

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.3.255>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Nitrogen Availability Strongly Affects Productivity of Ratoon Rice Plants

Hyeon-Kyoung Min, Seo-Ho Shin, Oh-Do Kwon, Woo-Jung Choi¹, and Han-Yong Kim^{1*}

Food Crop Research Center, Jeonnam Agricultural Research and Extension Services, Naju, Jeonnam 58213, Korea

¹College of Agriculture and Life Sciences, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

*Corresponding author: hyk1020@jnu.ac.kr

ABSTRACT

Received: June 27, 2018

Revised: July 7, 2018

Accepted: August 30, 2018

Warming trends and concomitant increases in frost-free period are expected to alter cropping systems and subsequent land productivity in temperate climate regions. Our agricultural and food systems need to adapt to such changes. Here, we examined how nitrogen (N) availability would affect productivity of rice double cropping in combination with its ratoon regenerated from their parents rice plant (*Oryza sativa*, cv. Jomyeong) with early maturing habit. For main cropping season, rice plants were transplanted in experimental paddy field (35°10'N, 26°53'E, alt. 33.0m) of Chonnam National University, on April 25, 2016, and grown under local farmers' agronomic practices. After main crops harvested on August 17, ratoon rice plants were grown at five different levels of N availability [0 (N0), 9 (N9), 18 (N18), 28 (N28) and 37 (N37) kg N ha⁻¹] and harvested on November 20. Unexpectedly, plant height of ratoon rice was unaffected by N availability. However, aboveground biomass (AGB) and yield of ratoon rice were significantly affected by N availability, displaying an increase of 56.5 kg ha⁻¹ and 26.3 kg ha⁻¹ per unit (1 kg ha⁻¹) increase in N fertilization, respectively. As a result, while at N0, the AGB and yield of ratoon rice plants were 4.14 Mg ha⁻¹ and 1.46 Mg ha⁻¹, respectively, they increased to 6.32 and 2.35 Mg ha⁻¹ at N37, corresponding to 47% and 41% of those (i.e. 13.39 Mg ha⁻¹ in AGB and 5.68 Mg ha⁻¹ in yield) of main rice plants. Under high N availability, the greater number of regenerated tillers and panicle per m² contributed to greater ratoon rice productivity. Combined annual productivity of the main and ratoon seasons ranged from 17.5 to 19.7 Mg ha⁻¹ for AGB and from 7.1 to 8.0 Mg ha⁻¹ for yield depending on N availability. The results suggest that ratoon rice double cropping could provide an ample opportunity to consolidate national food security in the warming world by increasing annual land productivity.

Keywords: Warming, Nitrogen availability, Ratoon rice, Productivity, Early maturing variety



Field landscape of ratoon rice at harvest stage.



Introduction

우리나라 농업인의 85%이상이 기후변화를 인지하고 있을 정도로 농업은 기후변화의 도전에 직면해 있다 (Park et al., 2014). 한편, 기후변화는 농업부문에 위협요인이기는 하지만 기회요인으로도 작용할 수 있다. 특히, 기후온난화가 중위도 온대농업 지역의 무상기간을 연장하여 작물재배기간과 작부체계 구성의 유연성이 확대된다면 잠재적 토지 생산성을 증대시킬 수 있다. 온난기후자원의 활용방안을 모색하기 위하여 벼 2기작 연구가 일부 추진된 바 있으나, 현 단계에서는 생산성 및 생산비 등에 합리성과 실효성을 담보하기 쉽지 않을 것으로 판단되고 있다. 이는 극조기 이앙에 따른 전기작의 생육초기 냉해와 극만기 이앙에 따른 후기작의 등숙기 냉해 때문에 안정적으로 경제성 있는 생산성을 기대하기 곤란하기 때문이다 (Ku et al., 2014).

한편, 저위도 열대지역에서는 벼 2기작뿐만 아니라, 벼를 수확한 후에 그루터기에서 재생하는 벼 (Ratoon rice) 재배가 실용화되고 있다 (Munda et al., 2009; Setiawan et al., 2014; Mareza et al., 2016). 미국 Louisiana와 Texas 걸프 해안 지역을 중심으로 한 아열대 벼 재배지대에서도 1960년대 초기부터 Ratoon 벼를 재배하기 시작하여 최근 조생품종과 다수확품종이 개발되면서 Ratoon 벼에 대한 관심이 높아지고 있다 (Jones, 1993; Harrell et al., 2009). 우리나라와 유사한 온대기후대에 위치한 중국과 일본에서도 Ratoon 벼의 재배 및 수확이 이루어지고 있다 (Yoshida and Hozono, 1995; Akita et al., 1997; Dong et al., 2017; Ye et al., 2017). 반면, 우리나라에서는 Ratoon 벼에 대한 인식이 낮고 연구가 매우 제한적이다 (Shin et al., 2015). 이는 일부 지역을 제외하고 대부분 중만생종 벼를 보통재배하고 있기 때문에 9~10월경에 수확기를 맞이하게 되어 수확 후 Ratoon 재생에 필요한 온도를 확보하기 곤란한 작부체계와 관련이 있는 것으로 판단된다. 그러나 최근 전남을 비롯한 남부지역에 적응하는 조생종 품종이 보급되면서 조기조식 재배면적이 확대되고 8월 중순경에 수확이 가능하게 됨에 따라 Ratoon의 재생에 우호적인 환경이 조성되고 있다. 따라서 온난기후자원을 포함한 제반 환경여건의 변화를 농경지의 효율적 이용에 의한 토지생산성 증대에 연계시키기 위한 연구개발의 중요성이 높아지고 있다.

Ratoon 벼는 2기작 재배의 후기작과 달리 별도의 이앙이 필요 없는 만큼, 생산비를 최소화하면서 농경지를 효율적으로 이용하여 부가적인 식량, 사료 또는 유기물자원을 생산함으로써 토지생산성의 개선을 도모할 필요가 있다. 우리나라의 쌀 소비량은 감소하고는 있지만, 지속적인 벼 재배면적의 감축정책 등 최근 농업여건과 농업의 기후취약성 및 이에 따른 식량안보의 구조적인 취약성을 고려할 때, 제한된 농경지에서 토지생산성을 높이는 것이 매우 중요하다. 또 우리나라 논토양의 평균 유기물함량은 적정범위 ($25\sim 30\text{g kg}^{-1}$)에 있으나, 지역 간 및 농가 간 편차가 큰 편이어서 적정범위 이하의 논토양이 전체의 50%이상을 차지하고 있다 (Kang et al., 2012). 국내산 축산 조사료원으로 볏짚을 이용하고 있는 비율이 50%를 차지하고 (Ahn et al., 2016) 있기 때문에 별도 조사료원이 확보되지 않는 한 근본적으로 논토양 유기물관리에 취약한 상태에 노출되어 있다. 또 토양유기물의 동역학은 프라임효과에 따라 달라지지만 (Bengtson et al., 2012; Mau et al., 2018), 기후온난화는 토양유기물 분해속도를 가속화하여 잠재적 지력저하 원인으로 작용할 수도 있다는 보고가 있다 (Lu et al., 2013; Wang et al., 2014). 본 연구는 주작기 (Main season) 벼 수확 후 어미식물로부터 재생하는 Ratoon 벼의 질소 유효도에 따른 유기물생산과 수량 반응을 계량화하여 연간 토지생산성을 평가하고, 식량자원 및 토양 유기물자원으로서 실효성을 평가하기 위하여 실시하였다.

Materials and Methods

시험 site 및 토양특성 본 시험은 2016년 전남대학교 농업실습교육원 답작포장 (35°10'N, 26°53'E, alt. 33.0 m)에서 실시하였다. 시험포장의 토양 이화학적 특성은 Table 1에 나타낸바와 같다. 토양 pH, 전기전도도 (EC), 유기물, 총질소, 유효인산 함량은 농촌진흥청의 토양화학분석법 (NAAS, 2010)에 준하여 분석하였다. 토양 pH와 EC는 각각 pH (MP 220Mettler Toledo, USA)와 EC (Mettler Toledo, S230, USA) 측정기를 이용하여 분석하였다. 유기물함량 (Organic Matter)은 Walkley & Black법으로 분석하였으며, 유효인산은 Bray No.1법으로 추출한 후 분광광도계 (UVmini-1240, SHIMADZU)를 이용하여 660 nm에서 비색정량 하였다. 양이온 교환 용량 (CEC)은 NH₄OAc-켈달 증류법으로 분석하였고, 토성은 모래는 체가름하여 분리한 후 실트와 점토는 Stoke's 법칙을 이용한 피펫법으로 분석하여 결정하였다.

Table 1. Selected physiochemical properties of soil used in the study.

pH (1:5)	Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	Organic matter (g kg ⁻¹)	Total N (g kg ⁻¹)	Available P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Cation exchange capacity (cmol kg ⁻¹)	Soil texture
5.69	0.07	20.2	0.91	13.1	15.2	Loam

공시품종 및 주작기 벼 재배 본 시험에는 전남농업기술원에서 육성한 조생종 조명벼를 공시하였다. 시험은 랜덤화 완전 블록 설계 (Randomized complete block design) 3반복(3 blocks)으로 실시하였다. 각 블록의 규모는 420 m² (총 1,260 m²)이었으며, 2016년 3월 26일 파종하여 30일간 보온-육묘한 모를 4월 25일 30 cm × 15 cm (22.2주 m⁻²)의 재식밀도로 기계 이앙 하였다. 질소 - 인산 - 칼리를 성분량으로 각각 70 - 45 - 57 kg ha⁻¹ 시비하여 재배하였다. 질소는 기비-분얼비-수비로 각각 50% - 25% - 25%의 비율로 분시 하였으며, 인산은 전량 기비로 사용하였고 칼리는 기비와 수비로 50%씩 분시 하였다. 재배기간을 통하여 초기제초제와 중기제초제를 각각 1회씩 살포하여 잡초를 방제하였고, 병해충의 발생은 없었기 때문에 방제약제는 살포하지 않았다. 일반적인 물 관리와 중간낙수를 1회 실시하고 수확 약 10일전에 완전 낙수하였다. 8월 17일 콤바인 수확직전 각 블록 당 10주씩 샘플링하여 생육 및 수량조사에 공시하였고, 나머지는 콤바인을 이용하여 수확하였다. 콤바인 수확은 지상부로부터 통상적인 높이 (7~10 cm)에서 절단하여 수확하였다.

Ratoon 벼 질소 추가 처리 및 재배 주작기 벼 수확 (8월 17일) 직후 각 블록별로 물결형 플라스틱 판넬 (썬라이트)로 구분된 시험구 (4 m²) 5개씩 설정하고, Ratoon 벼에 대한 5수준의 질소 유효도 처리 (0, 9, 18, 28, 37 kg ha⁻¹) 시험구로 하였다 (Table 2). 질소 유효도 처리는 판넬 설치 직후 실시하였고, Ratoon의 부패를 억제하기 위하여 Ratoon 벼가 10 cm 이상 재생된 이후 천수담수상태 (2~3 cm)를 유지하였다. 이후 Ratoon 벼의 재배과정에서 물 관리 이외의 어떤 추가적인 관리 노력이나 에너지의 투입도 없었다. 11월 20일 Ratoon 벼의 각 질소 유효도 시험구로부터 5주씩 샘플링하여 생육 및 수량조사를 하였다.

주요 기상경과 주작기 및 Ratoon 재배기간 중의 주요 기상경과는 Fig. 1과 같았다. 기상정보는 시험포장으로 부터 직선거리로 약 500 m 지점에 위치한 광주지방기상청 자료를 활용하였다 (KMA, 2016). 주작기 벼 재배기간 (4월

25일~8월 17일)의 평균기온, 누적일조시간, 누적일사량 및 누적강우량은 각각 23.7°C, 769시간, 2209 MJ m⁻² 및 623 mm이었고, Ratoon 벼 재배기간 (8월 17일~11월 20일)에는 각각 19.2°C, 467시간, 1199 MJ m⁻² 및 533 mm이었다 (Fig. 1).

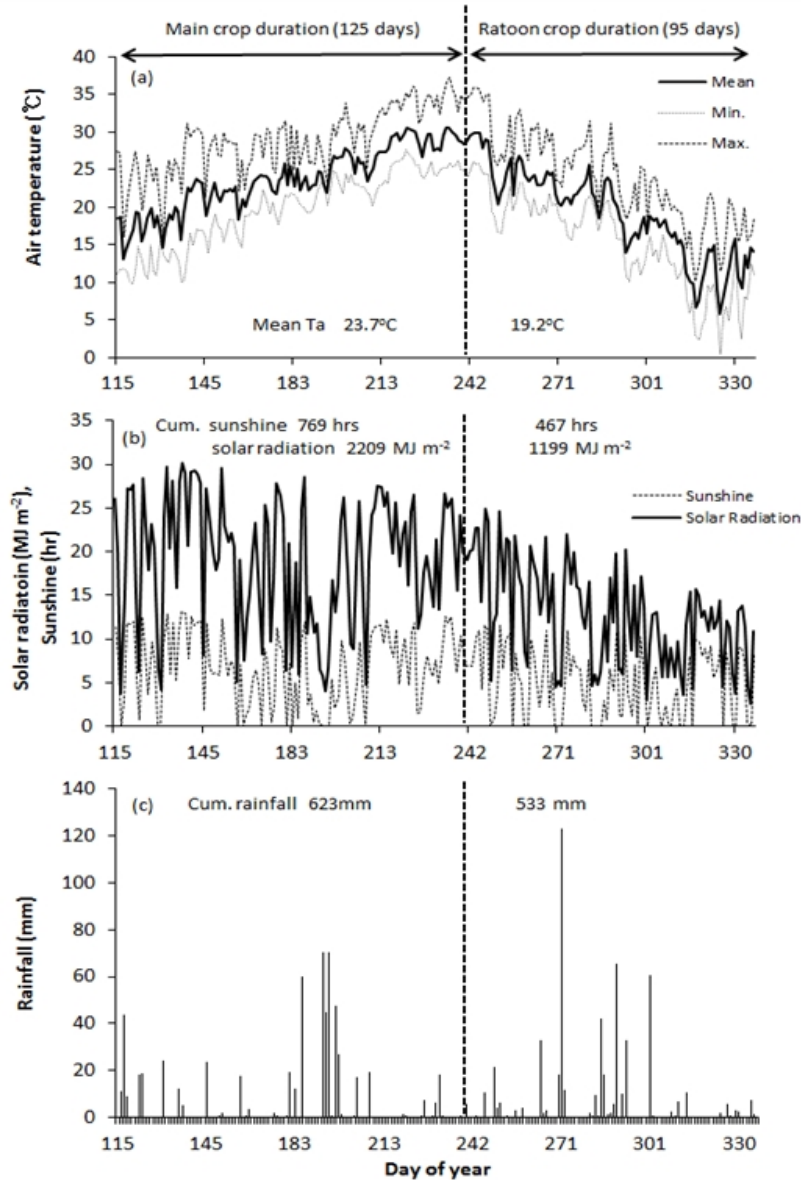


Fig. 1. The air temperature (a), solar radiation (b), and rainfall (c) over the main and ratoon rice season in Gwangju in 2016 (KMA, 2016).

작물조사 및 통계분석 주작기 벼와 Ratoon 벼의 출수기 및 작물생육기간을 조사하였다. 연간 토지생산성을 평가하기 위하여 수확기에 샘플링 한 개체 (10주)를 대상으로 주작기 벼의 성장과 수량조사를 포함하여, Ratoon 벼의 각 질소 추가 처리구별로 5주를 대상으로 초장, 경수, 지상부 건물중, 수량 및 수량구성요소와 수확지수를 조사하였다. 각 샘플시료의 건물중은 80°C 열풍 건조기에서 3일간 건조한 후 계량하였다. 쌀 수량은 정조수량에 일반적인 도정율 (74%)을 적용하여 산출하고, 수분 15%를 포함하는 수량으로 환산하였다. Ratoon 벼의 질소 추가 처리구에서 취득한

데이터에 대하여 블록 (3 blocks)별로 평균을 산출한 다음, SPSS 14.0 통계분석 패키지 (SPSS Inc., Chicago, IL)를 이용하여 분산분석 (ANOVA)하였다. 분산분석 결과 95%수준 ($p < 0.05$)에서 유의성이 인정되는 작물 파라미터에 대하여 최소유의차 (LSD) 검정을 실시하여 $P = 0.05$ 수준에서 유의성을 결정하였다.

Results and Discussion

출수기 및 작물생육기간 2016년 4월 25일 이앙한 주작기 벼의 출수기는 7월 11일이었고, 8월 17일에 수확하여 총 생육기간은 125일 이었다 (Table 2). 8월 17일 주작기 벼를 수확한 후 Ratoon이 재생하여 출수까지의 기간은 질소 시비 수준에 따라 29~30일 (9월 15일~9월 16일)소요 되었으며, 생육기간은 95일이었다. 따라서 주작기를 포함한 Ratoon 작기까지 총 작물생육기간은 220일이었다.

Table 2. Description of major agronomic events and crop duration in the main season and those in the ratoon season as affected by different levels of nitrogen availability.

Main season					Ratoon season				Annual
N availability (kg ha ⁻¹)	Transplanting date	Heading date	Harvesting date	crop duration (d)	N availability (kg ha ⁻¹)	Heading date	Harvesting date	crop duration (d)	crop duration (d)
70	Apr. 25	Jul. 11	Aug. 17	125	0	Sep. 15	Nov. 20	95	220
					9	Sep. 15	Nov. 20	95	220
					18	Sep. 15	Nov. 20	95	220
					28	Sep. 16	Nov. 20	95	220
					37	Sep. 16	Nov. 20	95	220

우리나라와 같이 기온의 뚜렷한 계절변화 특성을 나타내는 온대지역에서는 Ratoon 벼의 출수일수는 등숙과 생산성에 매우 중요한 의미를 갖는다. 시험에 공시한 일본형 품종 (조명벼)의 Ratoon 벼 출수일수 (29~30일)는 중국 중부 지역 (29°51'N, 115°33'E)의 인도형 Ratoon벼 출수일수와 대체로 일치하였다 (Dong et al., 2017). 경기도 농업기술원에서 진부올벼를 대상으로 검토한 결과 수량성이 가장 높았던 Ratoon 벼 (지상부 10 cm 높이에서 절단수확)의 경우, 주작기 수확 후 3주 이내에 출수하는 것으로 추정되었다 (Fig. 2 in Shin et al., 2015). 한편, 벼 2기작 재배의 후기작으로 전북익산과 전남무안에서 금호1호와 만중벼를 7월 26일, 7월 31일 및 8월 5일에 관행 이앙 재배한 경우, 출수일수는 39~41일 소요되어 (Ku et al., 2014), 본 시험에 공시한 조명벼 Ratoon의 출수일수보다 약 10일정도 연장되었다. Ratoon 벼 출수 후 수확까지 60일 이상 소요되었으나, 출수로부터 최초로 최저기온이 10°C이하로 내려간 10월 29일까지의 적산평균기온이 827.5°C로 등숙에 지장이 없었으며, 등숙 후기에 평균기온이 대체로 낮게 (11.5°C)경과하면서 등숙속도가 완만하였기 때문에 판단된다. 주작기와 Ratoon 작기의 총 생육기간 220일은 우리나라 남부해안 지역의 무상기간 (Kwon, 2006)과 대체로 일치하는 것으로서, 남부지역을 중심으로 조생벼를 조합한 온난기후자원 활용형 Ratoon 작부체계설계의 지표로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

Ratoon 벼 생산성과 연간 토지생산성 무질소구의 Ratoon 벼 지상부 건물중과 쌀 수량은 각각 4.14 t Mg ha⁻¹ 과 1.46 Mg ha⁻¹로 주작기 건물중 (13.39 Mg ha⁻¹)과 수량 (5.68 Mg ha⁻¹)의 30.9%와 25.6%에 해당하였다 (Table 3).

Ratoon 벼의 건물중과 수량은 질소 증시에 따라 유의하게 증가하여 본 시험의 최대 시비구 (37 kg ha⁻¹)에서는 주작기 대비 각각 47.2% (6.32 Mg ha⁻¹)와 41.3% (2.35 Mg ha⁻¹)수준에 달하였다. 질소시비 수준에 대한 Ratoon 벼의 건물중과 수량 응답을 직선회귀식으로 나타내면, 전자와 후자는 각각 ha 당 56.5 kg N kg⁻¹과 26.3 kg N kg⁻¹이었다 (Fig. 2). 주작기와 Ratoon 작기를 포함한 연간 ha 당 건물생산량은 Ratoon 작기의 질소 유효도에 의존하면서 17.54~19.72 Mg ha⁻¹, 쌀 생산량은 7.14~8.03 Mg ha⁻¹ 범위에 있었으며, Ratoon 재배에 따라 연간 토지생산성이 각각 31~47% (건물생산량)와 26~41% (수량) 증가하였다 (Table 3).

Table 3. Aboveground biomass and yield in the main season and those in the ratoon season as affected by different levels of nitrogen availability, and annual productivity.

N availability (kg ha ⁻¹)		Aboveground biomass (Mg ha ⁻¹)			Milled rice yield [†] (Mg ha ⁻¹)		
Main crop	Ratoon crop	Main crop	Ratoon crop	Annual biomass	Main crop	Ratoon crop	Annual yield
70	0	13.40	4.14a	17.54a	5.68	1.46a	7.14a
	9		4.60a	17.99a		1.81ab	7.49ab
	18		5.02ab	18.42ab		2.03bc	7.71bc
	28		5.77bc	19.17bc		2.24bc	7.92bc
	37		6.32c	19.72c		2.35c	8.03c
ANOVA results (<i>p</i> -value)		-	<0.001	<0.001	-	<0.01	<0.01

[†]Milled rice yield presented with a 15% of moisture content. Different letters indicate significant differences at *p*=0.05

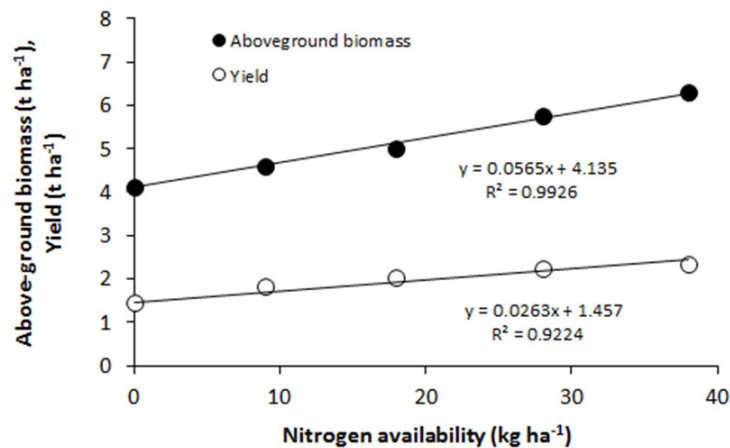


Fig. 2. The relationship between ratoon rice productivity and nitrogen availability.

이러한 결과는 Ratoon 벼 건물생산과 쌀 생산성 확보에 질소 유효도의 중요성을 시사한다. 일본의 관동지역 (Akita et al., 1997)에서 무질소 방입상태에서 관찰한 Ratoon 수량은 주작기 수량의 27%에 해당하는 137 kg ha⁻¹로, 본 연구의 무질소구에서 관찰된 결과와 대체로 일치하였다. 우리나라에서는 Ratoon 벼의 연구사례가 많지 않지만, Shin et al. (2015)이 경기도 농업기술원에서 질소 30 kg ha⁻¹ 시비하여 재배 한 진부올벼의 Ratoon 수량은 주작기의 약 45%에 해당하는 최대 2.81 Mg ha⁻¹에 달하였다. 이는 본 연구의 질소 37 kg ha⁻¹ 시비구 수량 2.35 Mg ha⁻¹ (주작기 수량의 41.3%)보다도 높은 수준이었다. 최근, 중국의 인디카 Ratoon 벼의 수량은 주작기 (7.88~8.63 Mg ha⁻¹)의 55~60%수

준으로 우리나라 주작기의 쌀 수량에 필적하는 $4.67\sim 4.87 \text{ Mg ha}^{-1}$ 에 달하는 것으로 보고되었다 (Dong et al., 2017). 본 연구의 결과와 이들을 종합하면, Ratoon 벼의 수량은 질소 유효도와 재배지역의 기후조건뿐만 아니라, 품종의 유전요인에 따른 차이가 있는 것으로 판단된다 (Harrell et al., 2009; Shin et al., 2015; Dong et al., 2017).

한편, Dong et al. (2017)은 Ratoon 재배를 목적으로 140 kg N ha^{-1} 투입하였는데, 이 중 1/2은 주작기 출수 후에, 나머지는 수확 3일 후 Ratoon에 분시하여 이삭수 또는 수당입수를 확보함으로써 높은 Ratoon 수량을 얻었다고 하였다. 최근 우리나라의 품질중점 벼 재배기술에서는 출수 전후의 알거름 시비를 생략하는 것이 일반적이나, Ratoon 재배를 전제한 벼 작부체계에서는 Ratoon의 초기 영양과 생장확보를 위한 시비시기 조절 등을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다. 즉, 주작기 벼의 알거름 시용에 따른 품질훼손을 회피하면서 Ratoon의 생산성을 확보하기 위한 주작기 수확 전 질소시비 체계와 Ratoon 초기생장의 원동력이 될 것으로 기대되는 Ratoon 체내 잔류 질소나 비구조성탄수화물 (Bollich et al., 1982) 확보를 고려한 주작기 수확적기 등에 관한 후속연구가 필요하다. 또 주작기 벼의 수확 예취고도 Ratoon의 생육과 수량에 영향을 미칠 수 있으며 (Harrell et al., 2009; Setiawan et al., 2014; Shin et al., 2015), 줄기기 부로 40 cm 이상의 높은 위치에서 예취할 경우 Ratoon의 출수가 지연되어 오히려 수량이 감소할 수 있는 것으로 알려져 있다 (Harrell et al., 2009). 이는 우리나라와 같은 콤바인 수확체계에서 예취되는 지상부의 길이가 짧아져 탈곡부 로 전송이 곤란할 것으로 판단되었다.

질소 유효도에 대한 Ratoon 벼 지상부 건물중 응답은 수량의 2배 이상에 달하여 질소효과가 더욱 명확하였다 (Fig. 2). 따라서 주작기와 Ratoon작기를 포함한 연간 토지생산성의 질소 유효도 반응도 쌀 수량보다 건물수량에서 컸으나, 본 연구의 질소무시용 결과는 Ratoon 발생 후 물관리만으로 쌀 생산측면에서 연간 토지생산성이 26% 개선될 수 있음을 시사한다. 지속적인 벼 재배면적 감축정책 등 최근의 농업여건과 농업의 기후취약성 및 이에 따른 식량안보의 구조적인 취약성을 고려할 때, Ratoon작기를 포함하는 작부체계는 최소비용으로 식량안보의 완충기능을 수행할 수 있는 주요 수단으로 판단된다. 또한, 제반여건이 Ratoon의 곡물수확을 허락하지 않는 경우에도 그 만큼의 유기물을 환원하는 효과가 발생하며 (Akita et al., 1997), 이에 따른 가축조사료용 등으로 완전 수거되는 볏짚 유기자원 손실의 보전효과는 Ratoon 작기의 질소 유효도에 따라 51~79%로 평가되었다 (Table 3).

Ratoon 벼 생장과 수량구성 특성 Ratoon 벼 초장에 대한 질소시비 처리 영향은 인정되지 않았으며, 주작기 벼 초장 (90.3 cm)의 66~71% 수준인 61.8~66.4 cm 범위에 있었다 (Table 4). 이와는 대조적으로 Ratoon 벼의 재생으로 형성된 경수 (분얼수)는 질소시비 처리에 따라 유의하게 증가하였다. 특히, 질소 28 kg ha^{-1} 이상 처리구에서 단위면적 당 경수의 증가는 주작기의 경수 (355.6 개 m^{-2})에 필적 28 kg N ha^{-1} : 353.6 개 m^{-2})하거나 상회 (37 kg N ha^{-1} : 387.7 개 m^{-2})하는 수준이었다. Ratoon 벼의 단위면적당 이삭수의 질소반응은 경수의 질소반응과 매우 유사하였다. Ratoon 벼의 수당입수는 38~39개로 주작기 벼 (89.2개)의 42~44%에 불과하였으며, 질소 추가시비 처리에 따른 차이도 인정되지 않았다. Ratoon 벼의 임실율은 질소 37 kg ha^{-1} 처리구에서 약간 감소 ($p < 0.05$)하였을 뿐, 주작기의 임실율과도 차이가 없었다. Ratoon 벼의 천립중과 수확지수는 주작기에 비하여 약간 감소하였으나, 질소처리 간에 유의한 차이가 인정되지 않았다 (Table 4).

Table 4. Characteristics of the growth and yield components of ratoon rice crops as affected by different levels of nitrogen availability.

N availability (kg ha ⁻¹)	Plant height (cm)	Tillers (no. m ⁻²)	Panicles (no. m ⁻²)	Spikelets (no. panicle ⁻¹)	Fertility (%)	1000-grain mass (g)	Harvest index
0	61.8 (90.3) [†]	254.3a (355.6)	217.3a (350.6)	38.4 (89.2)	96.2a (94.5)	21.2 (22.1)	0.40 (0.49)
9	64.6	296.3ab	266.7ab	38.7	96.3a	21.2	0.45
18	64.2	316.0ab	303.7bc	39.1	95.7ab	20.9	0.46
28	66.0	353.1ab	325.9bc	38.1	95.7ab	21.9	0.45
37	66.4	387.7b	367.9c	37.8	93.7b	21.2	0.42
ANOVA results (<i>p</i> -value)	>0.05	<0.01	<0.01	>0.05	<0.05	>0.05	>0.05

[†]The number within parenthesis shows data from main crop. Different letters indicate significant differences at *p*=0.05

Ratoon 벼의 생장과 수량구성 특성을 분석한 결과, Ratoon 벼의 단위면적당 경수와 유효경비율 (이삭수/경수, Table 4) 및 이삭수의 질소 유효도 의존성은 전술한 수량의 질소 유효도 의존성 (Table 3)과 매우 유사하였다. 이로부터 Ratoon의 수량은 주로 단위면적당 재생경수와 이삭수에 의해 성립된다는 사실과 수량성립과정에서 질소 유효도의 중요성이 시사되었다. Dong et al. (2017)이 보고한 인디카 벼의 Ratoon에서도 높은 유효경비율 (94~96%)과 단위면적당 이삭수 (525~544개 m⁻²) 및 수당입수 (54~61개)가 Ratoon의 수량을 견인하였다. 그러나 본 연구의 조명벼 (자포니카) Ratoon에서는 질소 유효도로부터 기대되는 수당입수는 확보되지 않았다. 이는 질소 유효도의 증대에 따라 이삭수가 크게 증가하였는바, 이삭수와 수당입수의 일반적인 상보관계가 반영된 결과로 판단된다. 우리나라의 대표적인 조생품종인 진부올벼 (자포니카) Ratoon의 경우에도 수당입수는 22~26개로 주작기 수당입수 66개의 33~39%에 불과하였다 (Shin et al., 2015). 이러한 현상은 본 시험에 공시한 조명벼를 포함한 우리나라 조생품종에 공통적으로 나타나는 현상으로 사료된다. 주작기 수확 후 Ratoon 벼의 출수까지 기간이 20~30일 (Shin et al., 2015; Table 2)에 불과한 점과 이후의 등숙 기후조건을 감안할 때, 주력 조생품종을 곡물용 Ratoon 작부체계에 성공적으로 도입하기 위해서는 출수일수가 연장되지 않으면서 단기간 내에 Ratoon의 수당입수 확보가 가능한 품종이나 재배기술개발이 요구된다.

Conclusions

전남지역에 적응하는 조생품종 조명벼의 Ratoon을 대상으로 질소처리 수준을 달리하여 작물생산성과 연간 토지생산성을 검토한 결과, 질소 유효도가 증가할수록 Ratoon 벼 생산성과 연간 토지생산성이 유의하게 증가하였다. 질소 무처리의 경우에도 Ratoon 벼의 건물과 쌀 생산성은 각각 4.14 Mg ha⁻¹과 1.46 Mg ha⁻¹으로 주작기 생산성의 30.9%와 25.6%에 해당하였다. 이러한 Ratoon의 건물과 쌀 생산성은 질소 유효도가 1 kg ha⁻¹ 증가함에 따라 각각 56.5 kg ha⁻¹와 26.3 kg ha⁻¹ 개선되었다. 질소 유효도 증가에 따른 Ratoon의 생산성 증대는 주로 단위면적당 재생경수와 이삭수 증가에 기인하였다. 주작기와 Ratoon작기의 연간 건물과 쌀 생산성은 질소 유효도에 의존하면서 각각 17.53~19.71 Mg ha⁻¹과 7.14~8.03 Mg ha⁻¹ 범위에 있었다. 결과적으로 Ratoon 재배에 따라 유기물과 쌀 수량측면에서 토지생산성은 각각 31~47%와 26~41% 개선되었다. 이러한 결과는 현 단계의 남부지역 온난기후조건에서 이양 2기작재배의 한계 (생산성, 경제성, 기후 리스크)를 고려할 때, Ratoon 2기작 재배가 이양 2기작재배를 대체하여 토지

생산성의 개선을 도모할 수 있는 유력한 수단임을 시사한다. 그럼에도 불구하고, Ratoon 벼의 생산성 강화를 위한 수당입수 개선에 관한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was financially supported by research fund of Chonnan National University in 2015.

References

- Ahn, I., I.A. Lee, S.K. Yun, and K.Y. Kim. 2016. 2016 International Symposium and Annual Meeting of the KSEA. pp. 88-89.
- Akita, S., B.S. Yoon, I. Ando, and H. Naganoma. 1997. Yield and palatability of ratoon crop of rice in southern part of Ibaraki, Japan in 1994. *Jpn. J. Crop Sci.* 66(1):131-132. (in Japanese with English abstract)
- Bengtson, P., J. Barker, and S.J. Grayston. 2012. Evidence of a strong coupling between root exudation, C and N availability, and stimulated SOM decomposition caused by rhizosphere priming effects. *Ecol. Evol.* 2(8): 1843-1852.
- Bollich, C.N., B.D. Webb, and J.E. Scott. 1982. Variation in carbohydrate reserves from heading to maturity among rice varieties. In: Proc. Rice Technical Working Group, 19th. Texas A&M Univ, College Station, TX, p. 12.
- Dong, H., Q. Chen, W. Wang, S. Peng, J. Huang, K. Cui, and L. Nie. 2017. The growth and yield of a wet-seeded rice-ratoon rice system in central China. *Field Crops Res.* 208:55-59.
- Harrell, D.L., J.A. Bond, and S. Blanche. 2009. Evaluation of main-crop stubble height on ratoon rice growth and development. *Field Crops Res.* 114:396-403.
- Jones, D.B., 1993. Rice ratoon response to main crop harvest cutting height. *Agron. J.* 85:1139-1142.
- KMA. 2016. http://www.kma.go.kr/info_open/public_data/guidepage.jsp.
- Kang, S.S., A.S. Roh, S.C. Choi, Y.S. Kim, H.J. Kim, M.T. Choi, B.K. Ahn, H.W. Kim, J.H. Park, Y.H. Lee, S.H. Yang, J.S. Ryu, Y.S. Jang, M.S. Kim, Y.K. Sonn, C.H. Lee, S.G. Ha, D.B. Lee, and Y.H. Kim. 2012. Status and changes in chemical properties of paddy soil in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(6):968-972. (in Korean with English abstract)
- Ku, B.I., S.K. Kang, W.G. Sang, H.K. Park, Y.D. Kim, and J.H. Lee. 2014. Study of rice double cropping feasibility in Korea to cope with climate change. *J. Agric. Life Sci.* 45(1):39-46.
- Kwon, Y.A. 2006. The spatial distribution and recent trend of frost occurrence days in South Korea. *J. Korean Geograph. Soc.* 41(3):361-371. (in Korean with English abstract)
- Lu, M., Z. Xuhui, Y. Qiang, L. Hui, L. Yiqi, F. Changming, C. Jiakuan, Y. Xin, and L. Bo. 2013. Responses of ecosystem carbon cycle to experimental warming: a meta-analysis. *Ecology.* 94:726-738.
- Mareza, E., Z.R. Djafar, R.A. Suwignyo, and A. Wijaya. 2016. Rice ratoon yield response to main crops cutting height in tidal swamp using direct seeding system. *Agrivita J. Agr. Sci.* 38(2):126-132.
- Mau, R.L., P. Dijkstra, E. Schwartz, B.J. Koch, and B.A. Hungate. 2018. Warming induced changes in soil carbon and nitrogen influence priming responses in four ecosystems. *Appl. Soil Ecol.* 124:110-116.
- Munda, G.C., A. Das, and P. Patel. 2009. Evaluation of transplanted and ratoon crop for double cropping of rice (*Oryza sativa* L.) under organic input management in mid altitude sub-tropical Meghalaya. *Current Sci.* 96(12): 1620-1627.
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010. Analysis methods for soil chemical properties.

Publication No. 11-1390802-000282-01, NAAS, Korea. (in Korean)

- Park, G.A., S.H. Lee, and M.H. Kim. 2014. An analysis on determinants of farmer's perception to climate change in Korea. *Climate Change Res.* 5(1):37-46.
- Setiawan, A., S.Y. Tyasmoro, and A. Nugroho. 2014. Intermittent irrigation and cutting height on growth and yield ratoon rice (*Oryza sativa* L.). *Agrivita J. Agr. Sci.* 36(1):72-80.
- Shin, J.H., S.K. Kim, and S.G. Park. 2015. Effects of stubble height, irrigation and nitrogen fertilization on rice ratooning in Korea. *Korean J. Crop Sci.* 60(4):431-435.
- Wang, X., L. Lingli, P. Shilong, I.A. Janssens, T. Jianwu, L. Weixing, C. Yonggang, W. Jing, and X. Shan. 2014. Soil respiration under climate warming: differential response of heterotrophic and autotrophic respiration. *Global Change Biol.* 20:3229-3237.
- Ye, M., Y.Y. Song, S.R. Baerson, J. Long, J. Wang, Z. Pan, W.X. Lin, and R.S. Zeng. 2017. Ratoon rice generated from primed parent plants exhibit enhanced herbivore resistance. *Plant Cell Environ.* 40:779-787.
- Yoshida, T. and S. Hozono. 1995. Studies on lateral buds growth into ratoon tillers in early-season culture of rice plants. *Jpn. J. Crop Sci.* 64(1):1-6. (in Japanese with English abstract)