Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2021;40(3):169-178. Korean
Published online 2021 September 19. https://doi.org/10.5338/KJEA.2021.40.3.20

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537

Research Article

Open Access

농업환경보전프로그램의 효과 검증을 위한 지표식물 선정: 논 생태계를 대상으로

김명현*, 김민경, 최순군, 어진우, 엽소진, 방정환

농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 기후변화평가과

Selection of Indicator Plants to Evaluate the Effects of Agri-environmental Conservation Program: On the Rice Paddy Fields in South Korea

Myung-Hyun Kim*, Min-Kyeong Kim, Soon-Kun Choi, Jinu Eo, So-Jin Yeob and Jeong Hwan Bang (Climate Change & Evaluation Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

Received: 22 July 2021/ Revised: 26 August 2021/ Accepted: 12 September 2021

Copyright ⓒ 2021 The Korean Society of Environmental Agriculture

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.

ORCID

Myung-Hyun Kim
https://orcid.org/0000-0002-5590-6622

Min-Kyeong Kim
https://orcid.org/0000-0003-4148-055X

Soon-Kun Choi
https://orcid.org/0000-0003-3494-5371

Jinu Eo
https://orcid.org/0000-0003-3577-9942

So-Jin Yeob
https://orcid.org/0000-0002-4732-6273

Jeong Hwan Bang
https://orcid.org/0000-0001-7569-9600

Abstract

BACKGROUND: The Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs is promoting agri-environment conservation program to induce farmers to participate in agricultural environment improvement and conservation activities. However, assessment tools based on scientific evidence are needed to determine the effectiveness of the program objectively and quantitatively. Therefore, this study was performed to develop plant indicators in order to efficiently evaluate the effects of the agri-environment conservation program promoted by the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.

METHODS AND RESULTS: The survey was conducted in five regions (Hampyeong, Boryeong, Mungyeong, Hongseong, and Sangju) participating in the agri-eonvironment conservation program. In each region, twenty paddy fields were investigated (ten paddy fields included in the program and ten paddy fields not included in the program). A total of 231 taxa vascular plants were identified in the paddy fields that were included in the agri-environment conservation program, and a total of 177 taxa were identified in the paddy fields that were not included. The average species number occurred on each field was 55.8 taxa in the fields included in the program, and 35.0 taxa in the fields not included in the program. The difference in occurring plants between two groups was found to be more higher in perennial plants than in annual plants. We selected the six groups as indicator plants through five criteria such as perennial plants and broadly occurring species, etc. to verify the effectiveness of the agri-environment conservation program: *Taraxacum* spp., *Ixeris* spp., *Viola* spp., *Platago* spp., *Calystegia* spp.,

*Corresponding author: Myung-Hyun Kim
Phone: +82-63-238-2503; Fax: +82-63-238-3823;
E-mail: wildflower@korea.kr

and rare and endagered species. There was a high positive correlation between the score calculated using these indicator plants and the total number of plants species.
CONCLUSION: This study suggests that it is possible to evaluate the agro-ecological environment by using indicator plants. The selected indicator plants can be effectively used to verify the effectiveness of projects such as agri-environmental conservation programs in the future.

Key words: Agri-environmental Conservation Program, Assessment, Biodiversity, Indicator Plants, Perennial Plants

서 론

농업생태계는 식량 생산뿐만 아니라 생물다양성의 보전 등의 다양한 생태계서비스 기능을 가지고 있으며, 국민들은 그 혜택을 받고 있다[1, 2]. 하지만, 일반적으로 농업은 생태계에 제한적으로 존재하는 질소, 인 및 물과 같은 자원의 사용, 살충제 및 제초제 살포, 자연 생태계의 농경지 전환으로 전지구적 생물다양성에 위협을 주는 요인으로 간주된다[3, 4]. 전세계 인구가 지속적으로 증가하고 있는 측면에서 식량 안보를 유지해가면서 생물다양성을 보전해야만 할 것이다[5]. 이러한 목표를 달성하기 위한 하나의 접근방법이 농업환경에 악영향을 줄이기 위해 살균제, 살충제 및 제초제와 같은 작물보호제의 사용을 줄이거나 피하는 친환경농업 또는 유기농업이다. 선행연구에서 유기농업이나 친환경농업은 관행농업보다 생물의 다양도와 풍부도 측면에서 더 높다는 것을 보여주었다[6-9]. 특히, 농업생태계 중 논 생태계는 전세계 절반 이상 인구의 주요한 식량인 쌀을 생산하는 공간이며, 벼의 성장 시간 동안 담수 된 논은 수생식물, 무척추동물, 양서류, 어류, 조류를 포함한 다양한 야생생물의 서식지를 제공한다[10-12].

농림축산식품부는 "제4차 친환경농업육성 5개년 계획(`16~`20)"에 농업환경보전 프로그램 추진을 명시하였다. 농업환경보전프로그램은 농업의 공익적 가치 제고를 위하여 농촌 공동체 활성화, 농업환경 보전의식개선 및 관련 활동 실천 지원을 통해 농업인 등의 농업환경 개선 및 보전 활동 참여를 유도하는 것을 목적으로 하고 있다. 농업환경보전프로그램의 도입을 위하여 2018년 보령, 함평, 문경 3개소 농촌마을을 대상으로 시험사업을 수행하였고, 2019년에 보령, 홍성, 함평, 문경, 상주 5개소에서 본격적으로 농업환경보전프로그램 사업을 도입 및 시행했다. 이러한 농업환경보전프로그램에 의해 생물다양성의 보전효과가 기대되고 있다. 하지만, 농업환경보전프로그램이 생물다양성 및 생태환경 보전 및 개선에 미치는 효과를 객관적이고 정량적으로 평가하고, 정책으로 수행하기 위해서는 과학적 근거에 기초한 농업환경에 대한 지표의 개발 및 선정이 필요하다.

기온, 염도, 오염 등 환경 인자에 대한 직접 측정은 특정 시기와 지점의 상태를 평가하며, 낮은 농도의 오염을 검출하기 위해서는 분석에 많은 비용과 시간이 요구된다. 반면에 지표생물의 이용은 시간의 경과에 따른 서식지 환경 변화와 오염물질의 축적된 영향을 통합적으로 평가할 수 있다[13, 14]. 내성 범위를 가지는 지표생물은 물리적 또는 화학적 측정으로 확인할 수 없는 오염에 대한 간접적 효과를 나타낼 수 있다. 다른 한편으로 서식지 환경을 평가하기 위하여 대상 지역에 존재하는 모든 종을 대상으로 교란에 대한 영향을 확인하는 것은 비현실적이다. 따라서, 교란에 민감한 생물종 즉 지표생물을 선정하여 이용하는 것이 비용과 시간 측면에서 효율적이다. 또한 생태계에 있는 환경 교란에 대한 복잡한 반응을 단순화시킬 수 있어서, 결과 해석에도 도움이 된다.

지금까지 지표생물은 유역[15, 16], 호소[17], 초지[18], 산림[19] 등 다양한 서식지 유형을 대상으로 생태학적 건전성을 평가하는데 활용되어 왔다. 또한 식물[20-22], 딱정벌레[23, 24], 나비[25], 조류[26, 27] 등 다양한 분류군이 지표생물로 사용되거나 제안되었다.

농경지 유형은 일반적으로 논, 밭, 과수원으로 구분할 수 있으며, 특히 논은 우리나라 농경지 면적의 50% 이상을 차지하며, 주식인 벼의 생산뿐만 아니라 홍수조절, 토양침식 방지, 수질 정화, 기후조절, 생물다양성 보전 등 다양한 생태계서비스를 제공한다[28]. 이러한 측면에서, 다른 농경지 유형보다 논에 대한 평가 체계가 선행적으로 수립되어야 할 것이다.

본 연구는 논 생태계를 대상으로 생태계 구성요소의 기본이 되는 식물을 이용하여 농업환경보전프로그램 사업의 효과를 과학적 근거에 기초한 현장 수준에서 평가할 수 있는 지표식물을 선정하고자 수행하였다.

재료 및 방법

조사지역

조사는 농업환경보전프로그램에 참여하고 있는 5개 시범마을 함평(HP), 보령(BR), 문경(MG), 홍성(HS), 상주(SJ)에서 수행되었다(Fig. 1). 농업환경보전프로그램의 효과를 비교하기 위하여 각 시범마을에서 프로그램에 참여하고 논 필지와 인접한 관행농업 논 필지를 선정하여 조사하였다. 구체적으로 각 시범마을에서 농업환경보전프로그램 중 많은 농가에서 참여하고 있는 "제초제를 사용하지 않고 잡초 제거하기" 활동을 수행하고 있는 논 경작지 10개 필지와 프로그램에 참여하지 않고 제초제를 사용하여 제초관리를 수행하고 있는 논 경작지 10개 필지를 대상으로 총 20개 필지를 조사하였다. "제초제를 사용하지 않고 잡초 제거하기"는 농업환경보전프로그램에서 개인활동으로 분류되어 있으며, 활동에 대한 비용은 1,000 ㎡ 당 50,000원으로 책정되어 있다. 제초제를 사용하지 않는 구체적인 활동방법으로 화염제초기, 예취기를 사용하여 제초를 제거하는 방법, 가을갈이(추경)을 하여 잡초를 제거하는 방법, 논을 밭으로 바꾸거나, 밭을 논으로 바꾸며 농사를 지어 잡초를 제거하는 답전윤환재배 방법이 제시되어 있다. 제초제 사용은 직접적으로 식물을 고사시킬뿐만 아니라 살포 대상 지역의 식물 다양도, 풍부도 및 군집에 영향을 줌

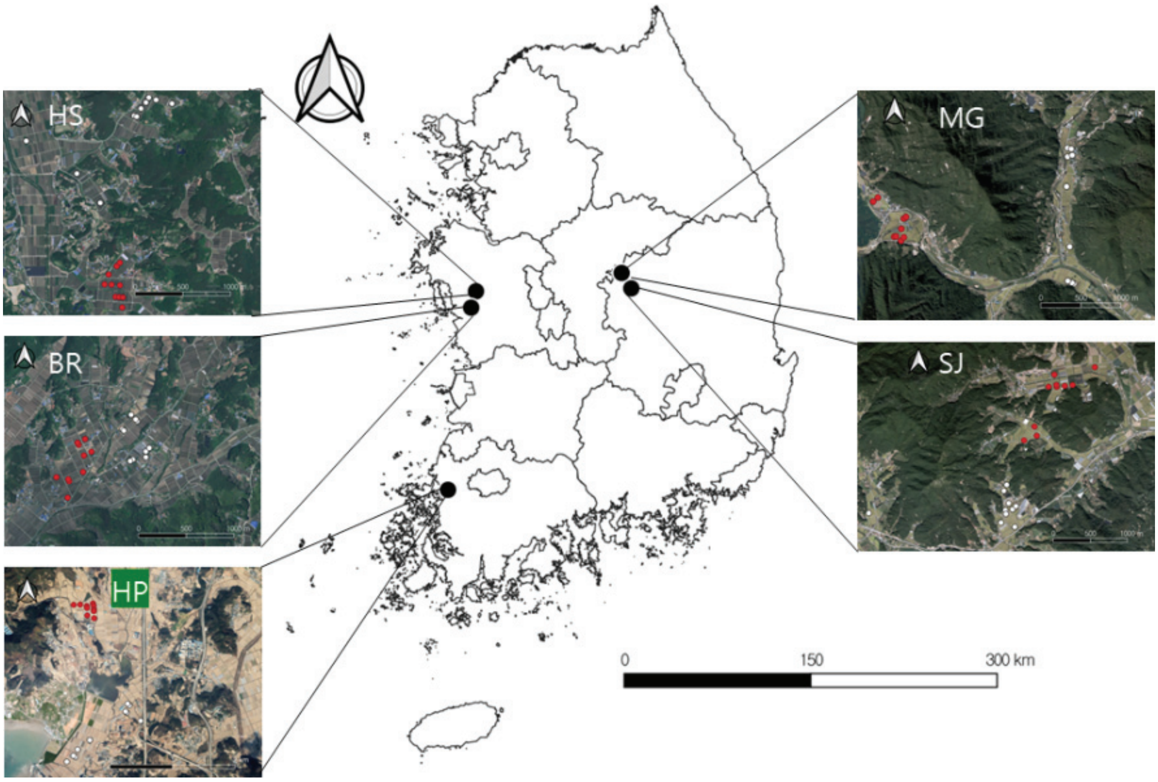

Fig. 1. Map of survey sites. Paddy fields that participate (white circle) and do not participate (red circle) in the agri-environmental conservation program. Two-letter codes for each region are explained in the text (BR: Boryeong; HP: Hampyeong; HS: Hongseong; MK: Mungyeong; SJ: Sangju).

으로써 이들을 먹이 및 은신처 등으로 이용하는 곤충에서 조류까지 다양한 동물군집에 영향을 미칠 수 있다[29, 30].

식물상 조사

식물상 조사는 2019년 5월, 7월 및 9월 3차례에 걸쳐 수행하였으며, 출현종은 보도로 이동하면서 육안으로 확인하였다. 조사 범위는 대상 논 필지의 내부와 논둑을 포함하였고, 양치식물 이상의 고등식물(관속식물)의 분류군을 대상으로 하였다. 조사 지역에서 미동정된 식물은 채집 또는 사진을 촬영 후 실험실에서 식물도감을 이용하여 동정하였다[31-34].

식물지표 선정

식물지표의 선정은 현장 조사에서 수집된 식물상 조사 자료를 이용하여, 다음의 다섯 기준을 순차적으로 적용하여 선정하였다. 첫 번째 기준은 다년생식물이다. 조사된 관속식물 중에서 다년생식물을 추출했다. 일반적으로 교란이 적은 곳에서 다년생식물의 비율이 높다[28, 35]. 두 번째 기준은 전국적으로 분포하는 식물이다. 전국에 일괄적으로 적용할 수 있는 지표식물을 선정하는 것이 선정된 지표의 향후 활용 측면에서 효율적이기 때문이다. 세 번째 기준은 교란에 민감한 식물이다. 본 연구에서 교란은 제초제 사용이 된다. 육상생태계 내의 식물을 포함한 야생생물에 직접 또는 간접적으로 악영향을 미치는 농업 활동 중 하나가 제초제 사용이다[36]. 네 번째 기준은 종 또는 종군의 구분이 쉬운 식물이다. 지표식물을 활용한 농업생태환경 평가의 확산을 위해서는 전문가가 아닌 일반인들이 최소한의 교육을 통하여 쉽게 구분할 수 있는 식물이어야 할 것이다. 다양한 분류군을 대상으로 지표생물을 선정하고 제시한 많은 선행연구에서 동정 및 분류의 용이성이 중요하게 언급되었다[37-40]. 마지막으로는 환경부 지정 멸종위기식물 및 산림청 지정 희귀식물의 유무이다. 이러한 식물종들은 농업생태환경 이외의 자연생태환경에서도 중요한 가치를 가지므로, 이들 종의 출현에 대해서는 추가적인 의미 부여가 필요할 것이다. 농업생태계에는 매화마름, 물고사리, 삼백초 등의 멸종위기 식물과 쥐방울덩굴, 낙지다리, 벗풀, 물질경이, 물잔디, 창포 등의 희귀식물이 출현하는 것으로 보고되어 있다[28, 41-44].

통계분석

농업환경보전프로그램에 포함되어 있는 활동 중 하나인 '제초제 사용하지 않고 잡초 제거하기' 활동에 참여한 필지와 참여하지 않는 필지 간의 종수를 비교하였다. 종수는 정규분포를 따르지 않기 때문에 두 그룹 사이의 비교는 비모수검정인 윌콕슨 순위 합 검정(Wilcoxon rank sum test)을 실시하였다. 다섯 지역의 비교는 크루스칼-왈리스 검정(Kruskal-Wallis test)

및 R package ‘nparcomp’[45]를 이용한 비모수 튜키-유형 검정(non-parametric Tukey-type test)으로 사후분석(post hoc analysis)을 했다. 각 지점에서 선정된 지표식물을 활용한 점수와 전체 식물 종수의 상관관계는 단순선형회귀분석(Simple linear regression model)을 적용하여 분석하였다. 모든 분석은 R 프로그램(버전 4.0.3)을 활용하였다[46].

결과 및 고찰

관속식물상 현황

식물상 조사 결과 5지역 전체에서 출현한 관속식물은 54과 157속 222종 28변종 3품종 총 253분류군이 확인되었다. 본 조사 결과는 전국의 논 경작지(382분류군)를 대상으로 조사한 선행연구 결과[28]보다는 낮은 수준이었다. [28]의 조사 범위는 전국 33지역으로 본 연구보다 상대적으로 넓은 지역에서 조사되었기 때문에 출현 식물도 상대적으로 많았을 것으로 판단된다. 지역별 전체 출현 식물은 홍성(HS)에서 42과 112속 135종 13변종 1품종 총 149분류군, 보령(BR)에서 39과 112속 127종 20변종 총 147분류군, 함평(HP)에서 37과 105속 131종 15변종 2품종 총 148분류군, 상주(SJ)에서 43과 104속 123종 15변종 총 138분류군, 문경(MG)에서 43과 103속 128종 13변종 3품종 총 144분류군이 확인되었다. 지역별 조사 필지당 평균 출현 식물 분류군 수는 홍성이 51.1(±12.8)분류군으로 가장 높았고, 다음으로 문경 50.0(±13.5), 보령 45.5(±14.7), 함평 41.0(±12.3), 상주 39.4(±10.7) 순으로 높게 나타났다. 지역별 전체 출현 종수에 대한 차이는 가장 많이 출현한 홍성과 가장 적게 출현한 상주 사이에서만 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(Fig. 2; Kruskal-wallis test; χ^2=11.691, p=0.0198). 조사 지역 중 문경의 농업환경보전프로그램에 참여한 필지에서는 국립수목원이 지정한 희귀식물인 쥐방울덩굴(*Aristolochia contorta*)과 물질경이(*Ottelia alismoides*)가 확인되었다.

농업환경보전프로그램 참여에 따른 식물상 비교

각 조사지역에서 농업환경보전프로그램에 참여하는 필지와 참여하지 않은 필지로 구분하여 출현 식물을 확인한 결과, 전체 참여 필지에서는 51과 150속 201종 27변종 3품종 총 231분류군이 확인되었고, 참여하지 않은 필지에서는 46과 119속 156종 19변종 2품종 총 177분류군이 확인되었다. 농업환경보전프로그램에 참여한 필지에서 출현한 식물 종수는 평균 55.8(±10.2)분류군으로 참여하지 않은 필지의 35.0(±7.1)분류군보다 약 1.6배 많은 것으로 확인되었다(Fig. 3). 지역별로 구분하여 프로그램 참여 필지와 참여하지 않은 필지의 출현 종수의 차이에서도 모든 지역에서 참여 필지가 참여하지 않은 필지보다 통계적으로 유의하게 많은 것으로 확인되었다(Fig. 4). [47]의 논 경작지를 대상으로 한 연구에서도 제초제 사용과 식물 다양성은 높은 부의 상관관계가 있다는 것을 밝혔다.

출현 식물의 생활형에 따라 다년생식물과 일년생식물로 구분하여 두 그룹간 차이를 비교한 결과, 일년생식물은 프로그램 참여 필지(39.4±6.7)가 참여하지 않은 필지(28.2±6.7)보다 약 1.4배 많은 것으로 확인되었다(Fig. 5a). 다년생식물은 프로그램 참여 필지(16.4±6.1분류군)가 참여하지 않은 필지(6.7±3.5분류군)보다 약 2.4배 많은 것으로 확인되었다(Fig. 5b). 일반적으로 농경지에서 교란 정도가 낮을수록 다년생식물의 비율이 높아지는 것으로 알려져 있다[48-50]. 본 결과도 상대적으로 교란 정도가 낮은 농업환경보전프로그램 참여 필지와 참여하지 않는 필지의 출현 식물종의 차이는 일년생식물보다는 다년생식물에서 더 큰 것으로 나타났다.

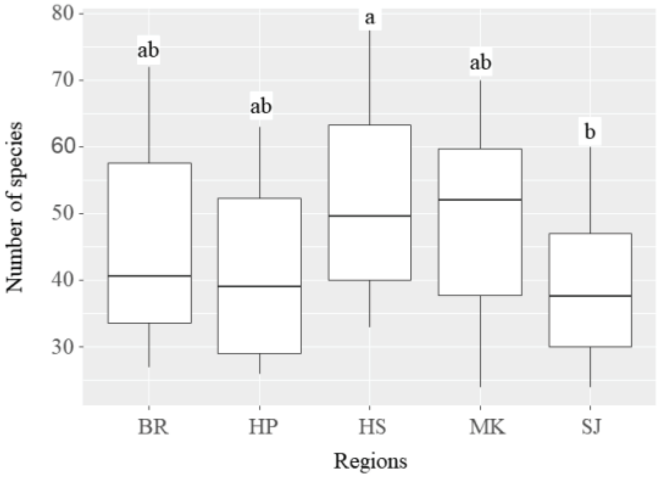

Fig. 2. The number of plant species occurring on each region (BR: Boryeong; HP: Hampyeong; HS: Hongseong; MK: Mungyeong; SJ: Sangju). Boxes represent the interquartile range (IQR) of the data; the median is indicated by the middle bar. The whiskers represent the highest or lowest values up to 1.5 times the IQR from the hinges. The result of Kruskal-Wallis test; χ^2=11.691, df=4, p=0.0198. The small letters represent results of Tukey’s test; a and b are significantly different from each other (p<0.05) whereas neither a and ab nor b and ab differ significantly (p>0.05).

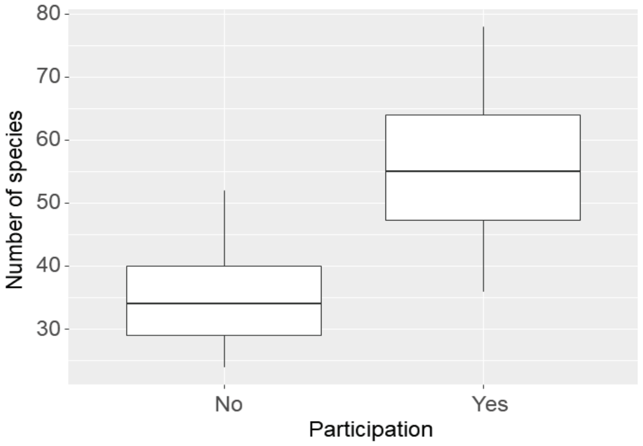

Fig. 3. The number of plant species occurring on crop land that participates and does not participate in the agri-environmental conservation program. Boxes represent IQR of the data; the median is indicated by the middle bar. The whiskers represent the highest or lowest values up to 1.5 times the IQR from the hinges. The result of Wilcoxon rank sum test; W=2379.5, p<0.0001.

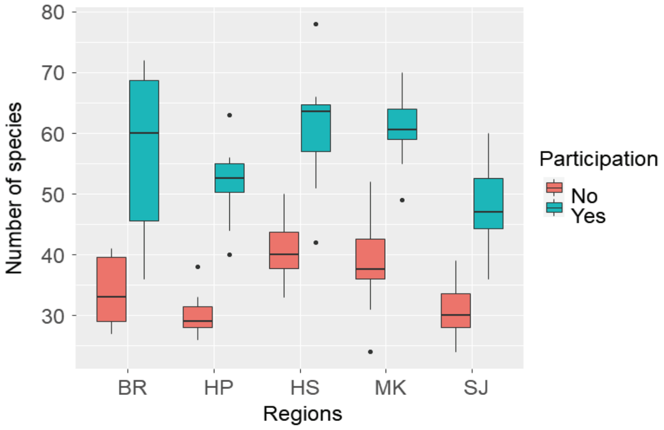

Fig. 4. The number of plant species occurring on crop land that participates and does not participate in the agri-environmental conservation program by region (BR: Boryeong; HP: Hampyeong; HS: Hongseong; MK: Mungyeong; SJ: Sangju). Boxes represent IQR of the data; the median is indicated by the middle bar. The whiskers represent the highest or lowest values up to 1.5 times the IQR from the hinges. The results of Wilcoxon rank sum test; W=96, P<0.001 for BR; W=100, p<0.001 for HS; W=96, p<0.001 for MK; W=98.5, p<0.001 for SJ.

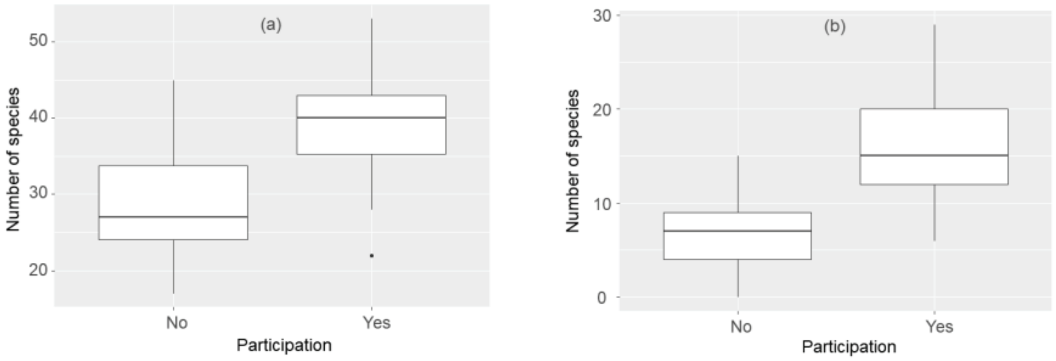

Fig. 5. The number of annual (a) and perennial (b) plant species occurring on crop land that participates and does not participate in the agri-environmental conservation program by region. Boxes represent IQR of the data; the median is indicated by the middle bar. The whiskers represent the highest or lowest values up to 1.5 times the IQR from the hinges. The results of Wilcoxon rank sum test; W=2197, p<0.0001 for annual plant species; W=2310, p<0.0001 for perennial plant species.

농업환경보전프로그램 효과 검증을 위한 지표식물 선정

지표식물 선정의 첫 번째 기준인 다년생식물에는 전체 253분류군 중 95분류군이 해당되었다. 농업환경보전프로그램에 참여하여 제초제를 사용하지 않은 필지에서 출현한 다년생식물은 총 85분류군으로 나타났다. 전국을 대상으로 범용적으로 지표를 적용하기 위해서는 두 번째 기준인 전국적으로 분포하는 식물을 선정해야 할 필요성이 있다. 5개 지역의 농업환경보전프로그램 참여하는 50개 필지에 출현하는 다년생식물 85분류군 중 출현빈도가 30% 이상인 식물을 선발한 결과 23분류군이 선정되었다(Table 1).

세 번째 기준인 교란에 민감한 식물을 선정하기 위해 제초제 등의 교란에 저항성이 있는 식물을 제외하였다. 즉, 농업환경보전프로그램에 참여하지 않은 관행 필지에서 높은 빈도(30% 이상)로 출현하는 쑥(*Artemisia indica*), 쇠뜨기(*Equisetum arvense*), 수염가래꽃(*Lobelia chinensis*), 토끼풀(*Trifolium repens*), 털쇠무릎(*Achyranthes bidentata*), 박주가리(*Metaplexis japonica*), 파대가리(*Kyllinga brevifolia* var. *leiolepis*) 7분류군은 제초제 등의 교란에 대한 저항성이 높은 것으로 판단되어 지표에서 제외함으로써 16분류군으로 축소시켰다. 추가로 제초제 사용에 따른 교란 효과를 명확히 나타내는 종을 선택하기 위하여, 제초제 사용 지역과 사용하지 않는 필지에서 출현빈도가 30% 이상 차이가 나지 않는 올챙이고랭이(*Schoenoplectus juncoides*), 미나리(*Oenanthe javanica*), 참소리쟁이(*Rumex japonicus*), 점나도나물(*Cerastium holosteoides* var. *hallaisanense*), 큰메꽃(*Calystegia sepium*), 참억새(*Miscanthus sinensis*) 등 6분류군은 추가로 제외시켰다. 따라서, 일차적으로 지표식물 대상으로 서양민들레(*Taraxacum officinale*), 벌씀바귀(*Ixeris debilis*), 괭이밥(*Oxalis corniculata*), 제비꽃(*Viola mandshurica*), 질경이(*Plantago asiatica*), 참새피(*Paspalum thunbergii*), 번음씀바귀(*Ixeris polycephala*), 메꽃(*Calystegia pubescens*), 띠(*Imperata cylindrica*), 청사초(*Carex breviculmis*) 총 10분류군이 선정되었다. 네 번째 기준은 종 또는 종군의 구분이 쉬운 식물이다. 이 기준에 따라 지표식물은 전문가가 아닌 일반인들이 최소한의 교육을 통하여 쉽게 확인하고 구분할 수 있어야 하며, 선정된 지표식물은 좀 더 범용적으로 사용될 수 있을 것이다. 따라서, 일반인들이 쉽게 구분하기 어려운 사초과와 벼과에 해당하는 참새피, 띠, 청사초와 왜소하여 쉽게 찾기 어려운 괭이밥을 제외시켰다. 그 결과, 서양민들레, 벌씀바귀, 제비꽃, 질경이, 번음씀바귀, 메꽃 등 6분류군이 선정되었다. 추가로 조사의

Table 1. The list of plants with 30% over occurrence frequency in crop land participating in agri-environmental conservation program

Scientific name (Korean name)	Occurrence frequency (%)	
	Participation (n=50)	Non-participation (n=50)
Artemisia indica (쑥)	94	72
Equisetum arvense (쇠뜨기)	72	58
Trifolium repens (토끼풀)	70	36
Taraxacum officinale (서양민들레)	70	20
Ixeris polycephala (벌씀바귀)	66	4
Oxalis corniculata (괭이밥)	64	14
Kyllinga brevifolia var. *leiolepis* (파대가리)	64	30
Lobelia chinensis (수염가래꽃)	60	50
Viola mandshurica (제비꽃)	58	20
Plantago asiatica (질경이)	56	10
Paspalum thunbergii (참새피)	56	4
Ixeris debilis (번음씀바귀)	52	20
Achyranthes bidentata (털쇠무릎)	50	32
Calystegia pubescens (메꽃)	50	18
Rumex japonicus (참소리쟁이)	44	24
Imperata cylindrica (띠)	44	10
Schoenoplectus juncoides (올챙이고랭이)	44	16
Oenanthe javanica (미나리)	36	14
Metaplexis japonica (박주가리)	36	30
Carex breviculmis (청사초)	34	0
Cerastium holosteoides var. *hallaisanense* (점나도나물)	32	6
Calystegia sepium (큰메꽃)	32	8
Miscanthus sinensis (참억새)	30	4

편의와 동정 및 분류에 따른 오류를 최소화하기 위하여 속 수준으로 지표식물을 확정하였다. 그 결과 농업환경보전프로그램의 효과를 검증하기 위하여 지표식물로 민들레류(*Taraxacum* spp.), 씀바귀류(*Ixeris* spp.), 제비꽃류(*Viola* spp.), 질경이류(*Platago* spp.) 및 메꽃류(*Calystegia* spp.)의 5개 그룹으로 구분되었고, 마지막 기준인 환경부 지정 멸종위기식물과 산림청 지정 희귀식물을 추가하여 최종 6개 그룹이 선정되었다(Table 2).

지표식물을 이용한 평가

각 조사지역에서 선정된 지표식물의 출현 유무를 기록하고, 지표식물 1그룹이 출현하면 1점을 부여한다. 따라서, 지표식물에 의해 부여될 수 있는 최대 점수는 5점이 된다. 추가로 멸종위기종 또는 희귀종이 존재하면 1점을 추가하여 최대 6점까지 될 수 있다.

위의 기준에 따라 평가한 결과, 문경 지역의 농업환경보전프로그램 참여 필지(4.5±0.8)가 가장 높은 점수를 나타냈고, 상주 지역의 농업환경보전프로그램에 참여하지 않는 필지(0.5±0.7)가 가장 낮은 점수를 나타냈다(Table 3).

지표식물을 이용하여 산출된 지표값은 전체 출현 종수에 대하여 높은 설명력을 가지는 것으로 확인됐다(Fig. 6; r^2=0.9138, $p<0.0001$). 이는 농업환경의 종다양성을 평가함에 있어서 조사대상 필지에 출현하는 모든 식물종을 조사하지 않고, 지표식물만을 조사해도 충분한 평가가 가능하다는 것을 의미한다.

Table 2. Indicator plants for assessing the effects of agri-environmental conservation program

Indicator groups	Species occurred in this survey
Taraxacum spp.	*T. officinale, T. coreanum, T. platycarpum*
Ixeris spp.	*I. polycephala, I. debilis, I. chinensis*
Viola spp.	*V. mandshurica, V. patrinii*
Plantago spp.	*P. asiatica*
Calystegia spp.	*C. pubescens, C. hederacea, C. sepium*
Rare and endangered species	*Aristolochia contorta, Ottelia alismoides*

Table 3. Regional mean values of scores calculated with indicator species

Scores	Participation					Non-participation				
	BR	HP	HS	MG	SJ	BR	HP	HS	MG	SJ
Mean (SD)[a]	3.4 (1.5)	2 (1.1)	4.3 (0.5)	4.5 (0.8)	2.8 (1.0)	0.9 (0.9)	0.9 (0.9)	1.8 (1.0)	1.2 (1.0)	0.5 (0.7)
Minimum	1	1	4	3	1	0	0	0	0	0
Maximum	5	3	5	6	4	2	3	3	3	2

[a] Standard deviation

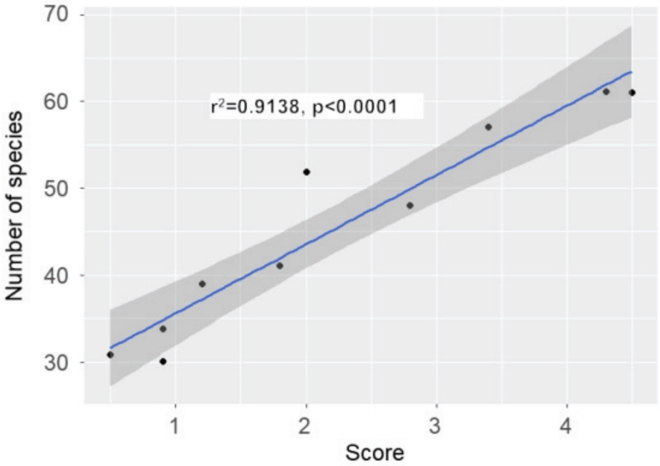

Fig. 6. The relationship between the mean scores calculated with indicator species and the mean values of total species number. The gray-shaded area shows the 95% confidence interval for prediction based on a linear model.

좀 더 넓게 의미를 확대하면, 경작지에 출현하는 식물은 영농 활동에 대해 높은 민감도를 나타내며, 다른 생물 그룹과도 강한 관계를 나타내기 때문에, 식물을 이용하여 농업환경의 생물다양성 관리효과를 평가할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구 결과로부터 농업환경보전프로그램의 일환인 "제초제 사용하지 않고 잡초 제거하기" 활동이 농업생태계의 생물다양성 증진에 효과가 있음을 증명하였다. 벼를 친환경적으로 재배할 경우 쌀 생산량이 11~16% 감소하지만, 국민들에게 안전한 먹을거리를 공급함과 동시에 지속가능한 농업환경과 생물다양성을 증진한다는 측면에서 친환경재배의 확대가 필요하며, 이를 위해서는 농가소득 보전을 위한 적절한 지원 정책이 필요할 것이다[51].

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment

This study was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ01480801)", Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

1. David G (2006) Multifunctionality of agricultural water: Looking beyond food production and ecosystem services. Irrigation and Drainage, 55(1), 73-83. https://doi.org/10.1002/ird.217.
2. Natuhara Y (2013) Ecosystem services by paddy fields as substitutes of natural wetlands in Japan. Ecological Engineering, 56, 97-106. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.04.026.
3. Vitousek PM, Alber JD, Howarth RW, Likens GE, Matson PA, Schindler DW, Schlesinger WH, Tilman DG (1997) Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequence. Ecological Applications, 7(3), 737-750. https://doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[0737:HAOTGN]2.0.CO;2.
4. Tilman D, Fargione J, Wolff B, D'Antonio C, Dobson A, Howarth R, Schindler D, Schlesinger WH, Simberloff D, Swackhamer D (2001) Forecasting agriculturally driven global environmental change. Science, 292, 281-284. https://doi.org/10.1126/science.1057544.
5. Godfray HCJ, Beddington JR, Crute IR, Haddad L, Lawrence D, Muir JF, Pretty J, Robinson S, Thomas SM et al. (2010) Food security: The challenge of feeding 9 billion people. Science, 327, 812-818. https://doi.org/10.1126/science.1185383.
6. Ma SM, Joachim S (2006) Review of history and recent development of organic farming worldwide. Agricultural Sciences in China, 5, 169-178. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(06)60035-7.
7. Han MS, Nam HK, Kang KK, Kim M, Na YE, Kim HR, Kim MH (2013) Characteristics of benthic invertebrates in organic and conventional paddy field. Korean Journal of Environmental Agriculture, 32, 17-23. https://doi.org/10.5338/KJEA.2013.32.1.17.
8. Tuck SL, Winqvist C, Mota F, Ahnstrom J, Turnbull LA, Bengtsson J (2014) Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: A hierarchical meta-analysis. Journal of Applied Ecology, 51, 746-755. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12219.
9. Lichtenberg EM, Kennedy CM, Kremen C, Batáry P, Berendse F, Bommarco R, Bosque-Pérez NA, Carvalheiro LG, Snyder WE et al. (2017) A global synthesis of the effects of diversified farming systems on arthropod diversity within fields and across agricultural landscapes. Global Change Biology, 23, 4946-4957. https://doi.org/10.1111/gcb.13714.
10. Elphick CS, Oring LW (2003) Conservation implications of flooding rice fields on winter waterbird communities. Agriculture, Ecosystems & Environment, 94, 17-29. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00022-1.
11. Taft OW, Haig SM (2005) The value of agricultural wetlands as invertebrate resources for wintering shorebirds. Agriculture, Ecosystem & Environment, 110, 249-256. https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.04.012.
12. Lawler SP (2001) Rice fields as temporary wetlands: a review. Israel Journal of Zoology, 47, 513-523. https://doi.org/10.1560/X7K3-9JG8-MH2J-XGX1.
13. Heink U, Kowarik I (2010) What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. Ecological Indicators, 10, 584-593. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.09.009.
14. Holt EA, Miller SW (2011) Bioindicators: using organisms to measure environmental impacts. Nature Education Knowledge, 2, 8.
15. Moyle PB, Randall PJ (1998) Evaluating the biotic integrity of watersheds in the Sierra Nevada, California. Conservation Biology, 12, 1318-1326. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1998.97161.x.
16. Miller SW, Wooster D, Li J (2007) Resistance and resilience of macroinvertebrates to irrigation water withdrawals. Freshwater Biology, 52, 2494-2510. https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01850.x.

17. Haring AL, Bain MB (1998) Defining and restoring biological integrity in wilderness lakes. Ecological Applications, 8, 71-87. https://doi.org/10.2307/2641312.
18. Pärt T, Söderström B (1999) Conservation value of semi-natural pastures in Sweden: Contrasting botanical and avian measures. Conservation Biology, 13, 755-765. https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.98125.x.
19. Brooks RP, O'Connell TJ, Wardrop DH, Jackson LE (1998) Towards a regional index of biological integrity: The example of forested riparian ecosystems, in: Sandhu S, Jackson L, Austin K, Hyland J, Melzian B, Summers K, Monitoring Ecological Condition at Regional Scales, pp. 131-143, Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4976-1_10.
20. Sampson AW (1939) Plant indicators: concept and status. Botanical Review, 5, 155-206. https://www.jstor.org/stable/4353204.
21. Zonneveld IS (1983) Principles of bio-indication, in: Best EPH, Haeck J, Ecological indicators for the assessment of the quality of air, water, soil, and ecosystems, pp. 207-217, Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-6322-1_2.
22. Anderson EW (1986) Plant indicators of effective environment. Rangelands, 8, 70-73. http://hdl.handle.net/10150/638644.
23. Rodrìguez JP, Pearson DL, Barrera RR (1998) A test for the adequacy of bioindicator taxa: Are tiger beetles (Coleoptera: Cicindelidae) appropriate indicators for monitoring the degradation of tropical forests in Venezuela?. Biological Conservation, 83, 69-76. https://doi.org/10.1016/S0006-3207(97)00017-7.
24. Rainio J, Niemelä J (2003) Ground beetles(Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. Biodiversity and Conservation, 12, 487-506. https://doi.org/10.1023/A:1022412617568.
25. Launer AE, Murphy DD (1994) Umbrella species and the conservation of habitat fragments: A case of a threatened butterfly and a vanishing grassland ecosystem. Biological Conservation, 69, 145-153. https://doi.org/10.1016/0006-3207(94)90054-X.
26. Daily GC, Ehrlich PR, Haddad NM (1993) Double keystone bird in a keystone species complex. Proceedings of the National Academhy of Sciences of the United States of America, 90, 592-594. https://doi.org/10.1073/pnas.90.2.592.
27. Bradford DF, Franson SE, Neale AC, Heggem DT, Miller GR, Canterbury GE (1998) Bird species assemblages as indicators of biological integrity in Great Basin rangeland. Environmental Monitoring and Assessment, 49, 1-22. https://doi.org/10.1023/A:1005712405487.
28. Kim MH, Eo J, Song YJ, Oh YJ (2019) Floristic features of paddy fields in South Korea. Korean Journal of Environmental Biology, 37(4), 690-706. https://doi.org/10.11626/KJEB.2019.37.4.690.
29. Boatman ND (2002) Relationship between weeds, herbicides and birds, in: Marshall EJP, Brown VK, Boatman ND, Lutman PJW, Squire GR, The Impact of Herbicides on Weed Abundance and Biodiversity. pp. 85-102, DEFRA Desk Study PN0940.
30. Brown VK (2002) The impact of herbicides on invertebrates, in: Marshall EJP, Brown VK, Boatman ND, Lutman PJW, Squire GR, The Impact of Herbicides on Weed Abundance and Biodiversity. pp. 59-84, DEFRA Desk Study PN0940.
31. Lee TB (1980) Illustrated flora of Korea, pp. 1-990, Hangmunsa Press, Seoul.
32. Lee WT (1996) Standard illustrations of Korean plants, pp. 1-624, Academy Press, Seoul.
33. Lee WT (1996) Lineamenta florae Koreae, pp. 1-1688, Academy Press, Seoul.
34. Lee TB (2003) Illustrated flora of Korea (1-2), Hangmunsa press, Seoul.
35. Kim MH, Eo J, Kim MK, Oh YJ (2020) Floristic features of upland fields in South Korea. Korean Journal of Environmental Biology, 38(4), 528-553. https://doi.org/10.11626/KJEB.2020.38.4.528.
36. Freemark K, Boutin C (1995) Impacts of agricultural herbicide use on terrestrial wildlife in temperate landscapes: A review with special reference to North America. Agriculture, Ecosystems & Environment, 52, 67-91. https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)00534-L.
37. di Castri F, Vernhes JR, Younés T (1992) Inventoring and monitoring biodiversity: A proposal for an international network. Biology International, 27, 1-25.
38. Gerhardt A (2002) Bioindicator species and their use in biomonitoring. Environmental Monitoring, 1, 77-123.
39. Niemi GJ, McDonald ME (2004) Application of ecological indicators. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 35, 89-111. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130132.
40. Noss RF (1990) Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. Conservation Biology, 4, 355-364. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x.
41. Kwon OD, Kuk YI (2002) Weed occurrence, growth and yield of rice transplanted with 30-day-old seedlings in no-tillage paddy fields. Korean Journal of Weed Science, 22(3), 199-206.

42. Choi BK, Lee CW, Huh MK (2014) Habitat and phytosociological characters of Ceratopteris thalictroides, endangered plant species on paddy field, in Nakdong river. Weed & Turfgrass Science, 3(1), 50-55. https://dx.doi.org/10.5660/WTS.2014.3.1.50.
43. Park MW, Ryu SH, Nam SH, Bae KH (2017) *In vitro* shoot propagation of *Ranunculus kazusensis* Makino, an endangered aquatic plant. Journal of Plant Biotechnology, 44(3), 325-329. https://doi.org/10.5010/JPB.2017.44.3.325.
44. Kim MH, Nam HK, Eo J, Kwon SI, Song YJ (2018) Flora and restoration plan of Hanon paddy fields made in maar crater, Jeju island, South Korea. Korean Journal of Environmental Biology, 36(4), 439-455. https://doi.org/10.11626/KJEB.2018.36.4.439.
45. Konietschke F, Placzek M, Schaarschmidt F, Hothorn LA (2015) nparcomp: An R software package for nonparametric multiple comparisons and simultaneous confidence intervals. Journal of Statistical Software, 64. https://doi.org/10.18637/jss.v064.i09.
46. R Development Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. pp.2-13, R Fundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at http://www.r-project.org. accessed 5 April 2020.
47. Katayama N, Osada Y, Msshiko M, Baba YG, Tanaka K, Kusumoto Y, Okubo S, Ikeda H, Natuhara Y (2019) Organic farming and associated management practices benefit multiple wildlife taxa: A large-scale field study in rice paddy landscapes. Journal of Applied Ecology, 56, 1970-1981. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13446.
48. Kang BH, Shim SI, Ma KH (2003) Floristic composition of plant community in set-aside fields with regard to seral stages. Korean Journal of Environmental Agriculture, 22, 53-59. https://doi.org/10.5338/KJEA.2003.22.1.053.
49. Kim MH, Han MS, Choi CM, Pang HS, Jung MP, Na YE, Kang KK (2010) Flora and life form of habitats for *Nannophya pygmaea* Rambur. Korean Journal of Environmental Agriculture, 29, 206-213. https://doi.org/10.5338/KJEA.2010.29.2.206.
50. Shim IS, Kim JB, Jung YK, Park IH, Kim MH, Shin HS, Cho KJ (2015) Eco-floristic characters of vegetation in successional stages of abandoned paddy fields. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology, 18, 29-41. https://doi.org/10.13087/kosert.2015.18.4.29.
51. Yang SK, Park PS, Son JH, An KN (2018) Environment-friendly and low-carbon agriculture for demand-supply control and food security of Korean rice. Korean Journal of Organic Agriculture, 26(1), 99-128. https://doi.org/10.11625/KJOA.2018.26.1.99.