

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2021.54.2.213>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Estimation of Optimum N Fertilizer and Sowing Rate for Italian Ryegrass Seed Production in the Saemangeum Reclaimed Land

Hui Su Bae¹, Hyeonsoo Jang¹, Seung Hyeon Ahn¹, Uk Han Kim², Jong Tak Youn², and Doug Young Chung^{3*}¹Research Scientist, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea²Senior Researcher, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea³Professor, Department of Bio-Environmental Chemistry, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea*Corresponding author: dychung@cnu.ac.kr

ABSTRACT

Received: April 24, 2021

Revised: May 25, 2021

Accepted: May 26, 2021

ORCID

Hui Su Bae

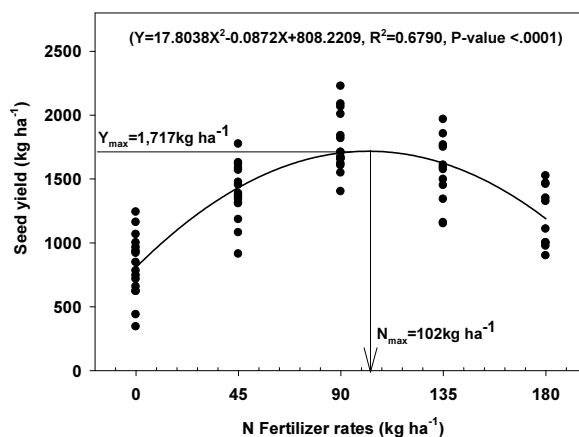
<https://orcid.org/0000-0001-6490-2028>

Doug Young Chung

<https://orcid.org/0000-0001-7948-1297>

Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) was cultivated in a field experiment, on sandy loam soil of the Saemangeum reclaimed land, under different sowing rates and N fertilizer levels to estimate the optimum N fertilizer requirement and the most suitable sowing rate for seed production. The experiment was conducted in a split-plot design with four replications. The main-plots were four sowing rates of 10, 20, 30, and 40 kg ha⁻¹ and sub-plots were five N fertilizer application rates of 0, 45, 90, 135, and 180 kg ha⁻¹. Harvest index decreased with increasing sowing and N fertilizer rate. The highest N use efficiency was obtained at 10 kg ha⁻¹ sowing rate and 45 - 90 kg ha⁻¹ N fertilizer application rates. Maximum seed yield of Italian ryegrass based on the regression curve of N fertilizer application level was 102 kg ha⁻¹ and was decreased with further N application. Economically, optimum rates of N application ranged from 70 to 101 kg ha⁻¹ depending on the sowing rate. Results from this experiment, could therefore inform producers of the best combination of sowing and N fertilizer rates needed to increase profitability of Italian ryegrass seed production alongside preventing N loss. However, further research will be necessary to elucidate on increasing seed quality and stability of cultivation under various environmental conditions.

Keywords: Italian ryegrass, Marginal analysis, Nitrogen use efficiency, Seed production



Relation between IRG seed yield and nitrogen fertilization rates according to the regression curve in the Saemangeum reclaimed tidal land.



Introduction

질소는 작물 생산성과 재배 관리에 있어서 매우 중요한 양분으로 작물 재배 시 많은 양이 사용 되는 비료 성분으로 토양 내 결핍이 빈번히 발생하는 영양소이다. 또한 질소 성분은 잠재적인 유실량이 많기 때문에 질소이용효율은 농업 시스템에서 경제적인 측면과 환경적인 측면에서 매우 중요한 요인이다 (Linguist et al., 2013). 그리고 작물의 질소비료에 대한 반응은 토성, 유기물함량, 토양수분, 강우, 작물 종류 등 다양한 요인에 의해 영향을 받으며 작물의 뿌리 발달 정도와 형태에 따라 다양하게 영향을 받는 것으로 알려져 있다 (Novoa and Loomis, 1981; Eghball and Maranville, 1993).

이탈리안라이그라스 (IRG)는 화분과 월동 사료작물로 사료가치가 높아 재배면적이 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 2019년 우리나라 전체 사료작물 재배면적 약 25만 ha 중 IRG 재배면적은 16.5만 ha로 66%를 차지하고 있다 (Nam et al., 2020). 이에 따라 IRG 종자 수요량 또한 지속적으로 증가하고 있으며 국내 소비되는 종자의 대부분은 해외 채종과 수입에 의존하고 있어 IRG 종자의 국산화를 위하여 국내 생산체계 구축이 필요한 상황이다. 그동안 국내 IRG 종자 생산은 6월 장마철과 겹쳐 종자 건조 문제 등으로 채종이 어려웠으나 최근 조생종 품종 개발로 출수가 5월 상순으로 앞당겨져 장마가 시작되기 이전 6월 상중순에 수확이 가능하여 국내에서도 종자 생산 가능성이 높아지고 있다 (Choi et al., 2011). 국내 IRG 종자 생산에 관한 연구는 목초 종자의 적정 채종시기 구명 연구 (Seo and Kim, 1980), 종자 생산을 위한 적정 파종량 시험 (Kim et al., 2010) 등 재배 분야의 연구가 꾸준히 수행되었으나 산업화는 진행되지 못하고 소규모 농가에서 자가소비 형태로 종자 생산이 이루어지고 있는 상황이다.

새만금간척지 전체 육지면적 28,300 ha 중 30%인 8,570 ha가 농업용지로 사용될 계획이다. 이러한 대면적 간척지를 활용하여 수입의존도가 높은 조사료 국내 자급률 향상을 위한 종자생산 기반 구축은 향후 국내 조사료 자급률 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다 (Lee et al., 2016). 그러나 신규 조성된 새만금간척지는 사양질토양으로 유기물 함량이 매우 낮아 양분 유실 가능성이 높으며 특히 수계에 인접하고 있어 과도한 비료 사용은 수질오염의 원인으로 작용할 가능성이 있다.

따라서 본 시험은 새만금간척지에서 파종량 수준과 질소비료 사용 수준에 따른 질소이용효율 및 경제적 질소 사용량 분석 등을 통해 질소비료의 효율적인 사용으로 고품질의 IRG 종자를 생산하기 위하여 수행하였다.

Materials and Methods

시험포장 조성 및 작물재배 본 시험은 2020년 전라북도 김제시 광활면에 위치한 새만금간척지 (35°83'N, 126°72'E)에서 수행하였다. 시험포장의 토양은 하해혼성충적층을 모재로 한 사양질 토양의 문포통 (coarse loamy, mixed, nonacid, mesic, typic fluvaquents)이었다. 토양의 EC는 토양 깊이에 따라 다소 증가하였으나 깊이 60 - 80 cm 위치에서 0.5 dS m⁻¹로 낮아 제염이 충분히 진행된 토양이었다. 토양 유기물 함량은 2.0 g kg⁻¹수준으로 일반농경지의 토양 유기물 함량에 비해 매우 낮은 값을 보였다. 토양 pH는 알칼리성을 보였으며 유효인산함량 표토보다 심토에서 점점 증가하는 경향이었으나 적정 수준보다 매우 낮은 특성을 보였다 (Table 1).

각 시험구의 크기는 18 m² (3 m × 6 m)이었으며 파종량 10, 20, 30, 40 kg ha⁻¹를 주구로 하고, 질소비료량을 0, 45, 90, 135, 180 kg ha⁻¹ 수준으로 처리한 것을 세구로 하여 분할구 배치 4반복으로 수행하였다. 시험 품종은 국립축산과학원에서 육종한 '코윈어리' 품종을 이용하여 조건 거리 30 cm로 10월 16일 줄뿌림 하였다. 비료 살포는 파종 1주일

전에 인산, 칼륨은 IRG 채종 재배 시비기준 150kg ha⁻¹에 맞추어 처리하였고 인산은 전량기비, 질소와 칼륨은 기비 40%와 추비 60%로 2회 분시하였다 (Kim et al., 2010).

Table 1. Chemical properties of experimental soils before IRG cultivation.

Depth (cm)	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Av. SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Ex. cations (cmol _c kg ⁻¹)			
						K	Ca	Mg	Na
0 - 20	7.4	0.1	2	9	9	0.73	0.8	2.0	0.6
20 - 40	7.9	0.1	1	16	12	0.86	0.7	1.6	1.0
40 - 60	7.6	0.3	2	13	11	0.85	0.4	1.2	1.2
60 - 80	8.0	0.5	2	18	13	0.80	0.6	2.0	1.9

수량조사 및 수확지수 수확은 출수 후 약 35일경인 6월 초에 각 처리구별로 3.3 m²면적에서 종자와 짚을 수확 후 비닐하우스에서 풍건 후 탈곡한 종자와 짚의 무게를 각각 측정 하여 ha당 총 수량을 계산하였다. 그리고 종자와 짚의 수량 자료를 바탕으로 다음과 같은 식을 이용하여 종자 수확 지수 (HI)를 구하였다 (Simić et al., 2012).

$$HI = [SY / (SY + SDM)] \times 100$$

where, HI is the harvest index (%), SY is seed yield, SDM is straw dry mass.

기타 조사에 필요한 항목은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사기준에 준하여 조사하였다 (RDA, 2012).

질소 분석 및 질소 이용효율 식물체 질소 분석은 건조된 식물체 시료를 마쇄하여 CN automatic analyzer (Skalar, Primacs SNC 100)를 이용한 건식연소법으로 질소 함량을 측정 하였으며 질소비료 처리에 따른 IRG의 질소 흡수량 및 겉보기 질소 이용률은 다음과 같이 계산하였다 (Sharma and Behera, 2009).

1. N uptake by crop (kg ha⁻¹) = [N content in seed (%) × Yield (kg ha⁻¹)
2. Apparent N recovery (%) = [N uptake in fertilized crop (kg ha⁻¹) - N uptake in unfertilized crop (kg ha⁻¹)] ÷ Amount of N fertilizer applied (kg ha⁻¹) × 100

경제적 최적 질소 시용량 추정 질소시비량에 따른 수량 반응은 SigmaPlot 10.0 (Antro, SPSS UK, Ltd)프로 그래를 이용하여 파종량 수준별로 질소시비량에 따른 종자 수량과의 2차 회귀 상관 계수와 회귀 곡선을 구하였다.

Quadratic model

$$Y = a + bx + cx^2 \quad (\text{Eq. 1})$$

Y : Seed yield (kg ha⁻¹)

X : Nitrogen application rate (kg ha⁻¹)

a, *b* and *c* are the parameters of the model

질소비료 사용 효과와 비용을 고려한 적정 질소 사용량 설정을 위하여 한계분석 (marginal analysis) 방법을 이용하여 경제적 최적 질소 사용량 (economically optimum fertilizer, $N_{\text{eco-opt}}$)을 추정하였다 (Kulekci et al., 2009; Motaka et al., 2016). $N_{\text{eco-opt}}$ 은 한계수익 (marginal revenue, MR)과 한계비용 (marginal cost, MC)이 같을 때의 질소비료 사용량으로 하였다. 또한 MC는 총질소비료비용 (total cost, TC)함수의 일차 미분값으로 정의하였다. 여기서 TC는 질소 투입에 따른 비용만 고려하였고 다른 농작업비용이나 재료비는 처리별로 동일한 것으로 간주하여 고려하지 않았다. MR은 투입된 질소량에 따른 수익량의 변화로 총수익 (total revenue, TR) 함수의 일차 미분 도함수로 다음과 같은 식으로 정의하였다.

$$MR = \frac{d}{dx} TR = bP_y + 2P_y cx \quad (\text{Eq. 2})$$

여기서, TR함수는 질소시비량에 따른 수량반응 함수에 종자가격 (P_y)을 곱한 값으로 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$TR = Y \times P_y = (a + bx + cx^2) \times P_y \quad (\text{Eq. 3})$$

한계수량 (marginal production, MP)은 수량반응곡선에서 최대값을 보이는 지점과 동일하므로 수량반응함수 Y에 대한 1차 도함수의 값이 0인 값과 같으므로 Eq. 4의 식을 이용하여 계산하였다.

$$MP = \frac{d}{dx} Y = b + 2cx \quad (\text{Eq. 4})$$

또한 경제적 최적 수량 (economically optimum yield, $Y_{\text{eco-opt}}$)은 수량 반응 회귀 곡선에서 $N_{\text{eco-opt}}$ 지점에서의 종자 수량에 해당하는 값으로 하였으며 가격 기준은 종자의 경우 kg당 2,500원, 비료 가격은 요소 비료를 기준으로 질소 (N) 값으로 kg당 935원으로 산정하였다.

Results and Discussion

종자 수량 반응 질소시비량에 따른 수확기 IRG 종자 수량반응 곡선은 Fig. 1과 같다. 종자 수량은 과량 수준에 따라서는 일정한 경향성을 찾아볼 수 없었으나 질소시비량 수준에 따라서는 102 kg ha⁻¹ 처리에서 1,717 kg ha⁻¹의 최대 수량을 보였으며 이후 점차 감소하는 경향을 보였다 ($Y = 17.8038X^2 - 0.0872X + 808.2209$, $R^2 = 0.6790$, $p\text{-value} < .0001$). Tim et al. (2017)의 이탈리아라이그라스 종자 생산 연구에서도 종자 수량은 질소시비량이 90 kg ha⁻¹ 까지 증가하였는데 이는 질소시비량이 증가함에 따라 분얼수와 이삭수가 증가하였기 때문이라고 하였다. 그러나 질소시비량 90 kg ha⁻¹ 이상 과량의 질소시비 조건에서는 질소의 흡수가 개화기와 등숙기까지 지속되어 영양생장이 지속됨에 따라 2차 분얼이 발생하여 양분 경쟁이 일어나 수량이 감소하는 것으로 알려져 있다 (Gislum et al., 2005). 본 연구에서도 질소시비량과 종자 수량반응 곡선식을 이용한 최대 종자 수량을 보이는 질소시비량은 102 kg ha⁻¹ 수준

으로 유사한 결과를 보였으며 그 이상의 질소 공급 조건에서는 도복 증가와 영양생장기 지속에 의한 숙기 지연 등으로 수량이 감소한 것으로 판단된다.

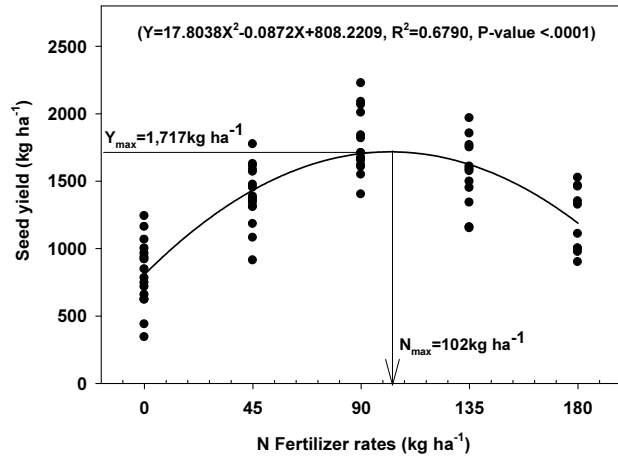


Fig. 1. Relation between IRG seed yield and nitrogen fertilization rates according to the regression curve in the Saemangeum reclaimed tidal land.

종자 수확지수 파종량 및 질소시비량에 따른 IRG 수확기 종자 수확지수 (HI)와 건물생산량은 Fig. 2와 같다. 종자 수확지수는 파종량이 증가할수록 감소하는 경향을 보여 10 kg ha⁻¹ 처리구에 19.4%로 가장 높았다. 질소시비량 수준에 따라서는 무질소구와 45 kg ha⁻¹ 처리구에서 20.5%로 가장 높았으며 질소시비량이 증가할수록 수확지수 (HI)는 감소하였다.

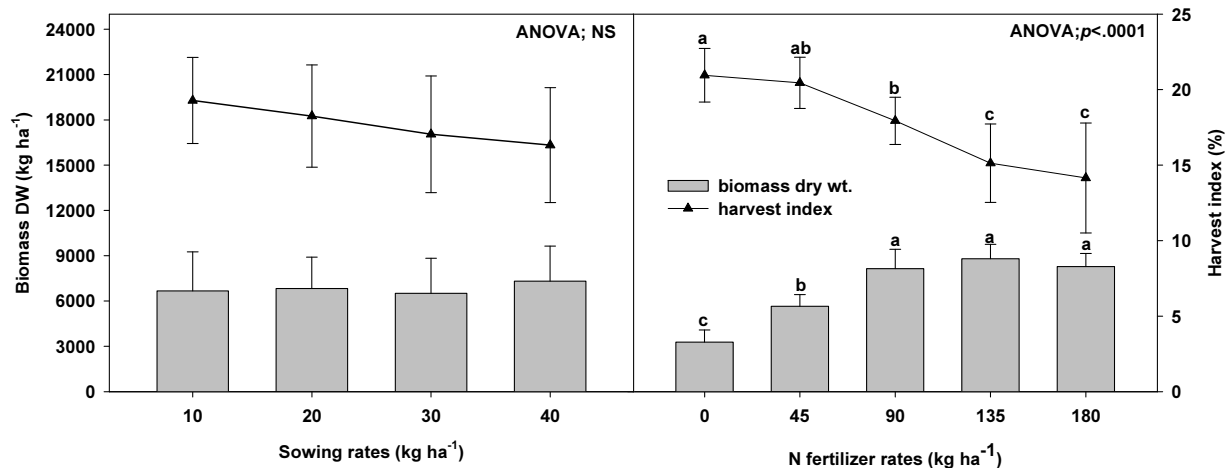


Fig. 2. Harvest index (HI) and biomass dry weight response to sowing and N fertilizer rates at the seed harvesting stage in the Saemangeum reclaimed tidal land. Error bars indicate standard deviation. Different letters on the column and dots indicate significant difference at a 5% level of significance by Tukey's HSD test, NS = not significant.

종자생산 효율의 지표인 수확지수(HI)는 전체 지상부 건물 중에 대한 종자의 건물 중 비율로 동화산물의 분배와 관련되어 있다(Elgersma, 1990; Chastain et al., 2015). 일반적으로 작물이 도복될 경우 동화산물의 이삭으로의 전류가 저해되어 등숙이 불량해 지는데 특히 개화 전후의 도복은 수정을 저해하며 도복에 의한 2차 분얼 발생 시 동화산물이 2차 분얼경으로 전류되어 종자의 등숙이 불량해진다(Simić et al., 2012). 본 연구에서도 파종량과 질소 시비량이 증가할수록 도복 정도는 증가하였으며 특히 질소 시비량 90 kg ha⁻¹ 이상부터는 개화기 및 등숙기에 도복이 심하게 발생하였다(data not shown). 본 연구 결과에서도 이러한 도복 발생 정도가 종자 수확지수(HI)에 큰 영향을 보인 것으로 보인다. 따라서 파종량 10 kg ha⁻¹, 질소시비량 45 kg ha⁻¹ 수준에서 수확지수(HI)가 가장 높아 새만금간척지에서 IRG 채종 재배 시 종자 생산 효율 면에서 가장 효과적일 것으로 판단된다.

질소 흡수량 및 질소 이용효율 파종량과 질소시비량 수준에 따른 수확기 IRG 종자의 질소 흡수량 및 질소 이용효율은 Fig. 3과 같다. 파종량과 질소시비량 수준은 종실의 질소흡수량에 큰 영향을 주었으며 파종량 수준보다 질소시비량 수준이 종실의 질소흡수량에 더 큰 영향을 주었다. 파종량 수준별로는 10 kg ha⁻¹에서 질소 흡수량이 28 kg ha⁻¹로 가장 높았으며 그 이상 파종량이 증가할수록 질소 흡수량에 큰 차이를 보이지는 않았다. 그러나 질소 시비량 수준에 따라서는 90 kg ha⁻¹ 까지는 질소시비량 수준에 따라 질소흡수량은 34 kg ha⁻¹ 까지 직선적으로 증가하였으며 그 이후에는 약간 감소하는 경향을 보였다.

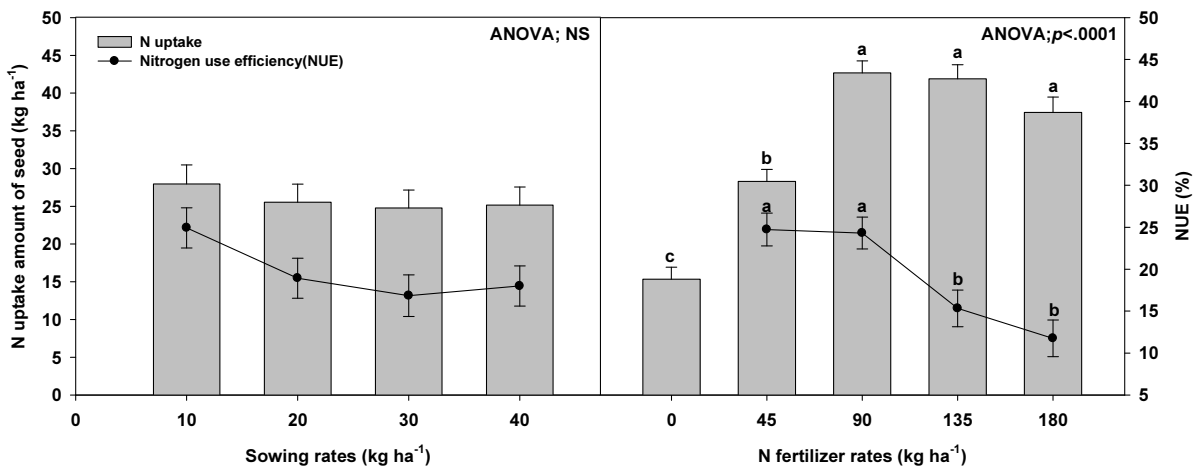


Fig. 3. Nitrogen use efficiency (NUE) and Nitrogen uptake amount of IRG seed response to sowing and N fertilizer rates at the seed harvesting stage in the Saemangeum reclaimed tidal land. Error bars indicate standard deviation. Different letters on the column and dots indicate significant difference at a 5% level of significance by Tukey's HSD test, NS = not significant.

투입된 전체 질소량에 대한 흡수된 질소량을 의미하는 겉보기질소이용효율은 파종량 10 kg ha⁻¹에서 25%로 가장 높았고 질소 시비량 수준에 따라서는 45와 90 kg ha⁻¹ 처리구에서 24%로 가장 높았으며 그 이상 처리할 경우 15% 이하로 급격히 감소하는 경향을 보였다. 일반적인 농경지에서 겉보기질소이용효율은 30 - 50% 수준이며 품종과 질소 시비량 수준에 따라서도 큰 차이를 보이는 것으로 알려져 있다(Kang et al., 2013; Lee et al., 2016). 본 시험에서 질소 이용효율은 일반적인 수준보다 다소 낮은 경향을 보였는데 이는 간척지 토양의 유기물함량이 매우 낮은 사양질 토양

으로 양분보유능력이 다소 낮았던 것으로 생각된다. 또한 Rao and Batra (1983)는 토양의 pH가 7.5 이상일 경우 토양 내 질소는 암모니아태질소 (NH₃-N)로 전환되어 대기로 휘발 된다고 하였으며 Lee et al. (2012)은 간척지에서 토양 pH가 7.5 이상에서 요소비료를 사용할 경우 암모니아가스 발생이 급격히 증가하여 비료의 이용 효율이 저하 된다고 하였다. 본 시험의 토양은 pH가 7.5 수준의 알칼리성 토양으로 사용된 요소 비료의 휘산에 의한 손실량이 다소 증가하였을 것으로 추정된다.

경제적 질소 시용량 추정 파종량 수준별 질소시비량 수준에 따른 IRG 종자수량에 대한 2차 회귀함수를 추정 한 결과는 Table 2와 같다. 모든 파종량 수준에서 R²값은 0.67 이상으로 높았으며 파종량 10 kg ha⁻¹ 수준에서 R²값이 0.81로 가장 높았다. 2차 회귀함수식을 결과로 최대 수량을 예측하고 한계분석 (marginal analysis)을 통한 경제적 질소시비량을 산출한 결과는 Table 3과 같다. 최대 수량을 보인 파종량은 10 kg ha⁻¹이었으며 이때 질소를 103 kg ha⁻¹ 수준으로 시비할 경우 최대 수량은 1,842 kg ha⁻¹으로 예측 되었고 경제적 수량 또한 1,841 kg ha⁻¹로 최대 수량과 큰 차 이를 보이지 않았다. 그러나 파종량 20 kg ha⁻¹에서 최대수량을 보이는 질소시비량은 114 kg ha⁻¹였으나 경제적 질소 시비량은 73 kg ha⁻¹으로 낮았다. 이는 파종량 20 kg ha⁻¹에서 최대 수량을 내기 위해 114 kg ha⁻¹의 질소를 사용하는 것 은 경제적으로 손실이 많음을 의미하여 경제적인 면을 고려할 경우 이보다 적은 73 kg ha⁻¹을 사용하는 것이 수량은 다 소 낮더라도 합리적인 시비량임을 의미한다. 모든 파종량 수준에서 경제적 질소시비량 70 - 101 kg ha⁻¹의 범위로 경 제적 질소시비량은 평균 100 kg ha⁻¹ 수준으로 IRG 종자 생산을 위해서는 질소비료 투입 비용과 종자 수량을 고려하 여 질소시비량은 100 kg ha⁻¹ 수준을 넘지 말아야 할 것으로 보인다.

Table 2. Estimation of the model determining the relationship between N fertilizer application amount and IRG seed yield in the Saemangeum reclaimed tidal land.

Sowing (kg ha ⁻¹)	Y _{seed} = Y ₀ + aX + bX ²					
	Parameters	Coefficients	Standard error	t	p-value	R ²
10	Y ₀	734.4351	107.5736	6.8273	<.0001	0.8101
	a	21.5634	2.8780	7.4926	<.0001	
	b	-0.1050	0.0157	-6.6689	<.0001	
20	Y ₀	817.0077	112.4722	7.2641	<.0001	0.6846
	a	15.6092	3.0090	5.1875	0.0001	
	b	-0.0683	0.0165	-4.1519	0.0009	
30	Y ₀	813.5330	100.7961	8.0711	<.0001	0.6710
	a	14.9839	2.6966	5.5565	<.0001	
	b	-0.0745	0.0147	-5.0506	0.0001	
40	Y ₀	869.1483	116.3763	7.4684	<.0001	0.7064
	a	18.9331	3.1135	6.0811	<.0001	
	b	-0.0997	0.0170	-5.8539	<.0001	
Total	Y ₀	808.2209	55.8272	14.4772	<.0001	0.6790
	a	17.8038	1.4746	12.0739	<.0001	
	b	-0.0872	0.0079	-11.0315	<.0001	

Table 3. Economically optimum N fertilizer amount and IRG seed yield characteristics according to regression curve and marginal analysis in the in the Saemangeum reclaimed tidal land.

Sowing rates (kg ha ⁻¹)	N _{max} (kg ha ⁻¹)	N _{eco-opt} (kg ha ⁻¹)	Y _{max} (kg ha ⁻¹)	Y _{eco-max} (kg ha ⁻¹)
10	103	101	1,842	1,841
20	114	73	1,709	1,590
30	101	70	1,567	1,495
40	95	88	1,768	1,764
Mean	102	100	1,717	1,716

Conclusions

본 연구에서는 새만금간척지에서 파종량 수준과 질소비료 사용 수준에 따른 IRG 종자 수량성과 질소이용효율 분석 등을 통해 효율적인 질소비료 사용기준을 설정하였다. 파종량 수준에 따른 IRG 종자 수량의 유의적인 차이는 없었으며 질소시비량수준에 따라서는 90 kg ha⁻¹ 수준까지 직선적으로 증가 한 후 이후 감소하는 경향을 보였다. 종자수확지수 (HI)는 파종량과 질소시비량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며 파종량 10 kg ha⁻¹ 처리구에 19.4%로 가장 높았고 질소시비량 수준에 따라서는 45 kg ha⁻¹ 처리구에서 20.5%로 가장 높았다. 질소시비량에 따른 종자 수량반응 회귀식을 통해 추정된 최대 종자 수량을 보이는 질소시비량은 102 kg ha⁻¹에서 1,717 kg ha⁻¹의 최대 수량을 보였으며 이후 점차 감소하는 경향을 보였다. 질소 흡수량은 10 kg ha⁻¹ 파종량에서 28 kg ha⁻¹로 가장 높았으며 질소 시비량에 따라서는 90 kg ha⁻¹ 처리수준에서 34 kg ha⁻¹ 까지 직선적으로 증가하였으며 그 이후에는 약간 감소하는 경향을 보였다. 질소이용효율은 파종량 10 kg ha⁻¹에서 25%로 가장 높았고 질소 시비량 수준에 따라서는 45와 90 kg ha⁻¹ 처리구에서 24%로 최대였으며 그 이상 처리할 경우 15% 이하로 급격히 감소하는 경향을 보였다. 한계분석 (marginal analysis) 방법을 통한 경제적 질소사용량은 파종량 수준에 따라 70 - 101 kg ha⁻¹의 범위를 보였으며 평균 100 kg ha⁻¹ 수준이었다.

이상의 결과를 종합할 때 새만금간척지에서 이탈리아라이그라스 종자생산 시 파종량 10 kg ha⁻¹에서 질소비료 90 kg ha⁻¹ 사용할 경우 종자 수량과 질소이용효율이 가장 높게 나타났으며, 100 kg ha⁻¹ 이상의 질소비료를 사용할 경우 비료 투입에 의한 손실 비용이 종자 수량 증가에 의한 이익 비용보다 더 큰 것으로 나타났다. 그러나 고품질, 다수확 종자 생산을 위해서는 종자 수량과 품질에 큰 영향을 미치는 도복 경감 재배기술과 연계하여 파종량과 시비량에 관한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01383002)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Chastain, T.G., C.M. King, C.J. Garbacik, W.C. Young III, and D.J. Wysocki. 2015. Irrigation frequency and seasonal timing effects on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) seed production. *Field Crops Res.* 180:126-134.

- Choi, K.J., H.C. Ji, K.Y. Kim, H.S. Park, S. Seo, K.W. Lee, and S.H. Lee. 2011. Growth characteristics and productivity of cold-tolerant “Kowinearly” Italian ryegrass in the northern part of South Korea. *Afr. J. Biotechnol.* 10(14):2676-2682.
- Eghball, B. and J.W. Maranville. 1993. Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stresses. *Agron. J.* 85(1):147-152.
- Elgersma, A. 1990. Seed yield related to crop development and to yield components in nine cultivars of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Euphytica* 49(2):141-154.
- Gislum, R., B. Boelt, E. Jensen, B. Wollenweber, and K. Kristensen. 2005. Temporal variation in nitrogen concentration of above ground perennial ryegrass applied different nitrogen fertilizer rates. *Field Crops Res.* 91:83-90.
- Kang, S.G., M.S. Hassan, B.I. Ku, W.G. Sang, M.K. Choi, Y.D. Kim, H.K. Park, A.M. Khalequzzaman, B. Chowdhury, K. Kim, and J.H. Lee. 2013. Nitrogen use efficiency of high yielding Japonica rice (*Oryza Sativa* L.) influenced by variable nitrogen applications. *Korean J. Crop Sci.* 58(3):213-219.
- Kim, M.J., S. Seo, J.G. Kim, K.J. Choi, K.Y. Kim, S.H. Lee, S.S. Chang, T.I. Kim, E.G. Kwon, B.S. Jeon, and K.C. Choi. 2010. Effect of seeding rates of cold tolerant Italian ryegrass varieties on those seed production. *J. Kor. Grassl. Forage Sci.* 30(3):247-256.
- Kulekci, M., T. Polat, and E. Ozturk. 2009. The determination of economically optimum nitrogen dose in safflower production under dry conditions. *Bulg. J. Agric. Sci.* 15(4):341-346.
- Lee, S.E., H.J. Kim, M.S. Park, and D.Y. Chung. 2012. Understanding to enhance efficiency of nitrogen uses in a Reclaimed tidal soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(6):955-960.
- Lee, S.H., H.S. Bae, Y.Y. Oh, S.H. Lee, Y.J. Kim, S. Kim, J.H. Ryu, K.H. Jung, C.G. Lee, J.H. Kim, Y.D. Kim, W.Y. Choi, J.Y. Cho, K.B. Lee, K.H. Lee, and K.D. Park. 2016. Effect of sesbania incorporation as nitrogen source on growth and yield of whole crop barley and reduction of N fertilizer in Saemangeum reclaimed tidal land. *Korea J. Soil Sci. Fert.* 49(6):751-759.
- Linquist, B.A., L. Liu, C. van Kessel, and K.J. van Groenigen. 2013. Enhanced efficiency nitrogen fertilizers for rice systems: Meta-analysis of yield and nitrogen uptake. *Field Crops Res.* 154:246-254.
- Motaka, G.N., S.K. Parmar, R.A. Patel, and D.J. Parmar. 2016. The determination of economically optimum nitrogen dose in *rabi* rajma production under middle gujarat conditions. *Int. J. Sci. Environ. Technol.* 5(4):2361-2367.
- Nam, C.H., K.S. Kim, M.H. Park, A.A. Yun, H.S. Bae, and H.S. Jang. 2020. The effect of cultivation environments on seed yield and quality of Italian ryegrass in Samsan reclaimed land. *J. Kor. Grassl. Forage Sci.* 40(2):73-79.
- Novoa, R. and R.S. Loomis. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant Soil* 58:177-204.
- Rao, D.L.N. and L. Batra. 1983. Ammonia volatilization from applied nitrogen in alkali soils. *Plant Soil.* 70:219-228.
- RDA (Rural Development Administration). 2012. Analysis standards for the research investigation of agricultural science and technology. RDA, Suwon, Korea.
- Seo, S. and D.A. Kim. 1980. Studies on the optimum time of harvesting for seed production in six amenity grasses. *J. Kor. Grassl. Forage Sci.* 2(1):26-30.
- Sharma, A.R. and U.K. Behera. 2009. Nitrogen contribution through *Sesbania* green manure and dual-purpose legumes in maize—wheat cropping system: agronomic and economic considerations. *Plant Soil* 325:289-304.
- Simić, A., S. Vučković, D. Sokolović, R. Stanisavljević, V. Mandić, and G. Duronić. 2012. Response of Italian ryegrass seed crop to spring nitrogen application in the first harvest year. *Afr. J. Biotechnol.* 11(26):6826-6831.
- Tim, V., R. Georges, and G. René. 2017. Seed yield response to N fertilization and potential of proximal sensing in Italian ryegrass seed crops. *Field Crops Res.* 211:37-47.