field is an important factor in terms of enhancement of crop production and maintenance of agriculture sustainability. Main objective of this study was to estimate economic value of biodiversity in agricultural field. Two factors, reduction of fertilizer with legume crop cultivation and crop production with honeybee pollination, were evaluated based on national statistics. Result showed that economic value of legume crop cultivation and honeybee pollination was about 2,179 million won and 5.2 trillion won respectively. In particular, economic value of honeybee pollination was reduced 0.7 trillion won compared to 10 years ago. We could assume that global warming might contribute to the reduction of pollination insect including honeybee and consequently decrease of crop production.

Keywords: Agricultural soil, Biodiversity, Economic value, Legume crop, Pollination

Yield and annual income of crops in Korea (2019).

	Dependency of insect pollination (D)	Proportion of honeybee among flower visitors (P)	Economic contribution of honeybee (Vhb, million won)
Cereal	0.04	0.75	202,386
Vegetables	0.25	0.75	1,958,798
Fruit	0.35	0.75	2,268,503
Medicinal crop	0.36	0.75	734,196
Total			5,163,884



Introduction

농경지 토양의 생물 다양성 (biodiversity)은 토양의 생태계 서비스 (ecosystem service)의 주요한 요인이며 생물 다양성이 풍부함에 따라 건강하고 생산적인 농경지 토양을 확보하여 농작물의 안정적인 생산을 보장할 수 있다 (Pimentel et al., 1997; Brady et al., 2015; Adhikari and Hartemink, 2016; Brevik et al., 2018). 하지만 생태계 서비스의 주요 항목인 바이오매스 생산, 수자원 함양, 탄소 고정 등과 같은 토양의 주요 기능에 대한 연구는 활발한 반면 토양의 생물 다양성에 대한 연구는 미비한 실정이다 (Brussaard et al., 2007; Greiner et al., 2017; Plaas et al., 2019).

토양의 생물 다양성 기능 향상에 따른 생태계 서비스의 가치 향상은 토양 내 질소, 인산, 탄소 등과 같은 양분 순환 기능을 증대시킬 뿐만 아니라 곤충에 의한 화수분의 기능에 의해 많은 작물 생산이 이루어 지고 있다 (Pimentel et al., 1997; Lanno et al., 2004; Pascual et al., 2015; Mamat et al., 2018).

농경지 토양의 다양한 생물 다양성 항목 중 꿀벌에 의한 화수분의 경제적 가치는 국내외에서 많은 연구가 진행되었다. 곤충에 의한 화분 매개는 비단 농업뿐만 아니라 생태계에서 매우 중요한 요인이며 전 세계적으로 약 1,500개의 작물 중 화분 매개를 필요로 하는 작물은 약 30%로 추정되고 있어 화수분이 생태계 서비스에 기여하는 바는 크다고 할 수 있다. 미국의 경우 62개 작물의 생산 손실을 바탕으로 꿀벌의 화분 매개체의 경제적 가치를 약 \$1.6 - 8.3 billion 으로 추정하였으며 (Southwick and Southwick, 1992) 국내의 경우 2006년 자료를 기준으로 약 5.9조 원으로 추정하였다 (Jung, 2008). 하지만 최근 기후 변화에 의해 곤충의 화수분 효율 및 작물의 생산성 등에 변화가 일어나고 있어 이에 대한 가치 산정은 필요한 실정이다.

생태계 서비스의 가치 평가에 대한 선행 연구 중 Costanza et al (Costanza et al., 1997)에 의하면 전 세계의 토지 이용에 따른 생태계 서비스의 총 가치는 약 \$ 33 trillion 으로 산정하였으며 특히 농경지 토양의 생태계 서비스 기능 중 화수분 (pollination), 생물학적 조절 (biological control), 그리고 작물 생산 (food production)에 대한 경제적 가치는 각각 14, 24, 54 dollar/ha/yr로 산출하였다. 하지만 이 연구는 다양한 가정과 가설을 통해 생태계 서비스의 총 가치를 산정하였으며 설문 조사를 통한 willing-to-pay 방법에 의해 가치를 산정하여 생태계 서비스에 대한 가치가 최소로 평가 되었다는 단점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 국내의 통계자료를 활용하여 농경지 토양의 생물 다양성 기능 중 중요한 기능을 선별하여 경제적 가치를 평가하였다.

Materials and Methods

평가 항목 농경지 토양의 생물 다양성에 따른 경제적 평가를 위해 i) 두과 작물 재배에 따른 농경지 토양의 질소 비료 절감, ii) 꿀벌에 의한 화수분 (pollination) 가치 비용으로 분류하였다. 선행 연구 결과를 바탕으로 농경지 토양의 생물 다양성 항목 중 작물 생산에 영향을 미칠 수 있는 양분 순환 및 화수분의 항목을 선택하여 평가 하였다 (Costanza, 1997).

경제적 가치 평가 생물 다양성에 따른 농경지 토양의 가치 평가를 위해 두과 작물 재배에 따른 농경지 토양의 질소 비료 절감 비용은 경작지 별 (논과 밭) 콩과작물 재배 면적과 질소 비료의 단가를 이용하여 산출하였다 (Hyun et al., 2018). 꿀벌에 의한 화수분 가치는 국내외에서 많이 적용되었던 Robinson (Robinson et al., 1989) 방법을 적용하였다. Robinson 방법에 의한 꿀벌의 화수분 가치 평가는 작물 별 연 생산액, 곤충 화분매개 의존율, 그리고 화분매개

곤충 중 꿀벌의 비중을 고려하여 산출하였다 (Jung, 2008) (Eq. 1).

$$\text{꿀벌화분 매개의 가치 (Vnb)} = V \times D \times P \quad (\text{Eq. 1})$$

V: 해당 작물의 년 생산액

D: 곤충 화분매개 의존율 ($D = (Y_0 - Y_c)/Y_0$)

P: 화분매개 곤충 중 꿀벌의 비중

Y_0 : 야외 또는 화분 매개충을 방사한 후 생산량

Y_c : 화분 매개충이 없는 경우 생산량

Results and Discussion

두과 작물 재배에 따른 농경지 토양의 질소 비료 절감 두과 작물 재배에 따른 논, 밭 농경지 토양의 질소 비료 절감에 대한 경제적 가치 평가를 위해 작물별 논과 밭의 재배면적과 비료 단가를 이용하여 가치 평가를 실시하였다 (Table 1). 국가 통계 포털 (KOSIS, Korean Statistics Information System)의 콩과 작물 재배 면적을 참조하여 2019년 기준 논과 밭의 콩과 작물 재배 면적은 총 71,679 ha 였다. 이 중 밭토양의 콩 재배 면적이 47,066 ha로 전체 면적의 약 65.7%를 차지하여 가장 많은 면적을 차지하고 있으며 다음으로는 논에서의 콩 재배 면적이 11,471 ha로 전체 면적의 16.0%를 차지하였다. 콩과 작물에 의해 저감되는 질소 비료의 양은 Eurostat의 환산 계수인 $76 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 를 사용하여 산출 하였다. 산출 결과 논과 밭에서 재배되는 두과 작물에 의한 총 질소 비료 감소량은 약 5,557.6톤이었으며 논 914.4톤, 밭 4,533.2톤으로 논에 비해 밭토양에서 약 4.96배 정도 높았다. 산출된 질소량에 유통되는 질소 비료 (요소)의 가격인 400,000원/톤을 적용하여 경제적 가치를 평가한 결과 두과 작물 재배에 따른 질소 비료의 총 경제적 가치는 약 21억 7천 9백만 원이며 이 중 논은 3억 6천 5백만 원, 그리고 밭은 18억 1천 3백만 원 정도로 산출되었다 (Table 1).

꿀벌에 의한 화수분의 경제적 가치 꿀벌에 의한 화수분 (pollination)의 경제적 가치는 선행 연구에서 많이 적용한 Robinson et al. (1989) 모델을 기본으로 사용하였다. Robinson 모델에 의한 꿀벌의 화수분 경제적 가치 평가는 작물 별 재배면적, 연간 생산량, 연간 생산 이익, 작물생산에 기여하는 화분매개 의존율, 그리고 각 생물 별 화분매개 기여율을 바탕으로 산출 하였다. 본 연구에서는 2019년 농업 통계 자료를 이용하여 작물 별 경작면적, 수입, 그리고 최종 경제적 가치를 산출하였다. 2019년 기준 국내 총 경작 면적은 143만 1,064 ha 였으며 이 중 식량 작물이 약 64.59%인 92만 4,291 ha로 가장 넓은 면적을 차지하고 다음으로는 채소 재배 면적이 전체 경작 면적의 18.58%인 26만 5,898 ha를 차지하고 있었다. 각 작물 별 총 수입을 산출하기 위해 농축산물 소득 자료집을 참고하여 각 작물 별 단위 면적당

Table 1. Economic value of nitrogen fertilizer reduction due to legume crop cultivation.

Land use	Area (ha)					Production kg	Value (million won)
	Soybean	Red bean	Green bean	Others	Total		
Paddy	11,471	195	45	321	12,032	914,432	365.77
Upland	47,066	5,698	1,496	5,387	59,647	4,533,172	1,813.27
Total	58,537	5,893	1,541	5,708	71,679	5,447,604	2,179.04

Table 2. Cultivation area of varied crops in Korea (2019).

	Area (ha)	Ratio (%)	Unit income (won/ha)	Total income (million won)
Cereal	924,291	64.59	7,298,790	6,746,209
Vegetables	265,898	18.58	39,289,220	10,446,925
Fruit	160,571	11.22	53,819,905	8,641,916
Medicinal crop	80,304	5.61	33,861,890	2,719,245
Total	1,431,064	100.00		28,554,292

Table 3. Yield and annual income of crops in Korea (2019).

	Dependency of insect pollination (D)	Proportion of honeybee among flower visitors (P)	Economic contribution of honeybee (Vhb, million won)
Cereal	0.04	0.75	202,386
Vegetables	0.25	0.75	1,958,798
Fruit	0.35	0.75	2,268,503
Medicinal crop	0.36	0.75	734,196
Total			5,163,884

수입액과 경작 면적을 고려하였다. 작물 별 총 수입액은 약 28조 5,500억 원이었으며 이 중 채소 재배의 총 수입이 약 10조 4,400억, 과수 8조 6,400억 원으로 산출되었다 (Table 2).

꿀벌의 화수분에 의한 경제적 가치를 산출하기 위해 작물 별 곤충에 의한 화수분의 비율 (D), 그리고 곤충 중 꿀벌의 화수분 비율 (P)을 고려하여 최종 경제적 가치를 평가하였다 (Table 3). 작물 별 곤충에 의한 화수분 비율은 선행 연구를 참고하였으며 곤충 중 꿀벌에 의한 화수분 비율은 0.75로 통일하였다. 곤충에 의한 화수분 비율은 약용 작물이 36%로 가장 높았으며 식량작물의 경우 4%의 화수분 비율을 나타내었다.

꿀벌에 의한 작물 별 경제적 총 가치는 약 5조 1,638억 원으로 산출되었으며 이 중 과수의 꿀벌에 의한 화수분의 경제적 가치는 총 가치의 약 43.9%인 2조 2,685억 원이었으며 다음으로는 채소의 꿀벌에 의한 화수분의 경제적 가치가 총 가치의 약 37.9%인 1조 9,587억 원으로 산출되었다 (Table 3). Jung (2008)의 연구에 의하면 꿀벌에 의한 화수분의 경제적 가치는 약 5.9조 원이었으며 2019년을 기준으로 한 본 연구의 경우 약 5.2조 원으로 산정되어 10년 전에 비해 약 0.7조 원 감소한 것으로 산출되었다. 2019년을 기준으로 농작물의 총 생산액이 약 28.6조 원이었으며 꿀벌에 의한 화수분의 경제적 가치가 5.2조 원이므로 꿀벌에 의한 화수분이 총 생산액의 약 18.2%를 차지하였다.

Conclusion

농경지 토양의 생물 다양성에 대한 경제적 가치 평가는 생물 다양성의 향상에 따른 작물 생산 및 농업의 건전성 증대에 기여한다는 점에서 매우 중요하다. 본 연구에서는 다양한 농경지 토양의 생물 다양성 중 두과 작물에 의한 질소 비료의 절감 비용과 꿀벌에 의한 화수분의 경제적 가치를 평가하였다. 평가 결과 두과 작물 재배에 따른 질소 비료의 총 경제적 가치는 약 21억 7천 9백만 원이며 이 중 논은 3억 6천 5백만 원, 그리고 밭은 18억 1천 3백만 원 정도로 산출되었다. 꿀벌에 의한 화수분의 경제적 가치는 약 5.2조 원으로 이는 10년전에 비해 약 0.7조 원 감소하였으며 이는 기후 변화 및 곤충 개체 수 감소 등이 원인으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was supported financially by a grant from the research project (PJ014493032020) of National Institute of Agricultural Sciences, Republic of Korea.

References

- Adhikari, K. and A.E. Hartemink, 2016. Linking soils to ecosystem services — A global review. *Geoderma* 262: 101-111.
- Brady, M.V., K. Hedlund, R.-G. Cong, L. Hemerik, S. Hotes, S. Machado, L. Mattsson, E. Schulz, and I.K. Thomsen, 2015. Valuing Supporting Soil Ecosystem Services in Agriculture: A Natural Capital Approach. *Agron. J.* 107: 1809-1821.
- Brevik, E.C., L. Pereg, J.J. Steffan, and L.C. Burgess, 2018. Soil ecosystem services and human health. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 5:87-92.
- Brussaard, L., P.C. de Ruiter and G.G. Brown, 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agric. Ecosyst. Environ.* 121:233-244.
- Costanza, R., R. Arge, R. Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton, and M. Belt, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Greiner, L., A. Keller, A. Grêt-Regamey, and A. Papritz, 2017. Soil function assessment: review of methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem services. *Land Use Policy* 69:224-237.
- Hyun, B., C. Lee, S. Jeon, S. Hong and Y. Zhang, 2018. The Research Review of Soil Ecosystem Services. *Kor. J. Soil. Sci. Fert.* 51:457-470.
- Jung, C.E., 2008. Economic value of honeybee pollination on major fruit and vegetable crops in Korea. *Journal of Apiculture* 23:147-152.
- Lanno, R., J. Wells, J. Conder, K. Bradham, and N. Basta, 2004. The bioavailability of chemicals in soil for earthworms. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 57:39-47.
- Mamat, A., Ü. Halik, and A. Rouzi, 2018. Variations of Ecosystem Service Value in Response to Land-Use Change in the Kashgar Region, Northwest China. *Sustainability* 10.
- Pascual, U., M. Termansen, K. Hedlund, L. Brussaard, J.H. Faber, S. Foudi, P. Lemanceau, and S.L. Jørgensen, 2015. On the value of soil biodiversity and ecosystem services. *Ecosystem Services* 15:11-18.
- Pimentel, D., C. Wilson, C. McCullum, R. Huang, P. Dwen, J. Flack, Q. Tran, T. Saltman, and B. Cliff, 1997. Economic and Environmental Benefits of Biodiversity. *Bioscience* 47:747-757.
- Plaas, E., F. Meyer-Wolfarth, M. Banse, J. Bengtsson, H. Bergmann, J. Faber, M. Potthoff, T. Runge, S. Schrader, and A. Taylor, 2019. Towards valuation of biodiversity in agricultural soils: A case for earthworms. *Ecol. Econ.* 159:291-300.
- Robinson, W.S., R. Nowogrodzki, and R.A. Morse, 1989. The value of honey bees as pollinators of U. S. Crops. *American Bee Journal.* 129:411-423.
- Southwick, E.E. and L. Southwick, Jr., 1992. Estimating the Economic Value of Honey Bees (Hymenoptera: Apidae) as Agricultural Pollinators in the United States. *J. Econ. Entomol.* 85:621-633.