Nutrients Runoff and Rice Growth by Soil Texture and Transplanting Time during Early Maturing Rice Cultivating

Tae-Gu Lee¹, Myung-Sook Kim², Sang-Ho Jeon¹, Ha-il Jung¹, and Jung-Hun Ok^{1*}

¹Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

²Senior Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: okjh@korea.kr

ABSTRACT

Received: November 8, 2021

Revised: November 30, 2021

Accepted: December 1, 2021

Edited by

Won-Pyo Park,
Jeju National University, Korea

ORCID

Tae-Gu Lee
<https://orcid.org/0000-0002-3115-7516>

Myung-Sook Kim
<https://orcid.org/0000-0002-4382-0194>

Sang-Ho Jeon
<https://orcid.org/0000-0001-8955-7865>

Ha-il Jung
<https://orcid.org/0000-0003-2357-101X>

Jung-hun Ok
<https://orcid.org/0000-0002-5854-0179>

The early maturing rice is a species that can be cultivated at various times, such as early, normal season, and late cultivation, depending on the purpose. There are many studies on the characteristics of rice according to the transplanting time for these early maturing rice, but studies on the runoff of nutrients are insignificant. The surface runoff of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ was the highest among the treatment at 1.337 g m^{-2} (2020 year) in the Clay Loam (CL) & late cultivation, and the smallest treatment was the Sandy Loam (SL) & normal season cultivation (0.005 g m^{-2} , 2019 year). The highest $\text{NO}_3^-\text{-N}$ surface runoff was 0.137 g m^{-2} (2020 year) in the CL & late cultivation. In the case of phosphate, there were more nutrients runoff from late cultivation with large outflows than normal season cultivation. The underground runoff of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ was the highest among the treatment at 0.147 g m^{-2} (2020 year) in the SL & late cultivation, and the smallest treatment was the CL & normal season cultivation (0.007 g m^{-2} , 2019 year). The highest $\text{NO}_3^-\text{-N}$ underground runoff was 2.113 g m^{-2} (2019 year) in the SL & normal season cultivation. In order to compare rice growth, the dry weight of leaves, shoots, and ears after rice harvest was compared. ear was a little larger in the normal season cultivation than in the late cultivation in 2019 ($p < 0.05$), but there was no difference in ear according to soil texture and the transplanting time in 2020. There may be differences in nutrient outflow and rice growth depending on the soil texture and transplanting time when cultivating early maturing rice, and the results of this study can be used as basic data on nutrient outflow in paddy when cultivating early maturing rice.

Keywords: Early maturing rice, Lysimeter, Nutrient runoff, Paddy, Soil texture, Transplanting time

The amount of nutrients losses due to underground runoff during cultivation.

Year	Transplanting time	Soil texture	Water runoff (mm)	Nutrient runoff (g m^{-2})		
				$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	PO_4^{3-}
2019	Normal	CL [†]	91.5	0.007	0.094	0.003
		SL	365.4	0.027	2.113	0.005
	Late	CL	56.7	0.011	0.035	0.003
		SL	431.2	0.034	1.301	0.025
2020	Normal	CL	329.7	0.012	0.106	0.002
		SL	337.1	0.080	0.558	0.016
	Late	CL	27.5	0.019	0.020	0.001
		SL	356.3	0.147	0.218	0.012

[†]CL, clay loam; SL, sandy loam.

Introduction

벼는 우리나라 주곡 작물로서, 재배시기에 따라 크게 조생종, 중만생종, 만생종으로 나누며, 그 중에서도 조생종은 목적에 따라 시기를 달리하여 이앙할 수 있다 (Nam et al., 2018). 조생종 벼를 5월 하순 - 6월 상순에 이앙하는 적기 (보통기) 재배의 경우 중만생 종에 비해 생육시기가 짧아 수확시기가 빠르고 이로 인해 노동력 및 장비 사용을 분산시킬 수 있고, 쌀 가격의 급변동 문제도 해결할 수 있다. 만기 (6월 하순 - 7월 상순)에 이앙 할 경우에는 논외의 활용도와 곡물 자급률이 증대된다고 하였다 (Park et al., 2020).

조생종 벼에 관한 연구사례로 미질 향상, 수량 증대 등 품종 개발에 관한 연구는 다수 존재하나, 환경 부하에 관한 연구는 미미한 실정이다. 벼는 담수된 조건하에 생육하기 때문에 유거수 또는 지하유출수와 함께 질소와 인과 같은 비료 성분이 환경부하를 일으킬 수 있는 비점오염원으로 분류된다. 다수의 연구자들이 논에서의 오염물질 정량화를 위한 연구를 수행하였는데, 부하량의 차이는 연도, 기상조건, 영농 방법의 차이로 인해 발생하는 것으로 나타났다 (Choe et al., 2017). 또한 작물의 양분이용률은 토양과 기상과 같은 환경적인 요인에 의해 영향을 받게 된다.

라이시미터는 토양 중 양분의 이동 및 분포를 평가하는데 활용되어 왔다 (Zotarelli et al., 2007; Jia et al., 2014). 일반적인 라이시미터와 달리 라이시미터 내 무게를 실시간으로 측정하는 중량식 라이시미터의 경우 물의 이동과 함께 양분의 이동을 동시에 파악할 수 있다. 특히 비교란 시료로 채워진 라이시미터는 토양을 통한 물과 용질의 이동 및 상태변화를 정밀하게 직접 측정할 수 있는 장점이 있다 (Meissner and Seyfarth, 2004; Meißner et al., 2010; Kong et al., 2019). 본 연구는 국립농업과학원에 설치된 중량식 라이시미터를 활용하여 조생종 벼를 재배할 시, 토성 및 이앙시기에 따른 환경부하와 작물 생육 상태를 비교 평가하고자 하였다.

Materials and Methods

중량식 라이시미터 개요 본 연구는 국립농업과학원 시험포장 내에 설치된 비교란 중량식 라이시미터를 이용하여 수행되었다. 해당 라이시미터는 표면적 1 m², 깊이 1.5 m인 스테인리스강 재질의 원통형 시설이고, 토양 표면으로부터 유거 발생 지점까지의 높이는 10 cm였다. 논 토양의 토성은 식양토 (clay loam)와 사양토 (sandy loam)로 나뉘어 있었다. 식양토의 투수계수는 0.8 - 0.9 mm day⁻¹ (2019), 0.3 - 0.5 mm day⁻¹ (2020)였고, 사양토의 투수계수는 3.7 - 5.6 mm day⁻¹ (2019), 3.8 - 4.7 mm day⁻¹ (2020)였다. 이 외의 각종 센서와 관련된 사항은 Seo et al. (2016)에서 사용한 라이시미터와 동일하다. 라이시미터 내 논 토양의 시험 전 토양 화학성을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Soil chemical properties before transplanting.

Year	Soil texture	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)			Avail. SiO ₂ (mg kg ⁻¹)
						K	Ca	Mg	
2019	CL [†]	5.5	0.36	31	78	0.20	4.9	1.2	179
	SL	5.5	0.18	19	245	0.11	2.7	0.5	80
2020	CL	5.8	0.19	24	60	0.19	4.8	1.3	198
	SL	5.4	0.14	17	276	0.10	2.6	0.4	102
Optimum range		5.5 - 6.5	≤2	20 - 30	80 - 120	0.20 - 0.30	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0	≥157

[†]CL, clay loam; SL, sandy loam.

시험구 처리내용 벼 종자는 조생 고품질 품종인 조평 (운봉 42호)을 사용하였다. 처리구 당 16주를 이앙하였고, 재식밀도는 30×15 cm였다. 연구는 2019 - 2020년에 수행하였고, 적기 이앙은 5월 하순 (5.31. (2019), 5.20. (2020)), 만기 이앙은 7월 10일 (2019, 2020년)로 이앙시기를 나누어 처리하였다. 밑거름과 웃거름은 작물별 비료사용처방 기준 (NAS, 2019)에 맞춰 시비하였다 (Table 2). 물관리는 연속관개를 통해 담수심 5 cm를 유지하여 재배 기간 중 논 토양이 환원상태를 유지하도록 하였다. 벼 수확은 적기 재배는 9월 상순 (9.4. (2019), 9.9. (2020)), 만기 재배는 10월 중순 (10.16. (2019), 10.15. (2020))에 수확하였고, 수확하기 약 3주 전부터 관개를 중단하였다.

Table 2. The amount of fertilizer added.

Fertilizer type	N (kg 10a ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg 10a ⁻¹)	K ₂ O (kg 10a ⁻¹)
Basal fertilizer	5.5	4.5	4.0
Top dressing at tillering stage	2.2	-	-
Top dressing at young ear formation stage	3.3	-	1.7

수질 · 토양 분석 및 유출량 산정 지하유출수는 비료 투입 전과 후에 채수하여 분석하고, 유거수는 강우로 인해 유거가 발생했을 경우에 채수하여 유출수의 화학성을 분석하였다. 해당 논 라이시미터는 표면으로부터 높이 10 cm의 벽 (bezel)을 설치하였고, 강우로 인해 물의 높이가 표면으로부터 10 cm가 넘어갈 시 유거수를 수집할 수 있도록 하였다. 수질 분석은 수질오염공정시험기준 (MOE, 2017), 토양 분석은 토양화학성 분석방법 (NAAS, 2010)에 준하여 수행하였다. 무기태 질소 (NH₄⁺, NO₃⁻)는 이온 자동분석기 (AA, QuAatro, Seal analytical, USA)를 이용하여 분석하였고, 유출수의 인산염인은 이염화주석환원법을 이용하여 분석하였다. 교환성 양이온은 1 N 아세트산암모늄 (CH₃COONH₄)을 이용하여 침출하고 유도결합플라즈마 분광광도계 (ICP-OES, GBC, Australia)를 이용하여 분석하였다. 담수의 전기전도도 (EC)와 토양의 산화환원전위 (Eh)는 Logger (C&Y, CR1000)를 이용하여 1시간 간격으로 측정값을 저장하였다.

양분 유출량은 수질 분석을 통해 측정된 무기태 질소 (NH₄⁺-N, NO₃⁻-N), 인산염에 유거수와 지하유출수의 수량 (mm)을 곱하여 유출량 (kg 10a⁻¹)을 산정하였다.

$$\text{유출량 (kg 10a}^{-1}\text{)} = \frac{1}{1,000} \times \text{유출수량 (mm)} \times \text{유출농도 (mg L}^{-1}\text{)} \quad (\text{Eq. 1})$$

벼 생육조사 및 화학성 분석 벼 생육량 비교를 위해 수확기에 6주를 채취하여 생체중 (fresh weight)을 측정한 후에 생육상태가 유사한 3주를 선별하여 건물중 (dry weight)을 측정하여 비교하였다. 선별한 식물체는 건조 시킨 후에 분쇄하여 식물체 시료로 하였다. 시료 0.5 g에 진한 황산과 과염소산을 넣어 가열 분해하여 Lee et al. (2017)과 동일한 방법으로 총질소, 인산 함량을 측정하였다. 처리구 간 식물체 생육을 비교하기 위해 통계 프로그램인 SAS Enterprise를 이용하여 분산분석 (ANOVA) 하고, 사후검정으로 Duncan's multiple range test (DMRT)를 수행하였다.

Results and Discussion

재배 환경 특성 2019년과 2020년의 기상 특성을 Fig. 1에 나타내었다. 2019년에는 평년 대비 강수량이 적었다. 특히 강우가 집중되는 7월과 8월의 강수량이 평년 대비 50% 이상 적게 나타났다. 강수량이 적어짐에 따라 양분의 유거유출에도 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 반면 2020년에는 7월과 8월에 평년 대비 2배 이상 강수가 발생하였다.

재배기간 중 토양 pH는 적정범위인 5.5 - 6.5 수준을 유지하였고, 담수 EC의 경우에는 비료를 투입한 후 증가하였다가 점차 낮아졌으며, 생육 후반으로 갈수록 처리구 간의 EC 차이는 줄어들었다 (Fig. 2).

재배 기간 중 담수의 EC는 $0 - 0.5 \text{ dS m}^{-1}$ 수준으로 토양 내 EC의 적정범위인 2 dS m^{-1} 보다 낮아서 EC로 인한 작물 피해는 없었을 것으로 판단된다. 토양 Eh는 표면으로부터 5 cm 깊이에서 측정하였고 센서 투입 후 약 10 - 20일간의 안정화 기간이 끝난 후부터 측정된 논 토양의 Eh는 $-400 \sim -200 \text{ mV}$ 수준으로 환원상태를 유지하였다 (Fig. 3). 이는 동일한 라이시미터에서 Kong et al. (2019)이 중만생 종으로 연구를 수행했을 때의 토양 환경과 동일한 결과이다. 식질 적기 재배구의 2020년 8월 12일부터 8월 24일까지 Eh 데이터는 센서 오작동으로 인해 결측되었다.

Fig. 1. Average temperature and monthly precipitation in 2019 and 2020 years.

Fig. 2. Change of electrical conductivity (EC) in water during cultivation (a) 2019 and (b) 2020 years. During normal season cultivation, ① and ② were added separately. On the other hand, fertilizers (① and ②) were added at the same time during late season cultivation.

Fig. 3. Change of Eh (oxidation-reduction potential) during cultivation. CL, clay loam; SL, sandy loam.

양분 (N, P) 유출량 비교 재배기간 중 유거유출은 2019년 식양토에서 5 - 6번, 사양토에서 2 - 3번 일어났고, 2020년에는 장마기간이 길고, 강우강도가 센 강우로 인해 식양토와 사양토에서 모두 13번의 유거가 발생하였다. 재배기간 중 발생한 총 유거수량과 양분 유거유출량을 Table 3에 나타내었다.

Table 3. The amount of nutrients losses due to surface runoff during cultivation.

Year	Transplanting time	Soil texture	Water runoff (mm)	Nutrient runoff (g m ⁻²)		
				NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ³⁻
2019	Normal	CL [†]	31.0	0.016	0.015	0.004
		SL	0.5	0.005	0.006	-
	Late	CL	145.8	0.219	0.011	0.008
		SL	88.9	0.019	0.008	0.018
2020	Normal	CL	779.3	0.189	0.090	0.076
		SL	744.7	0.159	0.050	0.153
	Late	CL	809.1	1.337	0.137	0.075
		SL	661.9	1.160	0.046	0.181

[†]CL, clay loam; SL, sandy loam.

유거유출의 경우, 연구 수행기간 (2019 - 2020년) 중 2019년에는 토성에 따른 차이가 나타나, 사양토보다 식양토에서 유거 유출수량이 많았다. 이는 토성별 투수속도에 의한 차이에서 기인한 것으로 판단된다.

유거수량은 장마기간 (7 - 8월)에 평년 대비 강수량이 50% 이상 적었던 2019년에 토성에 따른 차이가 크게 나타났고, 같은 시기 평년 대비 강수량이 50% 이상 많았던 2020년에는 토성에 따른 유거수량의 차이는 크지 않았다. 만기 이앙의 경우 장마시기에 이앙을 하기 때문에 적기 재배보다 유거수량이 상대적으로 많은 경향이 있으나, 2020년에는 오랜기간 지속된 장마로 인해 적기 재배구와 만기 재배구의 차이가 크지 않았으며 오히려 적기 재배구의 유거수량이 많게 나타나는 경향을 보였다. 논 토양에서 만기 재배 시 유거수의 발생량이 더 많은 것이 일반적이지만, 라이시미터의 경우 처리구별로 관개수 투입 시기가 상이하며 관개수 투입 후 강우가 발생 시 더 많은 유거수량이 발생할 수 있기 때문에 본 연구에서는 일부 다른 경향이 나타난 것으로 판단된다.

무기태 질소 중 NH₄⁺-N은 식양토 만기재배구에서 0.219 g m⁻²가 유출되어 처리구 중 가장 많은 양의 유출이 일어났다. 반면 가장 적에 유출이 일어난 처리구는 사양토 적기 재배구 (0.005 g m⁻²)였다. NO₃⁻-N의 경우에는 식양토 적기 재배구에서 0.015 g m⁻² 유출되어 처리구 중 가장 많이 유출되었고, 사양토 적기 재배구에서 가장 적게 (0.006 g m⁻²) 유출되었다. 식양토의 경우 투수계수가 사양토에 비해 작기 때문에 유거수의 유출이 많았고, 그로 인해 무기태 질소의 유출 또한 많이 일어난 것으로 판단된다. Fu et al. (2017)은 농경지 양분투입이 많을수록 질소의 용탈이 많고, 기후 조건에 의한 영향은 적다고 하였지만, 본 연구의 결과로는 강우로 인한 유거가 많을수록 무기태 질소의 유출도 많이 일어나 유거로 인한 유출의 경우 강우에 의한 영향이 있는 것으로 판단된다.

수용성 인산은 무기태 질소와는 달리 유거수량의 영향을 받지 않았다. 식양토 적기재배구와 만기 재배구에서 유거수량이 모두 많았지만, 인산의 유출은 사양토에서 더 많이 일어났다. 인산 이온은 유출수로 대부분 부하를 일으키는 질소와는 달리 토립자에 흡착되어 토양과 함께 유출 (Cho et al., 1999) 되기 때문에 점토함량이 높은 식양토보다 점토함량이 낮은 사양토에서 토립자의 유출이 더 많아서 그에 따른 인산의 유출도 더 많았을 것으로 판단된다.

지하유출수와 지하양분유출량은 Table 4에 나타내었다. 지하 유출수량은 유거 유출수와는 달리 식양토보다 사양토 처리구에서 적기, 만기 모두 지하 유출수량이 많았다. 이는 사양토의 점토함량이 상대적으로 식양토보다 낮기 때문으로 판단된다. 식양토와 달리 사양토의 경우 적기보다 만기에서 지하유출수량이 더 많았는데, 이는 같은 토성이라도 토양 단면 특성에 따라 유출되는 총량에 차이가 생길 수 있기 때문에 발생한 것으로 판단된다.

Table 4. The amount of nutrients losses due to underground runoff during cultivation.

Year	Transplanting time	Soil texture	Water runoff (mm)	Nutrient runoff (g m ⁻²)		
				NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ³⁻
2019	Normal	CL [†]	91.5	0.007	0.094	0.003
		SL	365.4	0.027	2.113	0.005
	Late	CL	56.7	0.011	0.035	0.003
		SL	431.2	0.034	1.301	0.025
2020	Normal	CL	329.7	0.012	0.106	0.002
		SL	337.1	0.080	0.558	0.016
	Late	CL	27.5	0.019	0.020	0.001
		SL	356.3	0.147	0.218	0.012

[†]CL, clay loam; SL, sandy loam.

NH₄⁺-N의 지하양분유출은 사양토 만기재배구에서 0.034 g m⁻² 유출되어 유출량이 가장 많았고, 처리구 중 식양토 적기재배구의 유출량이 0.007 g m⁻²로 가장 작았다. NO₃⁻-N의 유출은 사양토 적기 재배구에서 2.113 g m⁻²로 가장 많았고, 식양토 만기 재배구에서 0.035 g m⁻² 유출되어 처리구 중에서 가장 적게 유출되었다. Lee et al. (2018)의 연구 결과에 따르면 배추 재배 시 사양토에서 식양토에 비해 질소의 용탈이 5배 정도 많았기 때문에 질소 수지를 산정할 때 토성을 고려해야 한다고 하였다. 사양토의 투수 속도가 식양토보다 크기 때문에 지하 유출 또한 많았던 것으로 판단된다.

인산 유출도 식양토보다 사양토에서 양분의 유출이 많이 일어났다. 가장 많은 유출이 일어난 처리구는 2019년 사양토 만기 재배구였으며 (0.025 g m⁻²), 2020년에는 사양토 적기재배구에서 지하유출량이 0.016 g m⁻²로 처리구 중 가장 많았다.

벼 생육 및 식물체 화학성 벼 수확 후 잎과 줄기, 이삭을 분리하여 주당 건물중을 측정하고 분산분석 (ANOVA)을 통해 처리구 간 비교하였다 (Fig. 4). 분석결과 2019년 잎, 줄기, 이삭과 2020년 잎 건물중에서 처리구 간에 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다. 잎의 경우, 2019년에는 식양토 적기재배구에서 건물중은 7.6 g으로 처리구 중 가장 컸으며, 식양토 만기 재배구의 잎 건물중은 5.9 g으로 가장 작았다. 반면, 2020년에는 2019년과는 반대로 적기 재배구의 잎 건물중이 작고, 만기 재배구의 잎 건물중이 더 컸다. 2019년과 달리 2020년에는 벼 생육이 왕성한 시기인 7 - 8월에 긴 장마로 인해 잎의 성장이 만기 재배구에 비해 적었을 것으로 판단된다. 줄기의 경우에는 식양토에서는 차이가 없었지만, 사양토에서는 만기 재배구가 적기 재배구에 비해 줄기의 건물중이 크게 나타나 이앙시기에 따른 차이가 있었다. 이삭의 경우에도 이앙시기에 따른 차이가 나타나, 적기 재배구의 이삭 건물중이 (40.7 - 45.2 g) 만기 재배구 (35.5 - 36.6 g)보다 크게 나타났다. 하지만 2020년에는 줄기와 이삭 모두 이앙시기에 따른 차이가 나타나지 않았다.

Fig. 4. Comparison of dry weight for leaf, shoot, ear according to soil texture and transplanting time. CL, clay loam; SL, sandy loam; Normal, normal season cultivation; Late, late season cultivation. The different small letters above the bars are the significant differences by Duncan's multiple range test.

수확한 벼의 잎, 줄기, 이삭에 들어있는 N, P의 함량을 측정하여 Table 5에 나타내었다. 2019년에는 잎, 줄기, 이삭의 T-N은 이앙시기에 따른 차이를 보였다. 사양토에서 만기재배구의 벼 T-N 함량은 잎이 1.55%, 줄기는 0.74%, 이삭 1.47%로 같은 토성의 적기재배구보다 많았다. P_2O_5 의 함량은 사양토에서 재배된 벼의 잎과 줄기에서는 차이가 있었지만, 이삭에서는 통계적으로 유의미한 차이는 발견되지 않았다. 2020년에는 잎, 줄기, 이삭의 양분 (N, P)의 함량에 대해 이앙시기에 따른 차이는 나타나지 않았고, 토성에 따른 차이는 일부 발견되었다. 식양토에서 자란 벼의 잎의 P_2O_5 함량은 사양토보다 작았고, 줄기의 T-N 항목에서는 식양토 적기재배구가 다른 처리구에 비해 많았다.

2019년 적기 재배의 생육일수는 97일, 만기 재배의 생육일수는 99일, 2020년 적기 재배의 생육일수는 113일, 만기 재배의 생육일수는 98일로 2020년 적기 재배구의 생육일수가 다른 처리구에 비해 길었으나 생육일수가 양분의 흡수에 미친 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

Table 5. Plant chemical properties (N, P) according to the soil texture and transplanting time.

2019 year							
Soil texture	Transplanting time	Leaf		Shoot		Ear	
		T-N (%)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)
CL [†]	Normal	1.18 ± 0.14 a [‡]	0.17 ± 0.04 a	0.61 ± 0.05 a	0.18 ± 0.06 a	1.05 ± 0.03 a	0.60 ± 0.05 a
CL	Late	1.31 ± 0.15 a	0.20 ± 0.03 ab	0.76 ± 0.08 b	0.19 ± 0.05 a	1.39 ± 0.11 b	0.58 ± 0.02 a
SL	Normal	1.16 ± 0.08 a	0.22 ± 0.03 b	0.60 ± 0.04 a	0.21 ± 0.03 a	1.08 ± 0.03 a	0.57 ± 0.04 a
SL	Late	1.55 ± 0.18 b	0.32 ± 0.03 c	0.74 ± 0.08 b	0.31 ± 0.02 b	1.47 ± 0.12 b	0.60 ± 0.04 a
2020 year							
Soil texture	Transplanting time	Leaf		Shoot		Ear	
		T-N (%)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)
CL	Normal	0.99 ± 0.12 a	0.16 ± 0.04 a	0.53 ± 0.06 b	0.16 ± 0.03 a	1.14 ± 0.11 a	0.56 ± 0.09 a
CL	Late	0.96 ± 0.08 a	0.20 ± 0.12 ab	0.48 ± 0.04 ab	0.16 ± 0.03 a	1.06 ± 0.10 a	0.50 ± 0.09 a
SL	Normal	0.99 ± 0.04 a	0.31 ± 0.06 c	0.46 ± 0.04 a	0.25 ± 0.03 a	1.12 ± 0.11 a	0.47 ± 0.04 a
SL	Late	0.93 ± 0.08 a	0.28 ± 0.10 bc	0.50 ± 0.06 ab	0.18 ± 0.14 a	1.06 ± 0.07 a	0.54 ± 0.08 a

[†]CL, clay loam; SL, sandy loam.[‡]The different superscripts are the significant differences according to Duncan's multiple range test.

Conclusions

조생종 벼는 목적에 따라 이앙시기를 달리할 수 있고, 이앙시기를 달리함에 따라 양분의 유출이나 작물 생육에 차이가 발생할 수 있지만, 이에 관한 연구 결과는 미미한 실정이다. 본 연구는 2019 - 2020년에 논토양 중량식 라이시미터에서 토성과 이앙시기를 달리하여 조생종 벼를 재배하고 그에 따른 양분 유출량과 작물 생육 특성을 비교하였다.

유거로 인한 NH₄⁺-N의 유출은 식양토 만기 재배구에서 0.219 g m⁻² (2019), 1.337 g m⁻² (2020)로 처리구 중 가장 많았으며, 가장 적게 유거 양분 유출이 일어난 처리구는 사양토 적기 재배구 (0.005 g m⁻² (2019), 0.159 g m⁻² (2020))였다. 무기태 질소 (NH₄⁺, NO₃⁻)는 사양토보다 식양토에서 많이 유출되었으나, 인산이온은 식양토보다 사양토에서 유거로 인한 양분 유출량이 많은 경향을 보였다.

지하 양분 유출의 경우에는 식양토보다 사양토에서 지하유출수량이 많았고 이에 양분의 유출 또한 많았다. 같은 토성 내에서 암모늄태 질소의 유출은 만기 재배 시 더 많은 유출이 일어났지만, 반대로 질산태 질소의 유출은 적기 재배 시 더 많은 유출이 일어나는 경향을 보였다.

벼 생육 상태를 비교하기 위해 수확한 벼를 잎, 줄기, 이삭으로 나누고 건물중 및 양분흡수량을 비교하였다. 건물중의 경우에는 2019년 이삭에서는 적기 재배구보다 만기 재배구에서 건물중이 감소하는 경향이 있었으나, 2020년에는 차이가 나타나지 않았다. 2019년에는 총질소의 경우 잎, 줄기, 이삭에서 만기 재배 시 더 높은 함량을 보였으나, 2020년에는 차이가 나타나지 않았다. 인산 흡수량은 이앙시기보다 토성에 따른 차이를 보였으며 잎과 줄기에서 식양토보다 사양토의 벼에서 더 높은 함량이 있는 것으로 나타났다.

논에서 조생종 벼를 재배할 시 토성과 이앙시기에 따른 양분의 유거와 지하 유출, 작물 생육 특성이 달라질 수 있으며, 본 연구의 결과는 조생종 벼 재배에 따른 농경지 양분 유출에 관한 기초자료로써 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Evaluating water and nutrient transport in paddy and upland soils using monolithic weighing lysimeters (Project No. PJ014262)”, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Cho, J.Y., K.W. Han, and C.H. Choi. 1999. Runoff loading of nitrogen and phosphorus with rainfall intensity from a paddy field. *Korean J. Environ. Agric.* 18(2):140-147.
- Choe, D.H., S.G. Choe, S.O. Heo, and J.P. Jo. 2017. Nutrient runoff in paddy fields and nutrient runoff impact assessment according to climate change scenarios. *Mag. Korean Soc. Agric. Eng.* 59(3):34-42.
- Fu, J., R. Gasche, N. Wang, H. Lu, K. Butterbach-Bahl, and R. Kiese. 2017. Impacts of climate and management on water balance and nitrogen leaching from montane grassland soils of S-Germany. *Environ. Pollut.* 229:119-131.
- Jia, X., L. Shao, P. Liu, B. Zhao, L. Gu, S. Dong, S.H. Bing, J. Zhang, and B. Zhao. 2014. Effect of different nitrogen and irrigation treatments on yield and nitrate leaching of summer maize (*Zea mays* L.) under lysimeter conditions. *Agric. Water Manage.* 137:92-103.
- Kong, M.S., T.G. Lee, S.S. Kang, E.J. Lee, G.B. Jung, Y.H. Kim, and H. Jung. 2019. Nutrient characteristics and redox potential changes as affected by water management in rice paddy weighing lysimeter. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 52(4):567-578.
- Lee, Y.J., J.H. Ok, S.B. Lee, J.K. Sung, Y.S. Song, and D.B. Lee. 2018. Nitrogen leaching and balance of soils grown with cabbage in weighing lysimeter. *Korean J. Environ. Agric.* 37(3):166-171.
- Lee, Y.J., J.K. Sung, S.B. Lee, J.E. Lim, Y.S. Song, D.B. Lee, and S.Y. Hong. 2017. Plant analysis methods for evaluating mineral nutrient. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(2):93-99.
- Meissner, R. and M. Seyfarth. 2004. Measuring water and solute balance with new lysimeter techniques. In Paper presented at Super Soil, 3rd Australian and New Zealand Conference, University of Sydney, Australia.
- Meißner, R., M.N.V. Prasad, G. Du Laing, and J. Rinklebe. 2010. Lysimeter application for measuring the water and solute fluxes with high precision. *Curr. Sci.* 99(5):601-607.
- MOE (Ministry of Environment). 2017. Standard method for the examination of water pollution. Sejong, Korea.
- NAAS (National Academy of Agricultural of Science). 2010. Method of soil chemical analysis. RDA, Suwon, Korea.
- Nam, J.K., H.S. Park, K.Y. Kim, B.K. Kim, Y.C. Cho, J.K. Ko, M.K. Baek, J.J. Kim, W.J. Kim, W.C. Shin, J.C. Ko, J.H. Lee, J.M. Jeong, J.U. Jeung, and K.H. Kang. 2018. Multiple disease resistant early maturing rice cultivar ‘Joil’ with high grain quality adaptable to early transplanting cultivation in the southern plain area. *Korean J. Breed. Sci.* 50:280-288.
- NAS (National Institute of Agricultural of Sciences). 2019. Fertilizer application recommendations for crop plants. RDA, Wanju, Korea.
- Park, H.S., J.P. Suh, M.K. Baek, C.M. Lee, W.J. Kim, G.M. Lee, S.M. Kim, C.S. Kim, and Y.C. Cho. 2020. Characterization of yield and panicle-related traits of early maturing rice varieties by cultivation times in the honam plain area of Korea. *Korean J. Breed. Sci.* 52(2):115-130.
- Seo, M.J., K.H. Han, K.H. Jung, H.R. Cho, Y.S. Zhang, and S.Y. Choi. 2016. Effect of temperature and plow pan on water movement in monolithic weighable lysimeter with paddy sandy loam soil during winter season. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(4):300-309.
- Zotarelli, L., J.M. Scholberg, M.D. Dukes, and R. Munoz-Carpena. 2007. Monitoring of nitrate leaching in sandy soils: Comparison of three methods. *J. Environ. Qual.* 36:953-962.