

유기 한우 사육농장의 순환 유형별 질소 수지 평가*

임진수** · 최덕천*** · 류종원****

Assessment of Farm-Gate Nitrogen Balance of Organic Hanwoo Farms at Different Recycling Farming Types

Lim, Jin-Soo · Choi, Deog-Cheon · Ryoo, Jong-Won

The aim of the study was to assess whole farm nitrogen (N)-balance in organic Hanwoo farms of different recycling types. N input, output and within-farm N flows were calculated as a farm-gate balance on 12 organic Hanwoo farms. The observed farms were divided into three groups: as (a) recycling farms, with a forage cultivation area (more than 0.1 ha), (b) semi-recycling farms (0.01-0.1 ha) and (c) with non-recycling farms (less than 0.01 ha). The self-sufficiency forage crops for animal feed was 44.4, 15.0, and 4.2% in recycling farms, semi-recycling farms and non-recycling, respectively. The recycling rate of compost was 98.8, 63.8, and 20.6% in recycling farms, semi-recycling farms and non-recycling farms, respectively. The annual farm-gate N surplus (input-output) per head was 42, 47, and 55 kg in recycling farms, semi-recycling farms and non-recycling, respectively. The mean annual N balance per head in recycling farms was less than 28% of non-recycling. The field nitrogen budgets showed 234, 1,161, and 5,476 kg N ha⁻¹ year⁻¹ in recycling farms, semi-recycling farms and non-recycling farm, respectively. N-surplus reductions of in recycling farms was 5-23 times lower compared to the semi-recycling farms and non-recycling farm. The nitrogen use efficiency (NUE) was 54, 36, and 29%, in recycling farms, semi-recycling farms, and non-recycling farm, respectively. Results showed that compost recycling through crop-livestock recycling farm is significant in the contributing to circulating N balance and to greater efficiency and productivity. The recycling organic Hanwoo farm had the low N balance and the high NUE. To reduce the N balance, we considered how to increase the amount of recycling by using self production compost. The self

* 본 연구는 농촌진흥청의 저탄소 경축순환형 유기농 모델 연구(RS-2022-RD010398) 사업의 지원을 받아 연구되었음.

** Corresponding author, 상지대학교 산학협력단(3663225@daum.net)

*** 상지대학교 FIND칼리지학부

**** 상지대학교 스마트생명과학과

production forage crops was mainly considered to reduce the N balance by decreasing input of purchased feeds and increasing crop production and recycling rate of compost.

Key words : *whole farm N-balance, organic Hanwoo farm, recycling farming system*

I. 서 론

유기농업에서는 생태적인 환경과 자원의 순환이라는 생태의 원칙에 따라 작물을 재배하고 가축을 관리하도록 하고 있다. 경축 순환 유기농업을 통해 양분의 순환 등 물질의 순환 구조를 완성하는 자원 순환형 농업 모델(Yoon and Park, 2009)이 가능하기 때문에 지속가능하고 건강한 농업, 농촌사회를 만들기 위해서는 물질, 즉 양분의 농가 및 지역적 순환이 필요하다.

우리나라는 OECD 국가 양분 수지 지표에서 2017년 기준 질소 수지 1위, 인수지 2위로 보고되고 있다(OECD, 2017). 가축분 퇴비 등 농경지로 과다 투입된 잉여양분은 대기, 수계 등으로 유출되어 농업 환경에 악영향이 우려된다(Lee and Yoon, 2021). 가축분 퇴비 농경지 환원으로 인한 농경지 유기물 증가 및 과다 시용 조사는 하천, 호수, 지하수 및 토양 등 환경오염실태를 파악할 수 있는 것으로 농업환경 정책 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있다(Rye et al., 2015). 따라서 농경지 투입양분을 적정수준으로 유지하기 위한 연구를 진행하였으며(ME·MAFRA, 2016; RDA, 2019), 환경부는 2021년 지역의 농업 환경을 고려한 지역 단위 양분관리 제도 도입을 추진하고 있다(Lee and Yoon, 2021). 이처럼 축사에서 배출되는 양분의 농경지 이동에 관한 연구는 토양(Lee and Yoon, 2019; Lee et al., 2021) 및 토지 수지(Lim et al., 2017; Kim et al., 2017; Yang et al., 2020) 관련 연구가 주를 이루고 있다. 지속 가능한 가축사육을 위해서는 농장 내 투입양분을 적정수준으로 유지 및 관리하는 것이 필요하다.

양분 수지를 산정하는 방법은 경계조건을 기준으로 양분의 유입 및 유출을 파악하는 토양 수지(Soil budget), 토지 수지(Land budget), 농장 수지(Farm budget) 산정법이 있다(Leip et al., 2011). 농장 수지 산정법은 개별 경축 순환 농장을 경계조건으로 설정하여 양분 수지를 관리하는 방법으로 농장을 기준으로 유출입되는 모든 양분을 고려하여 산출한다(Lee and Yoon, 2021). 농장 내 양분 수지의 결과는 양분 과부족 특성을 파악할 수 있으며(Lee, 2003) 질소는 농장 내로 유입되는 급여 사료의 단백질 함량과 관련이 깊고 배출되는 퇴비의 양분에 직접적인 영향을 주어 조사료 등 생산량과 직결된다. 따라서 질소는 작물 생육에 꼭 필요한 원소이지만 과잉은 지표수 부영양화 및 지하수 질산염 오염으로 환경 및 인체 건강에 위협하다(Hristov et al., 2011; Sutton et al., 2011).

젖소 및 육우 농장 단위의 질소 배출 및 수지 관련 연구는 외국에서 많이 진행되었다 (Bleken et al., 2005; Hristov et al., 2011; Beukes et al., 2012; Quemada et al., 2020). 그러나 국내 한우 농장의 질소 수지 연구는 부족하다. 본 연구는 국내 유기 한우 사육 농가를 대상으로 현장 조사를 통해 질소 수지를 평가하였다. 이를 통해 한국형 유기 가축 모델 구축을 위한 기초자료를 확보하는데 목적을 두고 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 유기 한우 사육 농가 현황 및 특성

조사대상 농가는 2022년 3월 기준 유기 축산인증을 받은 22개 한우농가 중에서 단체 또는 법인으로 구성된 충남의 푸른들영농조합법인 3농가, 해남의 땅끝유기한우영농조합법인 5농가, 산청의 자연순환농업영농조합법인 1농가(NAQS, 2022)와 괴산의 한살림 자체인증 2농가를 대상으로 2022년 4월부터 2023년 3월까지 농가 현장 조사를 실시하였다.

조사대상 농가들은 두당 사료작물 재배면적을 기준으로 0.1 ha 이상을 순환 농가로, 0.01-0.1 ha 사이는 일부 순환 농가로, 0.01 ha 이하는 비순환 농가로 구분하였다. 순환 농가는 경남(Gyeong-nam, GN) 1, 전남(Jeon-nam, JN) 2 농가였다. 일부 순환 농가는 전남 2, 충남(Chung-nam, CN) 3, 충북(Chung-buk, CB) 1 농가였다. 비순환 농가는 전남 1, 충남 1, 충북 1 농가였다(Table 1).

순환농장의 두당 사료작물 재배면적은 0.18 ha, 일부 순환농장은 0.04 ha, 비순환농장은 0.01 ha로 순환농장이 비순환농장보다 18배 많았다. 순환농장의 두당 사료작물 재배면적은 0.18 ha이었는데, Hwang과 Jo (2013)는 경북지역에서 유기 가축사육에 적합한 사료작물 재배면적은 두당 0.34 ha라고 추정하였다. 여기에 순환농장의 자가생산 사료 비율 46.4% (Fig. 1)를 감안하면 0.16 ha가 되어 순환농장의 두당 사료작물 재배면적과 비슷한 수치이다.

Table 1. Status of organic Hanwoo farm in this study

Farming types	Province	Farm	Certification	The number of livestock units per farm	Crop cultivated area (ha)	Crop cultivated area per cattle (ha-head ¹)
Cycling farm	Gyeong-nam	GN ¹	National Organic Certification ²	166.5	45.0	0.27
	Jeon-nam	JN-1	National	160.0	22.0	0.14
	Jeon-nam	JN-2	National	112.5	13.4	0.12
	Mean			146.3	26.8	0.18

Farming types	Province	Farm	Certification	The number of livestock units per farm	Crop cultivated area (ha)	Crop cultivated area per cattle (ha-head ⁻¹)
Semi-cycling farm	Jeon-nam	JN-3	National	162.3	11.7	0.07
	Jeon-nam	JN-4	National	127.5	2.1	0.02
	Chung-nam	CN-1	National	63.0	1.0	0.02
	Chung-nam	CN-2	National	67.0	3.8	0.06
	Chung-nam	CN-3	National	60.0	2.2	0.04
	Chung-buk	CB-1	Hansalim	52.5	1.0	0.02
	Mean			88.7	3.6	0.04
Non cycling farm	Jeon-nam	JN-5	National	102.7	1.0	0.01
	Chung-nam	CN-4	National	67.0	1.0	0.01
	Chung-buk	CB-2	Hansalim	72.1	0.5	0.01
	Mean			80.6	0.8	0.01

Note: 1) Gyeong-nam, GN, Jeon-nam, JN, Chung-nam, CN, Chung-buk, CB

2) NAQS (2022)

2. 유기 한우 농가의 조사료 재배 및 급여 방법

대가축인 한우나 젖소의 경우 가축분뇨의 처리와 조사료생산을 목적으로 조사료포를 운영하고 있다(Yang et al., 2020). 유기 사료 자원은 한우 사육능력 증대에 영향을 미친다(Jo, 2016). 조사료를 자가 생산하는 이유는 외국 수입 사료의 가격상승 및 공급 불안에 따른 불안정한 요인의 감소로 지속 가능한 사육이 용이하기 때문이다(Lee et al., 2022).

유기 한우 농가 중 순환 농가는 두당 사료작물 재배면적이 0.18 ha로 관행의 0.03 ha (KOSIS, 2022)보다 6배 많으며 이를 활용하여 조사료를 자가생산하고 있다. 농가에서 재배하는 사료작물은 이탈리아 라이그라스, 청예연맥, 수수×수단그라스, 옥수수 및 이탈리아 라이그라스와 청보리 혼파 재배하고 있었다. 농가별로 각각의 자가조사료 생산량을 조사하였으며, 부산물 사료인 벧짚도 조사하였다. 또한 벼 정곡 및 농산물 생산반출량도 조사하였다. 외부 구입 사료는 국내 사료와 수입 사료를 조사하였다. 조사 대상 유기 한우 농가에서는 모두 완전혼합발효사료(Total mixed fermented feed, TMF)를 급여하고 있었으며 TMF 급여량을 조사하였다.

유기 한우 인증 농가에서는 유기인증 원료만 사용하여 급여할 수 있기에 자가생산 조사료도 인증받은 사료이며, 그 외 구입 사료도 국내에서 유기인증 받았거나 수입된 유기인증

사료를 급여하고 있었다. 한살림 인증 농가들은 유기인증 사료는 아니지만 Non-GMO 사료들만 급여하고 있었다.

3. 조사 항목

한우 농장의 양분 수지를 계산하기 위하여 Whole Farm gate balance 분석기법을 활용하여 양분 수지를 평가하였다(PARCOM, 1995). 농장 내 양분의 총유입량과 총배출량의 차이로 양분 수지를 계산하였다. 농장 내 양분 유입량으로는 가축 자가생산 및 구입량, 사료 자가생산 및 구입량, 가축 뇨 및 기타 수분을 흡수하고 동물의 보온과 안락성 및 축사 내의 청결 유지와 가축 분의 발효 촉진을 위해 바닥에 깔아주는 깔짚인 톱밥과 왕겨 구입량, 농경지에 사용하기 위한 비료 구입량 및 자가생산 퇴비 시용량을 조사하였다. 양분 배출량으로는 송아지 판매, 고기소 출하 및 폐사체량, 자가생산 사료량, 자가생산 벼짚 사료량, 벼 정곡 및 농산물 판매량, 퇴비 자가 농경지 환원량과 퇴비 외부반출량을 조사하였다. 두 당 질소 수지는 유입량에서 배출량을 뺀 질소 수지를 성축 기준(Livestock unit, LSU)으로 나눈 값으로 나타내었다. 고기 kg당 생산 질소 수지는 질소 수지를 고기소 출하량으로 나눈 값으로 나타내었다. 농경지 질소 수지는 질소 수지를 농경지 면적으로 나눈 값으로 나타내었다. 질소이용률(Nitrogen use efficiency, NUE)은 배출량을 유입량으로 나눈 비율로 나타내었다.

토지 수지는 지역을 경계조건으로 설정하여 질소 휘산량을 산정하나 지역 내 농경지를 경계조건으로 하는 토양 수지와 농장을 경계조건으로 하는 농장 수지는 질소 휘산량을 산정하지 않으므로 조사항목에서 제외하였다(Lee and Yoon, 2021).

조사 농가에서 급여하는 TMF 및 개별사료는 농가에서 시료를 수거 후 Kjeldahl법(RDA, 2012)으로 질소를 분석하였다. 농가 양분 수지 분석을 위해 사용된 사료의 미분석자료 성분 함량은 한국표준사료성분표(RDA, 2017)를 적용하여 계산하였다. 사료의 영양성분과 무기 성분은 농촌진흥청에서 제시한 농업과학기술 연구조사 분석 기준(RDA, 2012)에 준하여, 80°C에서 48시간 건조 후 분쇄하여 분석용 시료로 사용하였다.

4. 통계

순환 유형별 질소 수지의 ANOVA 분석은 R 프로그램의 aov 함수를 사용하였고, 다중비교는 “agricolae” 패키지의 scheffe.test() 함수($P=0.05$)를 사용하였다. 모든 분석은 R 프로그램(ver. 4.3.1)을 이용하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 순환 유형별 사육두수 현황

조사대상 농가의 가축사육 현황을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 번식우를 사육하는 해남 농가인 JN-1, JN-2, JN-3, JN-4, JN-5 및 괴산의 CB-2 농장에서는 자체생산 송아지를 사육하고 있다. 번식우 사육 농가 송아지는 자체 생산한 것만 사육하며 순환농장에서 15두, 일부 순환농장에서 12두, 비순환농장은 4두였다. 번식우를 사육하는 농가에서 생산한 숫송아지는 비육우로 사육하거나 적절한 사육두수 유지를 위해 일부 판매한다. 비육우만 사육하는 농가에서는 송아지를 외부에서 구입한다. 비육우 농가들은 송아지 구입 시 7~8개월령의 큰 송아지를 구입하며 체중이 250 kg 내외로 높기 때문에 송아지에 의한 양분유입량은 자체생산 송아지보다 많다. 성축 기준(LSU)으로 순환농장은 148두, 일부 순환 농장은 89두, 비순환농장은 83두로 순환농장이 비순환농장보다 65두 많았다.

Table 2. Characteristics of organic Hanwoo farm according to three recycling types

Farming types		Cycling farm				Semi cycling farm						Non cycling farm					
		GN	JN-1	JN-2	Mean ±s.e.	JN-3	JN-4	CN-1	CN-2	CN-3	CB-1	Mean ±s.e.	JN-5	CN-4	CB-2	Mean ±s.e.	
Farms		----- (head) -----															
Reproductive Hanwoo	Calf	Self production	0	40	5	15±9.6	34	35	0	0	0	0	12±6.3	10	0	2	4±2.3
		Purchased	0	0	0	0±0.0	0	0	0	0	0	0	0±0.0	0	0	0	0±0.0
		Total	0	40	5	15±9.6	34	35	0	0	0	0	12±6.3	10	0	2	4±2.3
	Rearing Hanwoo	0	0	0	0±0.0	0	15	0	0	0	0	3±1.7	0	0	2	1±0.5	
	Female's Reproductive	0	94	80	58±22.3	75	60	0	0	0	0	23±12.2	63	0	18	27±13.9	
	Total	0	134	85	73±28.1	75	110	0	0	0	0	31±16.8	73	0	22	32±15.9	
Fattening Hanwoo	Calf	Self production	0	20	5	8±4.5	31	15	0	0	0	0	8±4.2	11	0	15	9±3.3
		Purchased	67	0	0	22±17.2	0	0	18	48	40	37	24±7.3	0	48	0	16±12.3
		Total	67	20	5	31±14.0	31	15	18	48	40	37	31±4.1	11	48	15	25±9.0
	Rearing cattle	67	26	20	38±11.3	31	5	18	26	24	15	20±2.9	5	26	23	18±5.0	
	Early fattening Hanwoo	67	30	15	37±11.4	31	30	18	27	24	30	27±1.5	34	27	17	26±3.5	
	Late Fattening	66	20	6	31±13.6	31	20	36	27	24	15	26±2.4	0	27	22	16±6.3	
	Total	200	96	46	114±33.1	124	70	72	80	72	60	80±6.1	50	80	77	69±7.3	
The number of head per farm	200	230	126	187±21.6	199	180	72	80	72	60	111±21.5	123	80	99	101±8.6		
Livestock units (LSU) / farm	166.5	166.0	112.5	148±13.8	162.3	127.5	63	67	60	52.5	89±15.3	102.7	67	72.1	83±8.5		

2. 사료 급여량

순환 유형별로 자가생산 및 구입 사료 급여량을 조사하였다(Table 3). 자가생산 조사료의 연간 생산량은 순환농장에서 508.0 ton, 일부 순환농장은 90.8 ton, 비순환농장은 22.7 ton으로 순환농장이 비순환농장보다 22배 많았다. 자가생산 조사료 급여량은 충남이나 충북지역보다 전남지역 농가에서 높았는데, Lee 등(2022)도 전라도에서 국내산 조사료 소비비율이 높다고 하였다. 두당 연간 자가생산 사료 급여량은 순환농장에서 3.4 ton, 일부 순환농장은 1.0 ton, 비순환농장은 0.3 ton으로 순환농장이 비순환농장보다 13배 많았다.

외부 구입 사료는 조사료 외에 농후사료와 TMF 사료이다. 두당 외부사료 급여량은 순환농장이 4.0 ton, 일부 순환농장은 5.8 ton, 비순환농장은 6.2 ton으로 비순환농장이 순환농장보다 1.6배 많았다. 조사대상 농가에서는 모두 TMF를 급여하였지만 관행 사육에서는 자가 섞유질배합사료(Total mixed ration, TMR) 급여비율이 10.7%이다(Lee et al., 2022).

Table 3. Statistics of feeding from organic Hanwoo farm according to three recycling types

Farming types	Cycling farm				Semi cycling farm							Non cycling farm			
	GN	JN-1	JN-2	Mean±s.e.	JN-3	JN-4	CN-1	CN-2	CN-3	CB-1	Mean±s.e.	JN-5	CN-4	CB-2	Mean±s.e.
Farms	----- (ton · year ⁻¹) -----														
Self production forage	762.3	482.1	279.7	508.0±97.9	293.5	125.2	13.5	38.5	70.0	4.2	90.8±32.3	20.0	43.0	5.2	22.7±7.8
Self production forage per head	4.6	2.9	2.5	3.4±0.5	1.8	1.0	0.2	0.6	1.2	0.1	1.0±0.2	0.2	0.6	0.1	0.3±0.1
Purchased feed	993.6	462.1	304.8	586.8±156.6	598.1	857.1	449.1	441.7	440.0	294.5	513.4±58.3	702.6	461.2	377.8	513.9±72.6
Purchased feed per head	6.0	2.8	2.7	4.0±0.8	3.7	6.7	7.1	6.6	7.3	5.6	5.8±0.4	6.8	6.9	5.2	6.2±0.4
Total amount of feed	1,755.9	944.2	584.5	1,094.9±254.4	891.6	982.3	462.6	480.2	510.0	298.7	604.2±90.6	722.6	504.2	383.0	536.6±71.6

순환 유형별 자가생산 및 외부 구입 사료의 급여비율은 Fig. 1과 같다. 외부 구입 사료 비율은 순환농장이 53.6%, 일부 순환농장이 85.0%, 비순환농장이 95.8%로 순환농장이 가장 적었으며 비순환농장에서 외부사료의 의존도가 가장 높았다. 순환농장의 자가생산 사료 급여비율은 46.4%로 Lee 등(2022)의 44.4%와 비슷하였다. 유기인증 및 자체인증을 받은 일부 순환 및 비순환 농가들의 자가생산 사료 급여비율이 각각 15.0%와 4.2%로 Lee 등(2022)의 결과보다 크게 낮았다. 이러한 결과는 유기 농가들이 조사료포 확보가 부족하여 자체생산하는 유기 조사료의 양이 부족하다는 것을 의미하므로 경축 순환 유기전환을 위해서는 조사료포 확보를 통한 자가 유기 사료 생산의 확대가 요구된다.

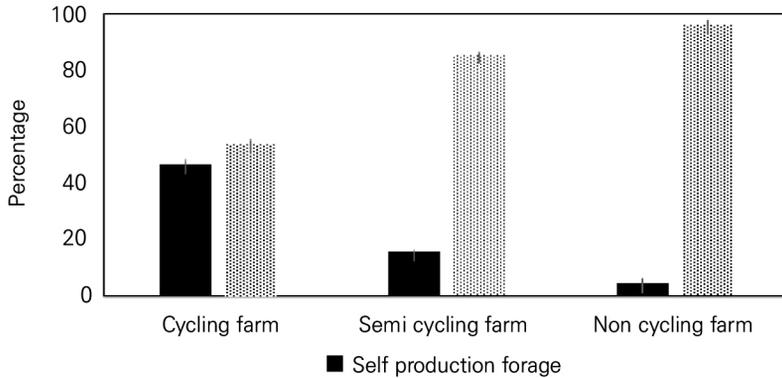


Fig. 1. Ratios of self production and purchased feed at different types of recycling farm. The vertical bars represent standard error.

3. 깔짚 사용량

깔짚으로는 톱밥 또는 왕겨를 사용하고 있었으며 CN-2 농가와 한살림 자체인증 농가인 CB-1, CB-2 농가에서는 톱밥과 왕겨를 같이 사용하고 있었다(Table 4). 한우 축사의 퇴비화 과정에서의 양분 손실은 인위적인 외부반출보다 더 많이 발생되며 톱밥 퇴비가 왕겨 퇴비보다 더 적고(Lim et al., 2008), 왕겨에 비하여 톱밥에서 분뇨의 발효 효율이 3배 높기 때문에 깔짚용으로 톱밥이 선호된다고 판단된다(Ryoo, 2022). Choi 등(2008)도 한우 축사의 87% 이상이 톱밥우사라고 하였다.

Table 4. The amount used bedding materials from organic Hanwoo farm according to three recycling types

Farming types	Cycling farm				Semi cycling farm							Non cycling farm				
	GN	JN-1	JN-2	Mean±s.e.	JN-3	JN-4	CN-1	CN-2	CN-3	CB-1	Mean±s.e.	JN-5	CN-4	CB-2	Mean±s.e.	
Types of bedding materials	----- (ton · year ⁻¹) -----															
Sawdust	100.0	102.4	102.4	101.6±0.6	51.2	40.0	19.2	8.0	60.0	6.5	30.8±8.0	120.0	20.0	15.0	51.7±26.3	
Rice husks	0.0	0.0	0.0	0.0±0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	24.0	5.7±3.1	0.0	0.0	15.0	5.0±3.8	
Total	100.0	102.4	102.4	101.6±0.6	51.2	40.0	19.2	18.0	60.0	30.5	36.5±5.7	120.0	60.0	30.0	56.7±24.4	

4. 자가 사료작물 및 농산물 생산량

순환 유형별 자가생산하는 사료작물 종류별 생산량은 Table 5와 같다. 두당 연간 사료작

물 생산량은 순환농장에서 2.6 ton, 일부 순환농장에서 0.6 ton, 비순환농장에서 0.2 ton으로 순환농장이 비순환농장보다 13배 많았다.

자가생산하는 조사료는 이탈리아인 라이그라스, 연맥, 벧짚, 수수×수단그라스, 옥수수 및 이탈리아인 라이그라스와 청보리를 혼파하여 조사료를 생산하고 있었다. 이 중에서 많이 재배하는 사료작물은 이탈리아인 라이그라스이며, 모든 전남(JN)의 조사 농가들과 충남(CN)의 조사 농가들의 50%가 이탈리아인 라이그라스를 재배하고 있다. Choi 등(2018)도 최근에는 이탈리아인 라이그라스 위주로 조사료생산이 이루어지고 있다고 하였다.

경남산청친환경영농법인에서는 이탈리아인 라이그라스와 청보리를 혼파하여 조사료를 생산하고 있다. 조사대상 12농가 중 10농가인 83%에서 벼를 재배하므로 논을 활용한 조사료를 생산하고 있다. Seo 등(2010)은 답리작 사료작물로 이탈리아인 라이그라스 및 청보리 혼파 재배가 적합하다고 하였으며, Lee와 Kim (2017)은 이탈리아인 라이그라스가 답리작으로 적합한 사료작물이라고 하였다. 그러나 이탈리아인 라이그라스는 내한성이 다소 약해(Choi et al., 2018) 주로 남부지방에서 많이 재배되므로 전남(JN) 및 충남(CN) 농가들에서 재배비율이 높았다.

Table 5. Production yields of forage crops from organic Hanwoo farm according to three recycling types

Farming types		Cycling farm				Semi cycling farm						Non cycling farm				
Contents	Forage Crops	GN	JN-1	JN-2	Mean ±s.e.	JN-3	JN-4	CN-1	CN-2	CN-3	CB-1	Mean ±s.e.	JN-5	CN-4	CB-2	Mean ±s.e.
		----- (ton·year ⁻¹) -----														
Self-Fodder produced (ton/year)	Italian ryegrass (IRG)	0.0	187.1	110.5	99.2±38.2	122.5	57.2	0.0	0.0	28.0	0.0	34.6±15.0	12.0	28.0	0.0	13.3±5.6
	Oat	0.0	0.0	0.0	0.0±0.0	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3±1.5	0.0	0.0	0.0	0.0±0.0
	Sorghum-sudangrass	0.0	0.0	156.6	52.2±40.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0±0.0	0.0	0.0	0.0	0.0±0.0
	Corn silage	60.0	146.7	0.0	68.9±30.0	0.0	68.0	0.0	0.0	42.0	0.0	18.3±10.0	0.0	0.0	0.0	0.0±0.0
	Italian ryegrass+baeley	506.3	0.0	0.0	168.8±129.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0±0.0	0.0	0.0	0.0	0.0±0.0
	Total	566.3	333.8	267.1	389.1±68.2	136.0	125.2	0.0	0.0	70.0	0.0	55.2±22.5	12.0	28.0	0.0	13.3±5.6
	Forage production per head	3.4	2.0	2.4	2.6±0.3	0.8	1.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.6±0.2	0.1	0.4	0.0	0.2±0.1
Crop produced (ton/year)	Rice	240.0	133.5	12.4	128.6±44.7	50.6	0.0	6.0	20.0	0.0	4.2	13.5±5.9	6.0	6.0	3.8	5.3±0.6
	Rice straw	196.0	148.3	12.6	119.0±40.9	157.5	0.0	13.5	38.5	0.0	4.2	35.6±17.0	8.0	15.0	5.2	9.4±2.2
	Vegetable	0.0	0.0	0.0	0.0±0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.8	0.3±0.2	0.0	0.0	0.0	0.0±0.0
	Total	436.0	281.8	25.0	247.6±85.7	208.1	0.0	19.5	59.4	0.0	9.2	49.4±23.0	14.0	21.0	9.0	14.7±2.4

순환농장에서는 볏짚보다 이탈리아 라이그라스 등 조사료의 급여비율이 높았지만 일부 순환농장이나 비순환농장에서는 볏짚의 급여비율이 절반 이상이었다. Lee 등(2022)도 한우 농가에서 조사료 형태 중 볏짚의 급여비율이 절반 정도라고 하였다.

볏짚보다는 이탈리아 라이그라스 건초 조사료의 사료가치가 높으며(Lee et al., 2022), 건초 조사료는 고급육 생산을 위한 도체등급 및 일당 증체량에 유리하기 때문에 건초의 사용이 증가하고 있다(Lee and Kim, 2017). 순환농장에서 일부 순환농장이나 비순환농장보다 이탈리아 라이그라스 등 건초조사료의 급여비율이 높았는데, 순환농장이 비순환농장보다 고급육 생산에 유리할 것으로 판단된다.

벼 정곡 및 농산물 생산량은 순환농장에서 247.6 ton, 일부 순환농장은 49.4 ton, 비순환농장은 14.7 ton으로, 순환농장이 비순환농장보다 17배 많았다.

5. 순환 유형별 축산물 생산량

조사대상 농가의 축산물 출하량은 순환농장에서 76.3 ton, 일부 순환농장은 30.1 ton, 비순환농장은 29.1 ton으로 순환농장에서 가장 많았는데(Table 6) 비육우 농가인 GN 농가에서 고기소 출하량이 많았기 때문이다. 비육우 농가는 고기소 출하량이 많아 양분 수치 측면에서 불리하다. 두당 연간 축산물 출하량은 순환농장에서 0.5 ton, 일부 순환농장과 비순환농장은 0.4 ton이었다. 두당 송아지 폐사체량은 순환농장은 300 kg, 일부 순환농장과 비순환농장은 100 kg이었다. 송아지는 7개월령 미만을 말하며 송아지 폐사율은 2개월 미만에서 65.7% 발생되기 때문에 송아지를 자가 생산하는 농가에서 발생한다(Kim et al., 2015).

Table 6. Meat production of organic Hanwoo farm according to three recycling types

Farming types		Cycling farm				Semi cycling farm						Non cycling farm					
		GN	JN-1	JN-2	Mean ±s.e.	JN-3	JN-4	CN-1	CN-2	CN-3	CB-1	Mean ±s.e.	JN-5	CN-4	CB-2	Mean ±s.e.	
Contents		----- (ton · year ⁻¹) -----															
Calf and Meat Production	Calf	0.0	2.0	0.0	0.7±0.5	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9±0.6	0.0	0.0	0.0	0.0±0.0	
	Meat	173.8	24.6	28.4	75.6±37.8	23.3	22.0	41.3	36.5	30.4	21.8	29.2±2.8	17.2	36.5	33.8	29.1±4.6	
	Total	173.8	26.6	28.4	76.3±37.5	28.7	22.0	41.3	36.5	30.4	21.8	30.1±2.4	17.2	36.5	33.8	29.1±4.6	
	Production per head	1.0	0.2	0.3	0.5±0.2	0.2	0.2	0.7	0.5	0.5	0.4	0.4±0.1	0.2	0.5	0.5	0.4±0.1	
Carcass	Calf mortality	0.0	1.2	0.1	0.4±0.3	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2±0.1	0.1	0.3	0.0	0.1±0.1	
	Mature mortality	0.7	0.0	0.0	0.2±0.2	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0	0.4	0.2±0.1	0.0	0.7	0.4	0.4±0.1	
	Mortality per head	0.00	0.71	0.05	0.3±0.2	0.40	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.1±0.1	0.17	0.02	0.00	0.1±0.0	

6. 자가 퇴비 이용 및 퇴비 순환율

순환 유형별 조사 농가의 퇴비 자가이용, 마을순환 및 외부반출량은 Table 7과 같다. 퇴비 생산량은 순환농장에서 593.0 ton, 일부 순환농장에서 319.7 ton, 비순환농장에서 317.2 ton으로 순환농장에서 가장 많았다. 사육두수가 많은 순환농장에서 퇴비 생산량도 593.0 ton으로 많았는데, Kim 등(2008)도 사육두수가 많을수록 축분 배출량이 많다고 하였다.

자가퇴비 시용량은 순환농장에서 586.0 ton, 일부 순환농장에서 203.9 ton, 비순환농장에서는 84.2 ton으로 사료작물 재배면적이 많은 순환농장에서 가장 많았다. 퇴비의 마을순환량은 순환농장에서 0.0 ton, 일부 순환농장에서 106.1 ton, 비순환농장에서 160.5 ton으로 비순환농장에서 가장 많았다. 외부반출량은 순환농장에서 7.0 ton, 일부 순환농장에서 9.8 ton, 비순환농장에서 72.5 ton으로 비순환농장에서 높아 마을순환량과 같이 비순환농장에서 높은 경향이었다.

Table 7. Compost production and recycling amount of compost from organic Hanwoo farm according to three recycling types

Farming types	Cycling farm				Semi cycling farm							Non cycling farm			
Farms	GN	JN-1	JN-2	Mean±s.e.	JN-3	JN-4	CN-1	CN-2	CN-3	CB-1	Mean±s.e.	JN-5	CN-4	CB-2	Mean±s.e.
	----- (ton · year ⁻¹) -----														
On-farm compost recycling	842.7	524.2	391.0	586.0±98.8	411.1	234.8	154.2	140.9	175.6	106.6	203.9±32.4	106.8	129.3	16.5	84.2±26.1
Village recycling	0.0	0.0	0.0	0.0±0.0	186.9	234.8	51.4	0.0	110.4	53.3	106.1±26.9	160.2	129.3	191.9	160.5±14.8
Off-site transfer	0.0	21.0	0.0	7.0±5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.6	9.8±6.6	64.1	0.0	153.6	72.5±31.2
Amounts of compost production	842.7	545.1	391.0	593.0±96.1	598.0	469.6	205.6	140.9	285.9	218.6	319.7±58.3	331.1	258.7	361.9	317.2±22.5

순환 유형별 퇴비 자가이용, 마을순환 및 외부반출량에 따른 순환율은 Fig. 2와 같다. 퇴비 자가 농경지 자체 순환비율은 순환농장에서 98.8%, 일부 순환농장은 63.8%, 비순환농장은 26.5%로 순환농장에서 가장 높았다. 퇴비 자체순환율이 높은 순환농장에서는 조사료생산에 필요한 충분한 양분투입이 가능하다(Yang et al., 2020). 퇴비의 마을순환이나 외부반출비율은 순환농장이 1.2%, 일부 순환농장 36.2%, 비순환농장이 73.5%로 비순환농장에서 매우 높았다.

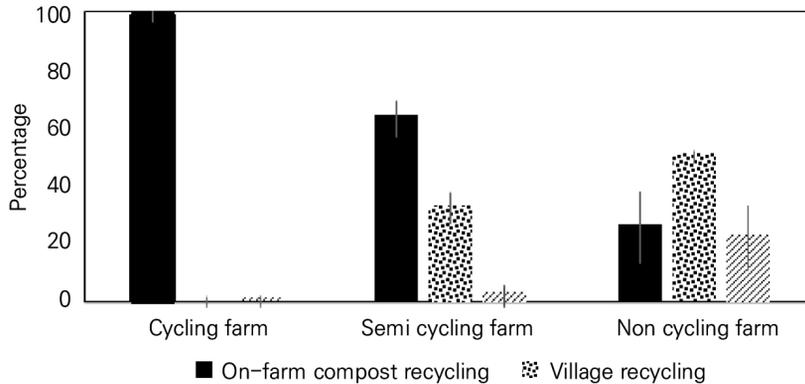


Fig. 2. Recycling rate of compost from organic Hanwoo farm according to three recycling types. The vertical bars represent standard error.

7. 순환 유형별 질소 유입 및 배출 구성 비율

질소 유입원(Input)과 질소 배출원(Output)의 항목별 구성비율은 Table 8과 같다. 질소 유입원 중에서 외부 구입 사료 급여량은 순환농장이 7,933 kg으로 유입 구성비율이 58.1%, 일부 순환농장은 5,276 kg으로 79.8%, 비순환농장이 5,914 kg으로 91.6%를 차지하는 등 유입원 중 외부 구입 사료 구성비율이 58-92%로 양분 유입원의 중요한 영향을 미치는 요인이었다. 외부 구입 사료 구성비율은 순환농장이 비순환농장보다 33.5% 낮아 순환농장이 비순환농장보다 사료의 외부 의존도가 낮다는 것을 나타낸다. 순환농장에서 외부 구입 사료 급여량 다음으로 자가생산 사료 급여량이 16.5%로 큰 비중을 차지하는 등 질소 유입원 중에서는 사료급여량이 가장 큰 비중을 차지하였다(RDA, 2013). 자가생산 퇴액비 사용량은 순환농장이 1,816 kg으로 유입 구성비율이 13.3%, 일부 순환농장이 646 kg으로 9.8%, 비순환농장은 261 kg으로 4.0%를 차지하며 순환농장이 비순환농장보다 퇴비의 자체순환율이 3배 높아 조사료 재배면적이 순환농장에서 높다는 것을 나타낸다.

질소 배출원 중에서 자가 사료 생산량은 순환농장이 1,448 kg으로 배출 구성비율이 19.6%, 일부 순환농장이 249 kg으로 10.3%, 비순환농장이 82 kg으로 4.4%를 차지하였으며 순환농장이 비순환농장보다 구성비율이 15% 높았다. 반면 퇴비 마을순환 및 외부반출량은 순환농장이 22 kg으로 0.3%, 일부 순환농장이 389 kg으로 16.2%, 비순환농장이 723 kg으로 38.2%를 차지하였으며 순환농장이 비순환농장보다 구성비율이 37.9% 적었다.

질소 배출 구성요소 중 고기소 출하가 차지하는 비율은 24.6-36.9%, 퇴비생산은 24.9-52.0%로 높은 구성비율을 차지하였다. 퇴비생산이 차지하는 구성비율은 순환농장이 24.9%, 일부 순환농장은 43.0%, 비순환농장은 52.0%를 차지하여 비순환농장에서 높았다. 외부에서 7-8개월령 송아지를 구입하여 농장에서 20-22개월 사육하는 비육우 농장에서는 고기 출하량이

Table 8. Component (%) and farm gate N balance from organic Hanwoo farm according to three recycling types

Farming types		Cycling farm		Semi cycling farm		Non cycling farm	
Con- tents	Balance items	N (kg · yr ⁻¹)	Component (%)	N (kg · yr ⁻¹)	Component (%)	N (kg · yr ⁻¹)	Component (%)
Input sources	• Self-produced calf	30±11.6 ^{1)a} ²⁾	0.2	13±7.0 a	0.2	9±3.3 a	0.1
	• Ppurchased cows	493±379.4 a	3.6	181±49.3 a	2.7	96±73.9 a	1.5
	• Self-production forage feed	2,258±485.9 a	16.5	448±133.4 b	6.8	108±35.1 b	1.7
	• Purchased feed	7,933±2,795.2 a	58.1	5,276±564.8 a	79.8	5,914±524.5 a	91.6
	• Purchased bedding materials	102±0.6 a	0.7	46±4.5 b	0.7	71±19.5 ab	1.1
	• Purchased Fertilizer	1,033±526.3 a	7.6	6±3.9 a	0.1	0±0.0 a	0
	• Application of self-produced compost	1,816±306.4 a	13.3	646±96.8 b	9.8	261±80.8 b	4
	Total (Input, kg)	13,664±4,387.6 a	100	6,615±751.0 a	100	6,458±384.4 a	100
Output sources	• Calf sold	16±12.3 a	0.2	22±14.7 a	0.9	0±0.0 a	0
	• Sold beef product	1,815±907.1 a	24.6	735±53.8 a	30.6	699±110.6 a	36.9
	• Carcass	16±5.1 a	0.2	7±2.1 a	0.3	12±4.6 a	0.6
	• Self-produced forage	1,448±274.2 a	19.6	249±67.7 b	10.3	82±44.8 b	4.4
	• Rice Sold	1,569±545.7 a	21.3	156±74.8 b	6.5	64±7.0 b	3.4
	• Self-produced rice straw	678±233.4 a	9.2	199±97.8 a	8.3	54±12.3 a	2.8
	• Sold crops	0±0.0 a	0	4±2.8 a	0.2	0±0.0 a	0
	• Self-produced compost	1,816±306.4 a	24.6	646±96.8 b	26.8	261±80.8 b	13.8
	• Regional compost recycling	0±0.0 a	0	389±90.6 a	16.2	498±37.5 a	26.3
	• External outputs of compost	22±16.7 a	0.3	0±0.0 a	0	225±96.7 a	11.9
	Total (Output, kg)	7,380±2,165.3 a	100	2,406±303.3 a	100	1,895±110.4 a	100
Head N surplus (Input-Output, kg · head ⁻¹ · yr ⁻¹)		42±1.1 b	0	47±1.3 ab	0	55±2.0 a	0
Meat N balance (Input-Output, kg · meat ⁻¹ · yr ⁻¹)		3.5±0.6 b	0	5.7±0.3 ab	0	6.5±0.4 a	0
Field N surplus (Input-Output, kg · ha ⁻¹ · yr ⁻¹)		234±18.4 b	0	1,161±489.2 b	0	5,476±1,358.9 a	0
Nitrogen use efficiency (Output / input, %)		54±2.3 a	0	36±2.1 b	0	29±3.0 b	0

Note: 1) All values are means ± s.e. (standard error)

2) Means followed by the same letter within a column are not significantly different according to Scheffe's multiple range test at $P < 0.05$.

가장 많았으며(RDA, 2013), 송아지를 자체 생산하여 농장에서 28-30개월 사육 후 출하하는 번식우 농장에서는 퇴비발생량이 큰 구성비율을 차지하였다. Lim 등(2017)은 자가퇴비 생산 및 질소 손실량은 질소 수지 산정결과에 가장 큰 비중을 차지한다고 하였으며, Kim 등(2008)도 배출량에서 큰 비중을 차지하는 것은 축분 배출량이라고 하였다.

8. 질소 수지 평가

질소 유입량과 질소 배출량을 산정하여 두당 질소 수지, 고기 kg당 질소 수지, 농경지 질소 수지, 질소이용율을 조사한 결과는 Table 8과 같다. 두당 질소 수지는 성축 기준(LSU)으로 하였으며 성축 환산계수는 송아지는 0.15, 육성우는 0.5로 계산하였다. 순환농장의 두당 잉여 질소량은 연간 $42 \text{ kg} \cdot \text{head}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$, 일부 순환농장은 $47 \text{ kg} \cdot \text{head}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$, 비순환농장은 $55 \text{ kg} \cdot \text{head}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ 으로 순환농장이 비순환농장보다 잉여 질소가 적었다. 순환농장의 두당 질소 수지는 $42 \text{ kg} \cdot \text{head}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ 이었는데, Hristov 등(2011)도 두당 하루 평균 119 g (1년으로 환산하면 연간 43 kg)의 암모니아가 배출된다고 하여 비슷한 값을 보였다. 고기 1 kg 생산 시 잉여 질소량은 순환농장에서 $3.5 \text{ kg} \cdot \text{meat}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$, 일부 순환 $5.7 \text{ kg} \cdot \text{meat}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$, 비순환 $6.5 \text{ kg} \cdot \text{meat}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ 으로 순환농장이 비순환농장보다 적었다. 질소 수지(잉여 질소)를 줄이려면 사료 및 단백질 급여량을 줄여야 한다(Hristov et al., 2011). 그러나 단백질 등 사료 급여량이 줄어들면 잉여 질소량 및 사료비용이 줄어들어 농가에는 이롭지만 생산 효율이 낮아질 수 있으므로(Hristov et al., 2011) 균형이 필요하다. 또한 축산 분뇨배출량의 증가로 잉여 질소가 증가하므로 가축 사육두수 조절을 통해 잉여 질소량을 줄일 필요가 있다(Kim et al., 2008).

질소 수지를 농경지 면적으로 나누어서 산출한 농경지 질소 수지는 순환농장에서 $234 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$, 일부 순환농장 $1,161 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$, 비순환농장 $5,476 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ 으로 비순환농장이 순환농장과 일부 순환농장보다 높았다. 본 연구에서 나타난 순환농장의 질소 수지 $234 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ 는 Lee와Yoon (2021)의 $222 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ 과 비슷하였다. 순환농장의 농경지 질소 수지는 일부순환 농장과 비순환농장의 농경지 질소 수지보다 5-23배 낮으므로 토양 및 수질 환경 개선 효과가 있다(Yang et al., 2020). 비순환농장 농경지의 질소 과잉은 환경오염원으로 작용하므로(Lee et al., 2021) 농경지 면적의 확대(Yang et al., 2020)로 농경지 질소 수지를 낮출 필요가 있다.

순환 유형별 배출량에서 유입량 비율인 NUE를 산출한 결과 순환농장이 54%, 일부 순환농장은 36%, 비순환농장은 29%로 순환농장이 일부 순환농장과 비순환농장보다 높았다. NUE 차이는 생산유형과 관리 강도의 차이(Quemada et al., 2020)라고 하였으며, Löw 등(2020)은 농장과 사료작물 재배 포장이 있는 농가에서 높은 NUE를 보인다고 하였다. 또한 Lin 등(2016)도 유기혼합농업이 비순환농업보다 높은 질소이용율과 가장 낮은 질소 수지를 보인다고 하였다. NUE에 영향을 미치는 것은 배출량 증가 또는 유입량의 감소이므로

(Hutchingsa et al., 2020) NUE를 높이기 위해서는 사료작물 재배 포장을 확보하여 자가조사료 생산량을 높이고 퇴비의 자가이용 순환을 높이는 경축 순환형 유기 축산으로의 전환이 필요하다.

IV. 적 요

본 연구는 두당 사료작물 재배면적을 기준으로 0.1 ha 이상을 순환 농가로, 0.01-0.1 ha 사이는 일부 순환농가로, 0.01 ha 이하는 비순환 농가로 구분하여 유기 가축의 모델 구축을 위해 국내 유기 및 자체인증 한우 사육 12농가를 대상으로 질소 유입량과 배출량을 항목별로 2022년 4월부터 2023년 3월까지 조사하였으며 순환 유형별 질소 수지를 평가하였다.

순환 유형별 자가생산 사료 급여비율은 순환 유기 한우 농장이 44.4%, 일부 순환농장이 15.0%인 반면 비순환농장에서는 4.2%였다. 퇴비의 자가 농경지 자체순환율은 순환농장 98.8%, 일부 순환농장 63.8%, 비순환농장 26.5% 이었으며, 비순환농장의 외부반출비율은 73.5%로 높았다.

연간 두당 질소 수지는 순환농장에서 42 kg, 일부 순환농장 47 kg, 비순환농장은 55 kg로 순환농장이 비순환농장보다 낮았다. 농경지 1 ha당 연간 잉여 질소량은 순환농장 234 kg, 일부 순환농장 1,161 kg, 비순환농장 5,476 kg로 순환 및 일부 순환농장이 비순환농장보다 매우 낮았다. 질소이용율(NUE)은 순환농장에서 54%, 일부 순환농장 36%, 비순환농장 29%로 순환농장이 일부 순환 및 비순환농장보다 높았다.

결론적으로 한우 두당 사료작물 재배면적이 높은 순환 유기 한우 농장이 비순환 한우 농장보다 질소 수지에서 잉여 질소가 적고 NUE가 높은 결과를 나타내었다. 유기 한우 사육 농장의 질소 수지를 낮추기 위해서는 사료작물 재배 포장을 확보하여 외부 구입 사료량을 줄이는 동시에 가축분뇨 퇴비의 자가이용 순환율을 높이는 자원순환형 생태 유기농업으로 전환이 필요하며, 이를 통하여 유기 축산 농가가 경제성과 환경 생태적으로 지속 가능한 유기 축산의 실현이 가능할 것이다.

[Submitted, June. 24, 2023; Revised, August. 1, 2023; Accepted, October. 30, 2023]

References

1. Beukes, P. C., M. R. Scarsbrook, P. Gregorini, A. J. Romera, D. A. Clark, and W. Catto.

2012. The relationship between milk production and farm-gate nitrogen surplus for the Waikato region. *New Zealand Journal of Environmental Management*. 93(1): 44-51.
2. Bleken, M. A., H. Steinshamn, and S. Hansen. 2005. High nitrogen costs of dairy production in Europe: worsened by intensification. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 34(8): 598-606.
 3. Choi, G. J., K. C. Choi, T. Y. Hwang, K. W. Lee, J. H. Kim, W. H. Kim, and J. S. Jung. 2018. Effect of difference in cold-tolerance of variety on forage productivity of Italian ryegrass in middle regions of Korea. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 38(4): 210-216.
 4. Choi, H. C., D. H. Kham, J. I. Song, B. S. Jeon, J. H. Jeon, Y. H. Yoo, J. C. Na, D. J. Yu, H. T. Bang, O. S. Suh, S. C. Lee, J. S. Kim, and D. H. Lee. 2008. Survey on housing types of Korean native cattle and beef cattle by farm scale and region. *Journal of Animal Environmental Science*. 14(3): 167-174.
 5. Hristov, A. N., M. Hanigan, A. Cole, R. Todd, T. A. McAllister, P. Ndegwa, and A. Rotz. 2011. Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots. *Canadian Journal of Animal Science*. 91(1): 1-35.
 6. Hutchingsa N. J., P. Sørensen, C. M. D. S. Cordovil, A. Leipd, and B. Amonb. 2020. Measures to increase the nitrogen use efficiency of European agricultural production. *Global Food Security*. 26: 100381.
 7. Hwang, B. S. and I. H. Jo. 2013. Effects of applying cattle slurry and mixed sowing with legumes on productivity, feed values and organic stock carrying capacity of winter forage crops in Gyeongbuk regions. *Korean Journal of Organic Agriculture*. 21(3): 451-465.
 8. Jo, I. H. 2016. Effect of mixed cropping with legume and using fermented cattle manure on productivity of whole crop barley (*Hordeum vulgare* L.) and organic Hanwoo feeding capacity in Gyeongbuk region of Korea. *Korean Journal of Organic Agriculture*. 24(3): 525-537.
 9. Kim, D. W., H. D. Ryu, D. Y. Lim, E. G. Chung, and Y. S. Kim. 2017. Development of a nutrient budget model for livestock excreta survey. *Journal of Korean Society on Water Environment*. 33(6): 769-779.
 10. Kim, P. J., Y. B. Lee, Y. Lee, H. B. Yun, and K. D. Lee. 2008. Evaluation of livestock manure utilization rates as agricultural purpose in developed OECD countries by using nutrient balances. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 27(4): 337-342.
 11. Kim, U. H., Y. H. Jung, C. Y. Choe, S. J. Kang, S. S. Chang, S. R. Cho, B. C. Yang, and T. Y. Hur. 2015. Korean native calf mortality: the causes of calf death in a large breeding

- farm over a 10-year period. *Korean Journal of Veterinary Research*. 55(2): 75-80.
12. KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2022. Agriculture and forestry.
 13. Lee, J. H. and Y. M. Yoon. 2019. Comparison of nutrient balance and nutrient loading index for cultivated land nutrient management. *Korean Journal of Environmental Biology*. 37(4): 554-567.
 14. Lee, J. H. and Y. M. Yoon. 2021. Comparison of the regional nutrient balance index by land and soil budget. *Journal of Animal Environmental Science*. 23(2): 85-94.
 15. Lee, J. H., J. H. An, E. S. Cho, and Y. M. Yoon. 2021. Study of methodology estimating the net nitrogen balance for the management of regional nutrient balance. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 54(2): 174-192.
 16. Lee, S. M. and E. J. Kim. 2017. Growth characteristics and nutritional composition of italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) cultivars grown in a paddy field. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 37(2): 183-188.
 17. Lee, S. Y., D. W. Cheon, H. S. Park, K. C. Choi, S. H. Yang, B. H. Lee, B. U. Lee, and J. S. Jung. 2022. Estimation on the consumption patterns and consciousness of domestic forage in Korean native cattle farmers. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 42(1): 17-25.
 18. Lee, Y. 2003. Nutrient balances on agricultural land in Korea. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 14: 28-39.
 19. Leip, A., W. Britz, F. Weiss, and W. D. Vries. 2011. Farm, land, and soil nitrogen budgets for agriculture in Europe calculated with CAPRI. *Environmental Pollution*. 159(11): 3243-3253.
 20. Lim, D. Y., H. D. Ryu, E. G. Chung, Y. S. Kim, and J. K. Lee. 2017. Regional application of the OECD nitrogen budget considering livestock manure compost. *Journal of Korean Society on Water Environment*. 33(5): 546-555.
 21. Lim, S. S., J. H. Kwak, H. J. Park, S. I. Lee, D. S. Lee, Y. S. Kim, B. K. Yun, S. W. Kim, and W. J. Choi. 2008. Analysis of nutrient cycling structure of a Korean beef cattle farm combined with cropping as affected by bedding material types. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 41(5): 354-361.
 22. Lin, H. C., J. A. Huber, G. Gerl, and K. J. Hülsbergen. 2016. Nitrogen balances and nitrogen-use efficiency of different organic and conventional farming systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 105: 1-23.
 23. Löw, P., Y. N. Karatay, and B. Osterburg. 2020. Nitrogen use efficiency on dairy farms with different grazing systems in northwestern Germany. *Environmental Research Communi-*

- cations. 2(10): 105002.
24. ME·MAFRA (Ministry of Environment·Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2016. Study on introduction of cropland nutrient management institution. Sejong, Korea.
 25. NAQS (National Agricultural products Quality management Service). 2022. Information of environment-friendly agricultural products certification. (<http://www.enviagro.go.kr/>)
 26. OECD. 2017. OECD compendium of agri-environmental indicators. organization for economic cooperation and development, Paris, France.
 27. PARCOM. 1995. PARCOM guidelines for calculating mineral balances. Oslo and Paris conventions for the prevention of marine pollution programs and measures committee (PRAM), Oviedo, 20-24.
 28. Quemada, M., L. Lassaletta, L. S. Jensen, O. Godinot, F. Brentrup, C. Buckley, S. Foray, S. K. Hvid, J. Oenema, K. G. Richards, and O. Oenema. 2020. Exploring nitrogen indicators of farm performance among farm types across several European case studies. *Agricultural Systems* 177: 102689.
 29. RDA (Rural Development Administration). 2012. The standard of study research analysis in agricultural science and technology.
 30. RDA (Rural Development Administration). 2013. Modelling of nutrient and carbon cycles to evaluate their balance in a green town.
 31. RDA (Rural Development Administration). 2017. Standard tables of feed composition in Korea. Rural Development Administration, Jeonju, Korea.
 32. RDA (Rural Development Administration). 2019. Comparison and evaluation of methodology for the improvement of farmland nutrient balance. Rural Development Administration, Jeonju, Korea.
 33. Rye, H. D., B. K. Park, E. G. Chung, K. H. Ahn, W. S. Choi, Y. S. Kim, and D. H. Rhew. 2015. Determination of prior areas for livestock excreta pollution survey. *Journal of Environmental Science International*. 24(8): 1085-1099.
 34. Ryoo, K. S. 2022. Fermentation efficiency and effect on morphological change of nitrogen and phosphorous with the litter types of cowshed. *Journal of the Korean Chemical Society*. 66(2): 86-91.
 35. Seo, S., E. S. Chung, K. Y. Kim, G. J. Choi, J. N. Ahn, J. S. Han, H. K. Park, and Y. S. Kim. 2010. Comparison of forage productivity and quality of italian ryegrass and barley mono, and mixtures sown in early spring. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 30(2): 115-120.
 36. Sutton, M. A., C. M. Howard, J. W. Erisman, G. Billen, A. Bleeker, P. Grennfelt, H. V.

- Grinsven, and B. Grizzetti. 2011. European nitrogen assessment Cambridge university press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511976988>.
37. Yang, H. Y., J. G. Kim, B. W. Oh, and I. H. Seo. 2020. Improvement of nutrient balance using feed crops for regional nutrient management. *Journal of Bio-Environment Control*. 29(1): 89-95.
 38. Yoon, S. Y. and S. H. Park. 2009. The study of resource cycling agriculture furtherance scheme. *Korean Journal of Agricultural Management and Policy*. 36(1): 158-178.