

국내 주요 녹비작물 논재배 적지 재설정: 1월 평균 최저기온 및 배수등급을 기준으로

김민태* · 김광섭*[†] · 박기도* · 류진희** · 최종서* · 구자환* · 김숙진* · 이춘우* · 이경도*** · 강항원****

*농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부, **농촌진흥청 국립식량과학원,
농촌진흥청 국립농업과학원, *농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부

Reset of Cultivation Zones of Green Manure Crops under Paddy Field in South Korea: Focused on Minimum Temperature and Drainage Class

Min-Tae Kim*, Kwang Seop Kim*[†], Ki Do Park*, Jin-Hee Ryu**, Jong-Seo Choi*, Ja-Hwan Ku*, Suk-Jin Kim*,
Choon-Woo Lee*, Kyungdo Lee***, and Hang-Won Kang****

*Department of Central Area, NICS, RDA, Suwon, 441-707, Korea

**Crop Foundatin Research Div., NICS, RDA, Wonju, 565-851, Korea

***Climate Change & Agroecology Division, NAAS, RDA, Wanju, 565-851, Korea

****Department of Central Area, NICS, RDA, Suwon, 441-707, Korea

ABSTRACT Stable production of green manure crop is one of the critical factor for successful implementation of environmental-friendly agriculture in South Korea. Most green manure crops including hairy vetch cultivated in South Korea must be passed cold winter season. This study was conducted to establishment of cultivation zones on green manure crops under paddy field in South Korea using on minimum temperature and drainage class. In order to build the spatial distribution map, hairy vetch, triticale, barley, rye, and clover as green manure crop were selected and mean of daily minimum temperature and drainage class in paddy field were considered as limiting factor for stable growth of green manure crop. And cultivation zone on green manure crops was divided into two categories; 'Availability area' and 'Safety area'. Low limit temperature on green manure crops in this study was the following. Temperature on 'Availability area' was -10°C , -8°C , -6°C , and -20°C for hairy vetch (including triticale), barley, clover, and rye respectively. And temperature on 'Safety area' was lower -2°C compared to that of 'Availability area' exception rye which was the same degree. Rye was expected to safely cultivated the almost whole paddy field (99.71%) of South Korea. 'Safety area' among the whole paddy field for hairy vetch, barley, and clover were 86.58, 53.06, and 15.76% respectively. The spatial distribution map of green manure crops reestablished in this study could be used the policy and agricultural management for environmental-friendly agriculture using green manure crops

in South Korea.

Keywords : green manure crop, cultivation, minimum temperature, hairy vetch

녹비작물은 토양 비옥도 증진, 토양유실 방지, 유희 농지의 경관 조성 등과 같은 농업, 환경적 측면에서의 다양한 효과를 가진 것으로 알려져 있다(Dabney *et al.*, 2001). 국내에서도 화학비료를 대체하는 친환경농업의 일환으로 인식되어 2009년에 약 14만 ha에 녹비작물이 재배되기도 하였다. 그러나 그 이후 녹비작물의 재배면적은 점차 줄어들어 2013년에는 67천ha까지 줄었다(Table 1). 재배면적 감소의 가장 큰 요인 중의 하나가 사용이 간편한 유기질비료에 비해 안정된 녹비작물의 생체량 확보가 어렵다는 점이다. 국내에서 녹비작물 특히 헤어리베치의 주 활용목적은 벼의 질소양분 공급인데(Yang *et al.*, 2009), 이를 위해서는 질소성분량으로 10a당 9 kg이 넘는 수준, 즉 생체량으로 10a당 15,00~2,000 kg이 확보되어야 한다. 이 경우 또 다른 질소원을 공급하지 않고 벼를 재배할 수 있는 수준이 된다. 이러한 생체량을 확보하기 위해서는 벼 입모중이나 수확 직후인 10월 초순쯤에 파종하여 저온인 겨울철을 견뎌내야 한다. 따라서 동계작물로서 녹비작물의 저온저항성은 생체량 확보를 위한 중요한

[†]Corresponding author: (Phone) +82-31-695-0652 (E-mail) can3838@korea.kr

<Received 20 October, 2014; Revised 24 October, 2014; Accepted 10 February, 2015>

Table 1. Area of green manure corp planted in South Korea

Crop	Area (ha)				
	2009	2010	2011	2012	2013
Hairy vetch	13,834	46,400	42,700	38,000	23,600
Chinese milk vetch	63,576	-	-	-	-
Rye	50,462	23,693	21,656	34,000	31,155
Barley	9,940	32,700	29,393	28,000	12,543
Rattail fescue	-	900	1,050	-	-
Clover	-	4,150	3,308	3,000	250
Total	137,812	108,000	98,098	97,000	67,548

*Source: Environment-friendly agriculture division, Ministry of agriculture, food and rural affairs (2014. Jan)



Fig. 1. A critical boundaries for growing the green manure crops.

요소이다(Brandsæter *et al.*, 2002). 논토양에서 주로 이루어지는 국내의 녹비작물 재배 형태에서 생체량확보를 위한 또 다른 중요한 인자는 토양의 배수정도이다. 녹비작물 특히 헤어리베치를 재배하고 있는 농업현장에서 안정적인 녹비작물 생산의 가장 큰 걸림돌로 습해를 호소하고 있는 실정이다. 이러한 습해는 물 빠짐이 비교적 양호한 밭 및 과수원 보다는 상대적으로 배수가 잘 되지 않는 논에서 주로 나타난다. 실제 국립식량과학원 ‘녹비작물 신품종 육성시험’에서 헤어리베치 23일 묘를 6일간 침수시켰을 때, 무처리 대비 45%의 수량감소를 보였다(Ku *et al.*, 2012). 따라서 논토양에서 녹비작물의 안정적 생산을 위해서는 기온과 토양의 배수정도를 고려하여 적절한 지역에서 재배가 이루어져

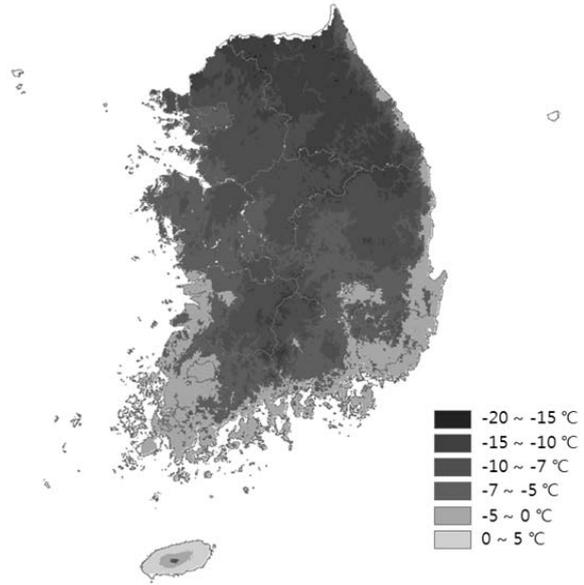


Fig. 2. Spatial distribution of average daily minimum temperature during January in South Korea from 2001 to 2012.

야 한다.

일반적으로 농작물의 재배적지는 주요 작물의 토양특성, 작물생산성, 기후조건 등을 종합적으로 고려하여 재배적지 기준을 설정하여 농업에 활용하기 위한 기초자료로 주로 지도의 형태로 제공된다. 기존의 녹비작물 재배적지지도는 녹비작물의 저온저항성을 고려하여 기온을 기준으로 지도상에 재배한계선을 설정하여 구분하였다(Fig. 1). 이러한 기존 재배지도의 한계선은 한계선 측정지점에서의 관측값을 서로 연결하여 한 눈에 알 수 있도록 그린 것으로 구분이 명료하다는 장점은 있으나 농작물의 생육에 직접 영향을 미치는 기후인 국지기후를 반영하지는 못하는 단점을 가진다. 즉 한계선 위에서도 재배 가능한 온도가 있을 수 있으며 한계선 아래에서도 재배 불가능한 온도가 존재한다(Yun, 2007). 더욱이 기존 녹비작물재배 한계선은 국내 20개 농업기후대를 기초로 하여 1990년대에 작성된 것으로 현재의 국지성 이상 기온과 강우 등의 급격한 기후변화의 영향을 담지 못하는 약점 또한 지니고 있다. 논에서 주로 재배되고 있는 국내 녹비작물의 재배 특성상 토양의 배수정도도 녹비작물의 안정적 생산에 중요한 요소임에도 불구하고 기존의 재배한계선에서는 이를 고려하고 있지 않다. 따라서 논토양에서 녹비작물의 안정적인 생체량 확보를 위해서는 기온과 배수정도를 고려한 재배적지에 대한 재설정이 필요한 시점이다.

본 연구는 국내에서 주로 재배되고 있는 녹비작물인 헤어리베치, 호밀, 녹비보리, 트리티케일, 클로버 등에 대해 보다 안정적인 생산과 관리를 위하여 기존의 녹비작물 재배한

계선을 대체하는 녹비작물 재배적지 기준을 재설정하고자 하였다.

재료 및 방법

녹비작물 선정기준

본 연구에서 현재(2013년 1월 기준) 국내에서 재배되고 있는 녹비작물을 우선 선정하였다. 최근 국내에서 가장 많이 재배되고 있는 녹비작물인 헤어리베치, 호밀, 녹비보리, 클로버 및 트리티케일을 그 대상으로 하였다(Table 1). 2009년 이전 국내에서 가장 많이 재배된 자운영은 2010년 이후 공식적인 재배면적이 없어 제외하였으며, 들묵새는 벼줄무늬잎마름병의 기주식물로 알려지면서(Yoon *et al.*, 2009) 현재는 제주 일부지역을 제외하고는 거의 재배되지 않아 녹비작물 재배적지 재설정에서는 제외하였다. 트리티케일은 내한성 및 상업수량이 크기 때문에 비록 조사료를 얻기 위한 것으로 많이 이용되지만(Ju *et al.*, 2010), 국내에서 두과 녹비작물과 혼파재배 시 녹비작물로서의 가치가 높기 때문에 본 연구에서는 녹비작물 재배적지 지도 작성을 위한 작물로 선정하였다.

기온 및 배수등급 산정

녹비작물 재배적지 재설정을 위한 기온은 연중 평균 온도가 가장 낮은 1월 최저기온(2001~2012년 평균최저 기온)을 기준으로 삼았으며(KMA, <http://www.kma.go.kr/>), 각각의 녹비작물에 대해 최저기온을 기준으로 재배가 가능한 온도와 안정적 재배가 가능한 온도 등 두 가지 온도를 설정하였다. 전자를 만족시키는 지대를 ‘재배안전지대’, 후자의 경우를 ‘재배가능지대’로 나누었다. 이러한 온도 설정은 맥류의 경우 농촌진흥청 원클릭 작물기술 정보(<http://oneclick.rda.go.kr/>)를 참조하였으며, 헤어리베치와 클로버는 Brandsæter *et al.* (2002)가 제시한 내동성 온도를 참조하였다. 이에 따른 각각의 녹비작물의 재배가능지대 및 재배안전지대의 기온은 다음과 같다. 헤어리베치와 트리티케일은 재배가능지대 -10°C 이상, 재배안전지대 -8°C 이상, 녹비보리는 재배가능지대 -8°C 이상, 재배안전지대 -6°C 이상, 호밀은 재배가능지대 및 재배안전지대 -20°C 이상, 클로버는 재배가능지대 -6°C 이상, 재배안전지대 -4°C 이상이었다. 작물이 동사하지 않고 생체량을 확보하기 위해서는 기온뿐만 아니라 품종, 파종시기 등 여러 가지 요인들이 복합적으로 작용한다. 따라서 정확한 재배 온도를 설정하기는 힘들다. 본 논문에서는 녹비생체량의 안정적 확보에 그 목적을 두고 있기 때문에 이를 고려하여 기준의 한계온도 보다 상대적으로 높은 기온($2\sim 5^{\circ}\text{C}$)을 적용하였

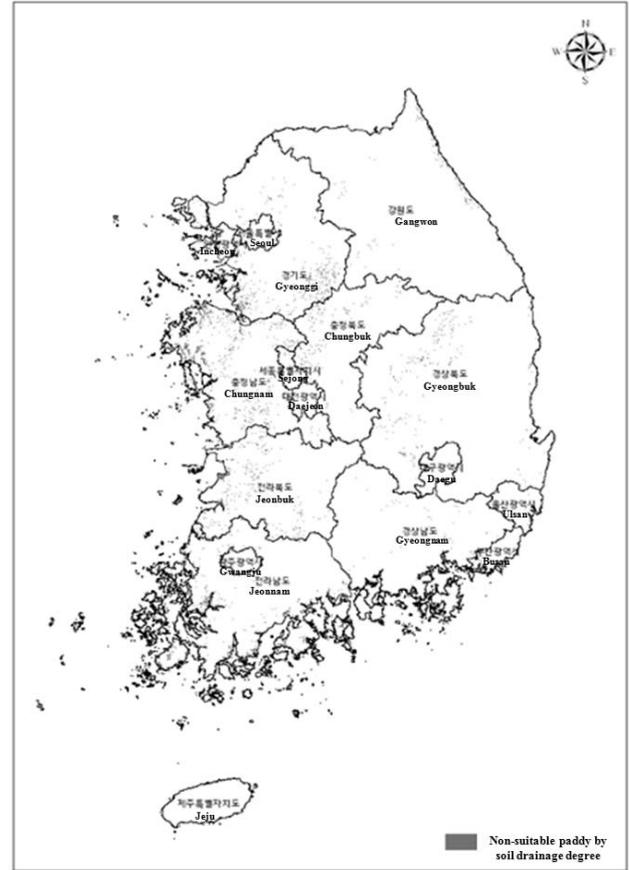


Fig. 3. Distributions map of non-suitable paddy for cultivation of green manure crops categorized by soil drainage degree in South Korea.

다. 녹비작물 재배적지 재설정을 위한 두 번째 인자인 논토양 배수등급은 물 빠짐의 정도에 따라 매우양호, 양호, 약간양호, 약간불량, 불량 및 매우불량 등 6등급으로 구분된다(토양환경 정보시스템, <http://soil.rda.go.kr/soil/index.jsp>). 본 연구에서는 전체 논토양중에서 녹비작물 재배 시 배수로 인한 습해를 유발할 수 있는 배수등급인 ‘불량’과 ‘매우불량’인 지역을 재배 부적지로 선정하였다(Fig. 3).

녹비작물 재배 적지도 작성

녹비작물 재배적지 지도 제작은 ArcGis 9.3 (Esri, USA) 프로그램을 이용하여 2012년 기준 수치지적도에서 추출한 논 분포 지도에 1월 평균최저기온 분포지도 중첩(Identity)하여 작물별 재배안전 및 가능 온도 기준에 적합한 논만을 추출하여 작성하였다. 토양 배수등급 기준은 온도 기준을 만족하는 논 분포지도에서 국립농업과학원에서 구축한 1:5000 토양도를 중첩(Identity)하여 배수등급이 ‘불량’이하를 제외하여 작성하였다.

결과 및 고찰

1월 최저기온 분포 및 배수등급에 따른 녹비작물 재배 부적지

본 연구에서는 녹비작물 재배한계 최저기온을 설정함에 있어 2001년 이후 2012년 까지 12년간의 1월 최저 연평균 기온을 사용하였다. 한반도에서 1월은 연중 월평균기온이 가장 낮은 시기이며, 최근의 기온을 최대한 반영하고자 30년 평균이 아닌 2000년대 평균을 적용하였다(Lee and Jang 2014). 실제 2000년대 한반도의 평균최저기온은 1970년대에 비해 0.6°C 상승하였다(KMA, 2014). 남한의 1월 평균최저기온 분포도를 보면 위도가 높을수록 기온이 낮아지는 전형적인 형태와 지형(고도)과 해양에 의한 영향이 공존하였다. 즉 같은 위도에도 해양을 접하는 곳에서는 1월 최저기온이 내륙에 비해 상대적으로 높았으며, 고도가 높은 산지에서 또한 낮은 최저기온을 보였다. 이는 일 최저 기온은 지형과 해양의 영향을 많이 받기 때문이다(Ko *et al.*, 2006). 따라서 녹비작물 재배적지 선정 시에도 이러한 국부적인 지형 특성을 반영할 때 녹비작물 안정생산을 위한 실질적인 재배지역 구분이 가능할 것으로 판단된다.

녹비작물 재배적지 지도 작성을 위한 두 번째 인자로 논토양의 배수등급을 기준으로 작성하였다. 이는 논에서 화학비료를 대체하기 위해 주로 재배되는 국내 녹비작물의 재배 특성을 반영한 것이다. 일반적으로 발토양과 과수원은 논토양보다 배수상태가 양호하며, 실제 국내 발토양에서 본 연구에서 부적지로 판정한 배수등급이 불량 및 매우불량인 지역은 0.1% 미만으로 미미하다.

녹비작물별 재배안정 및 재배가능 지역

1월 평균최저기온과 배수등급을 기준으로 남한지역 논토양에서 녹비작물 재배적지 재설정 한 지도는 Fig. 4와 같다. 헤어리베치와 트리티케일의 재배가능지대 면적은 935,993 ha, 재배안전지대는 836,214 ha였으며, 이는 전체 논 면적 966,076 ha (통계면적)의 각각 96.89 및 86.58%에 달했다(Table 2). 일부 경상북도, 충청북도 전라북도 내륙지방을 제외하고 위도상으로 충청북도 이하에서 이들 녹비작물의 안정적재배가 가능한 것으로 나타났다(Fig. 4(a)). 강원도는 해안지역을 제외하고는 헤어리베치와 트리티케일의 안정적 재배는 어려운 것으로 나타났다. 재배가능지대와 재배안전지대 간의 면적차이는 99,872 ha로 재배가능한 헤어리베치와 트리티케일 중 10.3%는 재배안전지역의 범위를 벗어났다. 국립식량과학원에서 3년간 수행한 녹비작물 신품종 지역적응시험에서 내륙지역에 위치한 충북 청원의 경우 겨울철 내동성

온도 이하로 기온이 떨어지는 경우가 발생하여 헤어리베치의 월동율의 편차가 50%까지도 나타내었다. 이는 연차별 평균최저기온의 영향이 큰 것으로 판단된다. 따라서 국지적인 최저기온과 배수등급을 반영한 녹비작물의 재배적지 선정은 매우 중요하다.

녹비보리의 재배가능 및 재배안전지대 면적은 각각 836,421 ha (전체 논 면적의 86.58%) 및 513,592 ha (전체 논 면적의 53.06%)였다. 녹비보리의 재배가능 지대는 헤어리베치의 재배안전지대와 일치하였으며, 재배안전지대는 경상북도 남부와 전라북도 일부를 포함하는 저위도에 위치했다(Fig. 4(b)). 호밀은 내한성이 매우 강한 작물로 활착이 되고 난 뒤 -30°C 정도에서도 견딜 수 있는 것으로 알려져 있다(Sattell *et al.*, 1998). 따라서 본 연구에서는 호밀의 경우 재배가능 및 재배안전지대 온도를 따로 두지 않고 두 지대 모두 -20°C로 설정하였다(Fig. 4(c)). 호밀은 우리나라 대부분의 논토양에서 재배가능한 것으로 나타났으며, 그 면적은 963,253 ha로 전체 논 면적의 99.71%에 달했다(Table 4). 클로버는 본 연구에서 조사한 녹비작물 중 생육가능 최저온도가 가장 높은 작물로 재배안전지대는 남부 일부 지방에 한정된 것으로 나타났다(Fig. 4(d)). 재배가능 및 재배안전지대 면적은 512,592 ha와 152,299 ha로 전체 논 면적의 37.29%와 15.76%에 해당하였다.

논토양에서 녹비작물 재배가능 및 재배안전지대 면적을 상위 3곳의 행정구역을 살펴보면, 헤어리베치와 트리티케일은 재배가능 지대는 경북(164,638 ha) > 전남(154,971 ha) > 전북(137,914 ha)의 순인 반면 재배안전 지대는 전남(164,638 ha) > 경북(153,603 ha) > 전북(127,102 ha)였다. 녹비보리의 재배가능 지대는 전남(154,920 ha) > 경북(153,603 ha) > 충남(128,031 ha)이며, 재배안전 지대는 전남(149,284 ha) > 전북(100,189 ha) > 경남(92,351 ha)의 순이었다. 계속해서 호밀의 재배가능 및 안전지대 면적은 경북(165,923 ha) > 전남(154,971 ha) > 전북(137,957 ha) 순이었다. 마지막으로 클로버의 재배가능 지대는 전남(149,284 ha) > 전북(100,189 ha) > 경남(92,351 ha)순인 반면 재배안전 지대는 전남(72,226 ha) > 경남(36,376 ha) > 경북(19,574 ha)의 순이었다.

본 연구에서 논토양에서 녹비작물 재배적지 재설정을 위해 최근 12년간의 평균최저기온과 배수등급을 기준으로 제시하였다. 내동성 혹은 내한성과 관련하여 1월 평균최저기온만을 적용하였는데, 보다 정밀한 적지도 작성을 위해서는 녹비작물이 최저온도에 연속적으로 노출된 일수를 적지 구분지도에 반영될 수 있도록 기술적인 부분이 보강되어야 할 것으로 판단된다. Brandsæter *et al.* (2002)는 녹비작물의

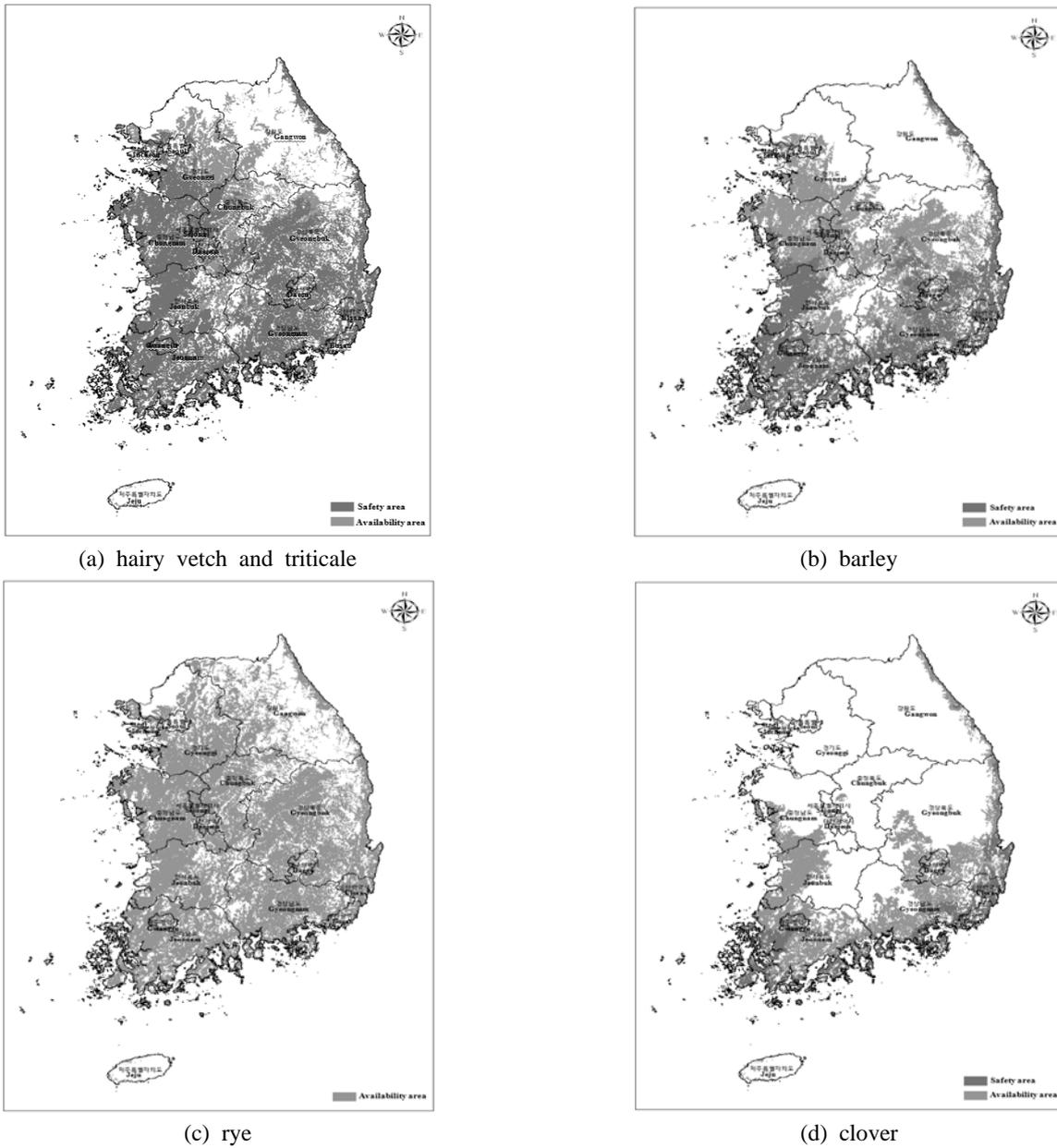


Fig. 4. Spatial distributions of cultivation zones on green manure crops such as a) hairy vetch and triticale b) barley, c) rye and d) clover in South Korea.

Table 2. Available and safety area(ha) of green manure crop among total paddy field in South Korea.

Crop	Availability area		Safety area	
	ha	%	ha	%
Hairy vetch, Triticale	935,993	96.9	836,421	86.6
Barley	836,421	86.6	512,592	53.1
Rye	963,253	99.7	963,253	99.7
Clover	360,293	37.3	152,299	15.8

*Total area under paddy: (966,076ha, 2012)

내동성 시험에서 각각의 온도에서 5일 방치 후 시험을 하였다. 향후 동일한 녹비작물에서도 품종별 시험이 더 정밀하게 이루어져야 할 것으로 생각한다. 실제 헤어리베치 ‘Welta’는 다른 품종인 ‘AU EarlyCover’에 비해 더 큰 내한성을 가지는 것으로 알려져 있다(Brandsæter *et al.*, 2002).

본 연구에서 제시된 녹비작물 재배적지 재설정치는 이상기온의 심화에 따른 녹비작물의 생체량 확보를 위한 안정적 생산에 기여하고, 정책적으로 추진하는 녹비작물 보급사업과 지자체의 친환경농업 지원정책에 유용한 기초자료로 활

용될 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

본 연구에서는 최근 12년간의 1월 평균최저기온과 배수 등급을 기준으로 남한지역 논토양에서 녹비작물 재배적지를 재설정 한 결과는 다음과 같다.

1. 헤어리베치와 트리티케일의 재배가능지대 온도는 -10°C 이상으로 논면적은 935,993 ha이었으며, 재배안전지대는 -8°C 이상으로 논면적은 836,214 ha였으며, 이는 전체 논 면적 966,076 ha(통계면적)의 각각 96.9 및 86.6%에 해당되었다.
2. 녹비보리의 재배가능지대 온도는 -8°C 이상이며, 재배 안전지대 온도는 -6°C 이상이며, 해당 재배면적은 각각 836,421 ha (전체 논 면적의 86.58%) 및 513,592 ha (전체 논 면적의 53.1%)였다.
3. 호밀의 재배가능 및 재배안전지대 온도는 -20°C 이상으로 거의 대부분의 지역이 해당되었으며, 그 면적은 963,253 ha로 전체 논 면적의 99.7%에 달했다.
4. 클로버의 재배가능지대 온도는 -6°C 이상이었으며, 재배 안전지대 온도는 -4°C 이상으로 해당 재배면적은 512,592 ha와 152,299 ha로 전체 논 면적의 37.3%와 15.8%로 가장 적었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 아젠다사업(과제번호 : PJ0086970)에 의해 이루어진 것이며 이에 감사드립니다.

인용문헌(REFERENCES)

Brandsæter, L. O., A. Olsmo, A. M. Tronsmo, and H. Fykse. 2002. Freezing resistance of winter annual and biennial legumes at different developmental stages. *Crop Science* 42 : 437-443.

- Dabney, S. M., J. A. Degado, and D. W. Reeves. 2001. Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 32 : 1221-1250.
- Ju, J. I., D. H. Lee, Y. G. Seong, O. K. Han, T. H. Song, K. W. Lee, and C. H. Kim. 2010. Comparisons of growth, yield and feed quality at spring sowing among five winter cereals for whole-crop silage Use. *J. Kor. Grassl. Forage Sci.* 30 : 205-216.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2014. Weather information. <http://www.kma.go.kr/>.
- Ko, J. W., H. J. Baek, W. T. Kwon, and J. Y. Park. 2006. The characteristics of spatial distribution of temperature and regionalization in Korea. *Journal of climate research* 1 : 3-14.
- Ku, J. W., M. T. Kim, B. Y. Son, J. S. Lee, J. T. Kim, J. J. Hwang, S. H. Yang, J. H. Ryu, S. Kim, N. H. Back, J. T. Lee, K. J. Lee, J. S. Ryu, H. B. Lee, J. I. Kim, N. B. Park, O. D. Kwon, S. O. Kim, A. S. Kang, M. S. Ahn, Y. K. Moon, J. H. Jeong, H. M. Shin, J. H. Kim, I. K. Song, C. W. Rho, S. Y. Kim, S. K. Kim, J. H. Shin, Y. K. Sim, Y. D. Kim, I. K. Song, S. T. Kim, T. K. Kim, S. C. Yang, and S. K. Park. 2012. Development of new variety on hairy vetch. Annual report in National Institute of Crop Science, RDA.
- Lee, S. and J. Jang. 2014. A study on the distributions of minimum temperature during January in the central region of South Korea: focused on minimum temperature at Cheorwon. 2014. *Journal of the Korean Geographical Society* 49 : 32-44.
- Sattell, R., R. Dick, R. Karow, D. Kaufman, D. Hemphill, J. Luna, and D. McGrath. 1998. Cereal Rye. Oregon State University extension serve EM8694 <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/14957/em8694.pdf>.
- Yang, C. H., J. H. Ryu, T. K. Kim, S. B. Lee, J. D. Kim, N. H. Baek, S. Kim, W. Y. Choi, and S. J. Kim. 2009. Effect of green crops incorporation with rice cultivation on soil-fertility improvement in paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42 : 371-378.
- Yun, J. I. 2007. Applications of "High definition digital climate maps" in restructuring of Korean Agriculture. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 9 : 1-16.
- Yoon, Y. N., B. C. Lee, J. H. Jung, J. G. Kim, J. B. Hwang, C. S. Kim, S. J. Hong, H. W. Kang, S. B. Song, Y. G. Hong, S. T. Park, and K. W. Lee. 2009. New alternate host of *Rice stripe virus* - 'Deulmuksae'. *Res. Plant Dis.* 15(2) : 63-67.