

질소시비수준에 따른 국내 주요 벼 품종의 수량 및 품질 반응

최종서¹ · 이진석^{2,†} · 강신구³ · 이대우³ · 양운호² · 이석기² · 신수현³ · 김민태³

Response of Yield and Quality in Major Domestic Rice (*Oryza sativa* L.) Varieties according to the Nitrogen Application Levels

Jong-Seo Choi¹, Jinseok Lee^{2,†}, Shingu Kang³, Dae-Woo Lee³, Woonho Yang², Seuk-Ki Lee², Su-Hyeon Sin³, and Min-Tae Kim³

ABSTRACT In order to evaluate the effect of nitrogen application levels on yield and quality of rice varieties, a field experiment was conducted at National Institute of Crop Science of Korea from 2018 to 2020. Five levels (0, 3, 5, 7, and 9 kg/10a) of nitrogen fertilizer were treated to 21 Korean rice varieties. Yield, yield component, appearance quality, and protein content in rice were analyzed. The average head rice yield for 3 years decreased by 28%, 22%, 11%, and 8%, respectively, when cultivated with 0, 3, 5, and 7 kg/10a nitrogen application compared to cultivation with a standard nitrogen application amount, 9 kg/10a. The number of panicles per hill increased as the amount of nitrogen application increased, but there was no significant change in the number of grains per panicle and 1000-grains weight, and the number of panicles per hill showed relatively small annual variation compared to other yield components. There was no significant difference in the head rice ratio according to the nitrogen application amount, the broken rice ratio slightly decreased, and the floury rice ratio increased. The protein content of rice decreased with increasing nitrogen application in 2018 and 2019, and was the lowest at 7 kg/10a of nitrogen application, and showed a tendency to increase again at 9 kg/10a. In the case of 2020, as the amount of nitrogen application increased, the protein content showed a tendency to continuously increase. In terms of varieties, 13 varieties, including Chilbo, seemed to be capable of low-nitrogen cultivation because loss of the head rice yield was less and the protein content could be lowered to 6% or less according to 7 kg/10a nitrogen application.

Keywords : application, nitrogen, quality, rice, yield

우리나라에서 벼의 재배면적과 생산량은 2021년 기준 각각 732천 ha, 388만톤으로 2012년보다 재배면적은 13.7%, 생산량은 3.1% 감소한데 반해, 1인당 쌀 소비량은 18.5%나 크게 줄어들고 있고, 매년 WTO 체제에 따른 저율과세 의무수입물량(TRQ)으로 약 41만톤의 쌀이 수입되고 있어 쌀의 공급과잉이 우려되고 있다(KOSIS, 2021). 이에 정부에서는 벼의 재배면적 조정과 적정 생산을 통한 쌀 수급안정을 위하여 ‘3低3高 운동’을 추진하고 있으며, 질소비료

사용량을 줄이고 쌀 품질을 향상에 노력하고 있다.

질소는 쌀의 수량과 품질에 영향을 미치는 중요한 요소로서 질소가 부족하면 생육이 불량해지고 수량이 감소하며, 질소가 과다하면 병해충과 도복의 발생이 많아지고, 심복 백미와 동할미가 많아지며, 단백질 함량이 높아져 밥맛이 떨어지게 된다(Kim *et al.*, 2009; Song *et al.*, 2006). Faraji *et al.* (2013)은 질소 함량이 높아지면 쌀알 내 철분의 함량이 증가하고, 단백질 함량이 높아지면 쌀알의 깨짐이 감소한다

¹농촌진흥청 국립식량과학원 기술지원과 농업연구사 (Research Scientist, Technology service Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

²농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 재배환경과 농업연구관 (Senior Research Scientist, Crop Cultivation & Environment Research Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea)

³농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 재배환경과 농업연구사 (Research Scientist, Crop Cultivation & Environment Research Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea)

†Corresponding author: Jinseok Lee; (Phone) +82-31-695-4134; (E-mail) z9813139@korea.kr

<Received 30 November, 2022; Revised 5 December, 2022; Accepted 6 December, 2022>

고 보고하였다. 또한, 종자 배유 세포에 저장된 단백질 함량이 높으면 곡물의 탄력성을 유도하고 도정과정에서 발생하는 쌀알의 균열을 감소시켜 도정률을 증가시킨다(Leesawatwong *et al.*, 2003).

우리나라의 벼 재배 시 질소의 표준시비량은 다수성 품종의 육성과 농업기술의 발달 등으로 70년대 후반 15 kg/10a에서 80~90년대 11 kg/10a를 거쳐 현재 9 kg/10a까지 지속적으로 감소되어 왔다(Lee *et al.*, 2010). 하지만 쌀 수매 기준이 수량 위주로 이루어지고 있고, 양곡관리법에 쌀의 포장 및 용기에는 단백질 함량을 제외한 외관품위 등급만 의무표시 사항으로 규정(Korean Law Information Center)하고 있어 농업인들은 벼의 수량증가를 위해 질소를 표준시비량보다 많이 사용하고 있는 실정이다. 일본의 경우, 1975년 이후 쌀 생산조정 정책에 따라 수량보다 밥맛을 중시하게 되면서 전국 농가 평균 질소시비량이 1978년 12 kg/10a에서 2006년 6.8 kg/10a까지 감소하였다(Kondo *et al.*, 2009).

따라서 질소의 사용량을 줄이고 쌀의 품질을 높이기 위해서는 양곡관리정책의 보완과 고품질 쌀 생산을 위한 질소 시비체계 개선이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 우리나라 주요 재배 벼 품종 21종을 대상으로 질소 시비수준에 따른 수량과 품질의 정량적 변화를 구명하여, 품종별 고품질 쌀 생산을 위한 최적 질소 시비량을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

본 시험은 2018년부터 2020년까지 3년간 수원시 국립식량과학원 중부작물부 벼 재배시험포장에서 수행하였다. 시험품종은 최고품질 벼 품종 15종을 포함하여 국내 주요 벼 재배품종 21개(해담쌀, 오대, 운광, 청품, 대보, 고품, 해품, 삼광, 하이아미, 진수미, 수광, 신동진, 칠보, 호품, 새일미, 호평, 현품, 일품, 새누리, 영호진미, 미품)로 구성하였다. 각 품종에 대해 요소비료를 사용하여 질소시비량을 5수준(0, 3, 5, 7, 9 kg/10a)으로 처리하였으며, 인산, 칼리는 용성인비와 염화가리를 사용하여 표준시비량에 따라 모든 시험구에 각각 4.5, 5.7 kg/10a으로 동일하게 처리하였다. 질소는 기비 50%, 분얼비 20%, 수비 30%로 분시하였고, 인산은 전량 기비로 주었으며, 칼리는 기비 70%, 수비 30%로 분시하였다. 각 품종의 재식간격은 30 × 14 cm로 주당 3본으로 손이양하였으며, 각 연도별 이양시기는 2018년에 5월 28~29일, 2019년에 5월 28~30일, 2020에 5월 27~29일이었다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 수행하였다.

벼의 수량과 수량구성요소는 농촌진흥청 농업과학기술 연

구조사분석기준(RDA, 2012)에 따라 조사하였다. 외관품위는 백미 도정 후 곡물검사기(Cervitec 1625, Foss, Denmark)를 사용하여 완전립, 싸라기, 분상질립, 피해립, 열손립 비율을 조사하였으며, 총 질소함량은 백미 중 완전립을 선별한 후 원소분석기(Vario Max CN, Elementar, Germany)를 이용하여 Dumas법으로 분석하였고 총 질소함량에 단백질 환산계수 5.95를 곱하여 단백질 함량을 계산하였다. 토양 내 총질소는 매년 시험 전 시험포장의 표토층(0~15 cm)을 auger로 3반복 채취하여 그늘에서 풍건 시킨 후 2 mm 체를 통과시켜 시료를 조제하였으며, 원소분석기(Vario Max CN, Elementar, Germany)로 시료를 고온에서 연소시킨 후 가스의 열전도도를 측정하여 정량하였다. 2018년의 경우 품종별로 시험구 구분없이 처리별로 토양 총질소를 분석하였고, 2019년과 2020년은 품종별로 시험구를 구분하여 토양 총질소를 분석하였다. 통계분석은 R 3.5.1 버전을 이용하여 5% 유의수준에서 일원분산분석(ANOVA), 최소유의차검정(LSD), 상관분석을 수행하였다.

결과 및 고찰

국내 주요 벼 21품종을 2018년부터 2020년까지 3년간 질소 시비량을 다르게 재배하여 수량과 품질 변화를 분석하였다. 쌀의 완전미 수량은 모든 품종에서 질소 시비수준이 증가할수록 증가하였고, 품종마다 증가하는 추세는 차이가 있었다(Gewaily *et al.*, 2018). 모든 공시품종의 3년간 평균 완전미 수량은 표준 질소 시비량 9 kg/10a으로 재배했을 때와 비교하여 질소 시비량 0, 3, 5, 7 kg/10a으로 재배했을 때 각각 28%, 22%, 11%, 8% 감소하였다. 각 품종별 질소 시비량에 따른 완전미 수량에는 차이가 있었으며, 조생종(해담, 오대, 운광), 중생종(청품, 대보, 고품, 해품, 하이아미), 중만생종(삼광, 진수미, 수광, 신동진, 칠보, 호품, 새일미, 호평, 현품, 일품, 새누리, 영호진미, 미품) 등 품종의 숙기별로 표준 질소 시비량 대비 질소 무비구의 완전미 수량 감소율은 조생종, 중생종, 중만생종 각각 28.3%, 30.2%, 27.4%로 재배기간이 긴 품종일수록 질소 무비 재배 시 수량 감소율이 상대적으로 낮았지만(Sharma *et al.*, 2018), 완전미 수량은 품종별 완전미율에 따라 차이가 있어, 기존 연구결과와는 차이가 있는 것으로 판단되었다.

품종별로 완전미 수량은 질소 시비량이 증가함에 따라 유의하게 증가하는 경향을 나타내었으며, 모든 품종이 표준 질소 시비량 9 kg/10a으로 재배하였을 때 가장 높은 수량을 나타내었다. 해담, 오대, 청품, 대보, 고품, 삼광, 하이아미, 진수미, 수광, 신동진, 칠보, 호품, 새일미, 호평, 새누리,

영호진미, 미품 등 17품종은 질소 시비량 7 kg/10a으로 재배했을 때, 표준 질소 시비량 9 kg/10a으로 재배했을 때와 비교하여 전체 시험기간 중 2회 이상 완전미 수량에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았고, 특히, 해당, 하이아미, 진수미, 신동진, 칠보, 새일미, 미품 등 7품종은 3년간

모든 시험에서 완전미 수량에 유의한 차이를 나타내지 않았다. 운광, 해품, 현품, 일품 등 4품종은 질소 시비량을 7 kg/10a로 감비하였을 때, 완전미 수량이 3년간 2회 감소하였다(Table 1).

쌀의 완전미 수량에 완전미율과 수량 중 어떤 것이 더 영

Table 1. The head rice yield by variety according to nitrogen application levels from 2018 to 2020.

Variety	Year	The head rice yield (kg/10a)				
		Nitrogen application level (kg/10a)				
		0	3	5	7	9
Haedam	2018	213 c [†]	232 c	361 b	398 ab	424 a
	2019	327 b	345 b	415 a	425 a	405 a
	2020	404 a	427 a	438 a	409 a	418 a
Odae	2018	155 c	261 b	301 ab	260 b	348 a
	2019	232 b	283 b	371 a	372 a	387 a
	2020	304 b	373 a	387 a	400 a	409 a
Unkwang	2018	251 ab	173 b	302 a	191 b	310 a
	2019	266 c	285 c	354 b	374 ab	403 a
	2020	391 ab	414 ab	428 ab	376 b	443 a
Cheongpum	2018	296 b	294 b	329 b	415 a	438 a
	2019	280 c	351 b	341 b	365 b	445 a
	2020	359 c	410 b	437 ab	430 ab	454 a
Daebo	2018	319 b	306 b	432 a	443 a	477 a
	2019	326 c	385 bc	430 ab	411 b	492 a
	2020	397 a	424 a	418 a	400 a	439 a
Gopum	2018	314 d	402 c	470 b	483 b	560 a
	2019	325 b	372 b	438 a	422 a	466 a
	2020	348 c	398 b	430 ab	433 ab	460 a
Haepum	2018	296 b	288 b	355 b	475 a	477 a
	2019	308 c	333 c	397 b	419 b	483 a
	2020	372 c	384 bc	411 ab	391 bc	427 a
Samkwang	2018	329 e	415 d	461 c	510 b	567 a
	2019	339 c	384 bc	468 a	435 ab	464 a
	2020	382 c	441 b	445 ab	464 ab	491 a
Haiami	2018	293 c	365 b	464 a	464 a	492 a
	2019	289 b	289 b	423 a	424 a	470 a
	2020	383 c	390 bc	424 ab	423 ab	443 a
Jinsumi	2018	318 b	375 b	356 b	514 a	546 a
	2019	321 b	330 b	428 a	432 a	460 a
	2020	398 b	422 b	436 ab	465 a	464 a
Sukwang	2018	315 b	282 b	282 b	422 a	440 a
	2019	295 d	341 c	410 b	423 b	513 a
	2020	342 c	390 b	390 b	426 ab	464 a

Table 1. The head rice yield by variety according to nitrogen application levels from 2018 to 2020 (Continued).

Variety	Year	The head rice yield (kg/10a)				
		Nitrogen application level (kg/10a)				
		0	3	5	7	9
Shindongjin	2018	385 cd	337 d	420 bc	455 ab	503 a
	2019	309 d	399 c	461 b	491 ab	511 a
	2020	407 c	428 bc	468 ab	436 abc	479 a
Chilbo	2018	352 b	354 b	373 b	465 a	479 a
	2019	289 b	328 b	379 a	391 a	399 a
	2020	354 c	399 b	419 b	467 a	471 a
Hopum	2018	290 c	304 c	385 b	489 a	536 a
	2019	321 d	376 c	456 b	430 bc	525 a
	2020	367 d	422 c	456 bc	468 ab	501 a
Saeilmi	2018	327 d	434 c	394 bc	470 ab	513 a
	2019	331 b	349 b	430 a	475 a	464 a
	2020	396 d	434 cd	445 bc	480 ab	505 a
Hopyung	2018	335 d	450 c	456 c	507 b	552 a
	2019	327 c	408 b	487 a	473 a	517 a
	2020	390 d	437 c	493 b	508 ab	540 a
Hyunpum	2018	376 b	375 b	422 b	425 b	548 a
	2019	344 b	448 a	486 a	428 ab	485 a
	2020	379 d	438 c	482 b	489 b	541 a
Ilpum	2018	342 c	373 c	404 bc	440 b	513 a
	2019	340 c	344 c	462 ab	432 b	495 a
	2020	392 b	419 b	467 a	484 a	482 a
Saenuri	2018	438 b	433 b	424 b	428 b	546 a
	2019	454 bc	420 c	499 ab	494 ab	527 a
	2020	466 b	466 b	515 a	533 a	546 a
Younghojinmi	2018	372 d	385 cd	440 bc	455 b	537 a
	2019	465 ab	429 b	518 a	474 ab	500 a
	2020	448 b	449 b	488 a	493 a	494 a
Mipum	2018	404 b	375 b	400 b	443 ab	504 a
	2019	391 b	475 ab	523 a	467 ab	497 a
	2020	425 b	420 b	489 a	472 ab	515 a

[†]Each alphabet shows a group by least significant difference test ($p < 0.05$), and the same alphabet means the same group

향이 큰지를 알아보기 위해 상관분석을 실시하였다. 상관 분석결과 완전미 수량은 완전미율과 쌀 수량에 모두 고도로 유의한 상관을 나타내었고, 상관계수는 각각 0.43, 0.93으로 완전미 수량은 쌀 수량에 더 큰 정의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 완전미율과 쌀 수량 간에는 유의한 상관이 없었다(Fig. 1). 쌀 수량은 질소 시비량이 증가할수록 증가하지만 과도한 질소량은 오히려 수량감소를 초래할 수

있기 때문에 완전미 수량을 높이기 위해서는 적절한 질소 시비체계가 필요할 것으로 판단되었다(Gewaily *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2017).

벼의 수량구성요소는 주당수수, 수당립수, 등숙률, 천립중 등으로 벼의 수량 결정에 중요한 역할을 한다. 이들 수량구성요소와 완전미 수량과의 상관분석결과, 주당수수, 수당립수, 등숙률의 상관계수는 각각 0.39, 0.28, 0.33으로 완

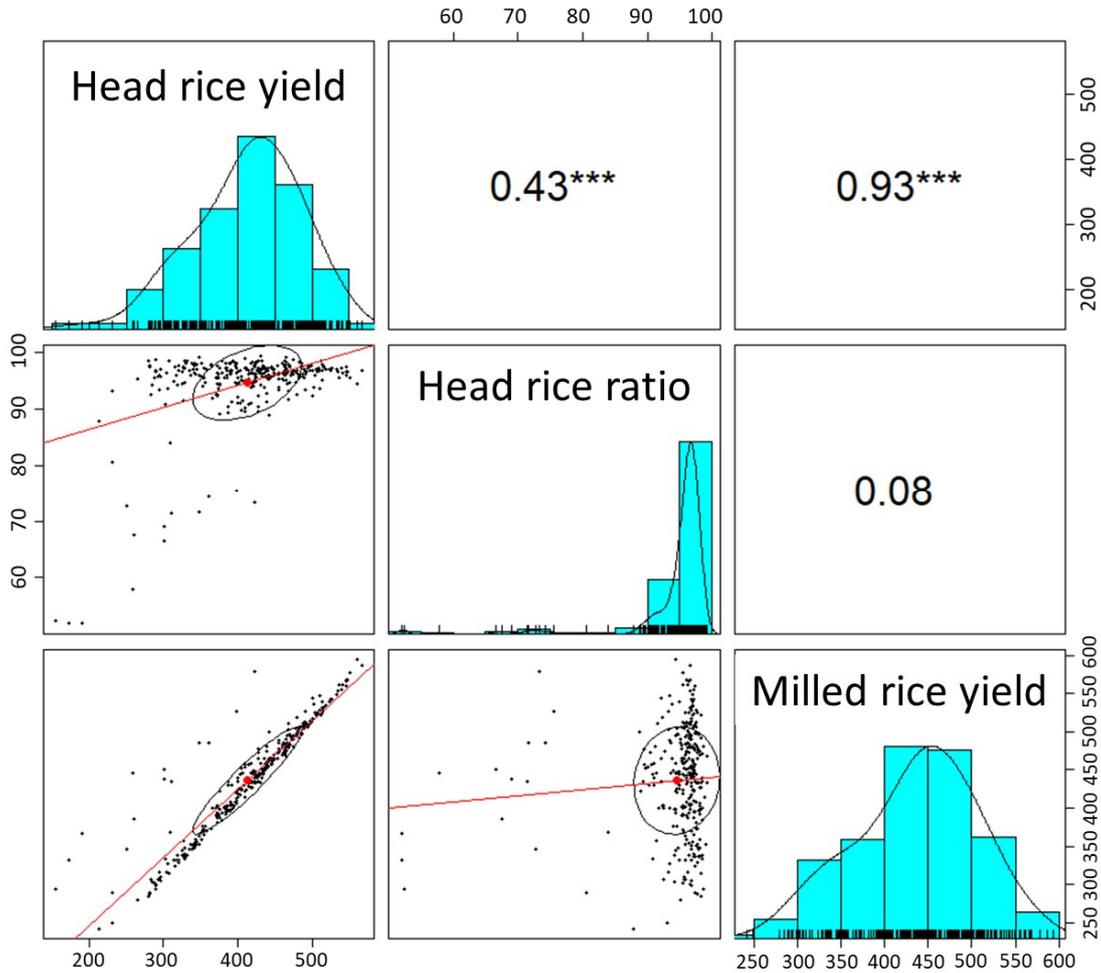


Fig. 1. Correlation matrix between head rice yield, head rice ratio, and milled rice yield from 2018 to 2020.

전미 수량과 정의 상관관계에 있었으며, 천립중과는 유의한 상관을 나타내지는 않았다(Fig. 2).

주당수수는 연차간 차이는 있었지만 질소 시비량이 증가함에 따라 증가하였고(Fig. 3A), 수당립수는 질소 시비량에 큰 영향을 받지 않았고 연차간 변이도 적었다(Fig. 3B). 유수형성기의 일조부족은 단위면적당 이삭수를 감소시킬 수 있기 때문에(Lee *et al.*, 2016), 2019년 주당수수가 낮은 것은 7월 하순경 유수분화기에 일조부족에 의한 영향으로 판단되었다(Fig. 4A). 등숙률은 연차별로 다른 경향을 나타내었다. 2018년의 경우 질소 시비량이 증가함에 따라 증가하였지만, 2019년은 질소 시비량이 증가하더라도 큰 영향이 없었으며, 2020년에는 감소하였다(Fig. 3C). Zhao *et al.* (2022)은 질소 시비량이 증가할수록 낱알의 등숙이 억제되어 벼의 수량과 품질을 낮춘다고 하였다. 이러한 보고는 2018년과 2019년의 결과와는 차이가 있었고, 2020년의 결과와는 다소 일치하는 것으로 판단되었다. 2018년의 등숙률이 다

른 두해에 비해 낮은 것은 등숙 후기 평균기온이 9월하순 18.5°C, 10월상순 15.9°C, 10월중순 12.0°C로 낮았기 때문에 판단되었다(Fig. 4B). 등숙기 21°C이하의 저온은 낱알의 등숙을 지연시키고, 중요한 성장 및 발달과정에 영구적인 손상을 입혀 최종적으로 수확량 감소를 일으킬 수 있으며, 16°C이하로 6일 이상 유지될 경우 등숙률이 유의하게 낮아질 수 있다(Ali *et al.*, 2021; Jacobs & Pearson, 1999). 천립중은 질소 시비량이 증가하여도 큰 변화가 없었고, 2018년도를 제외한 2019년과 2020년은 연차간 변이도 적었으며, 2018년은 낮은 등숙률의 영향으로 천립중이 낮은 것으로 판단되었다(Fig. 3D). Gewaily *et al.* (2018)은 주당수수, 수당립수, 천립중은 질소 시비량이 증가함에 따라 증가한다고 하였으나, 연구 결과, 주당수수는 질소 시비량의 증가에 따라 증가하였지만, 수당립수와 천립중은 큰 영향이 없었다. 종합적으로 고려할 때, 질소 시비량 증가에 따른 완전미 수량의 증가에는 수량구성요소 중 주당수수가 가장

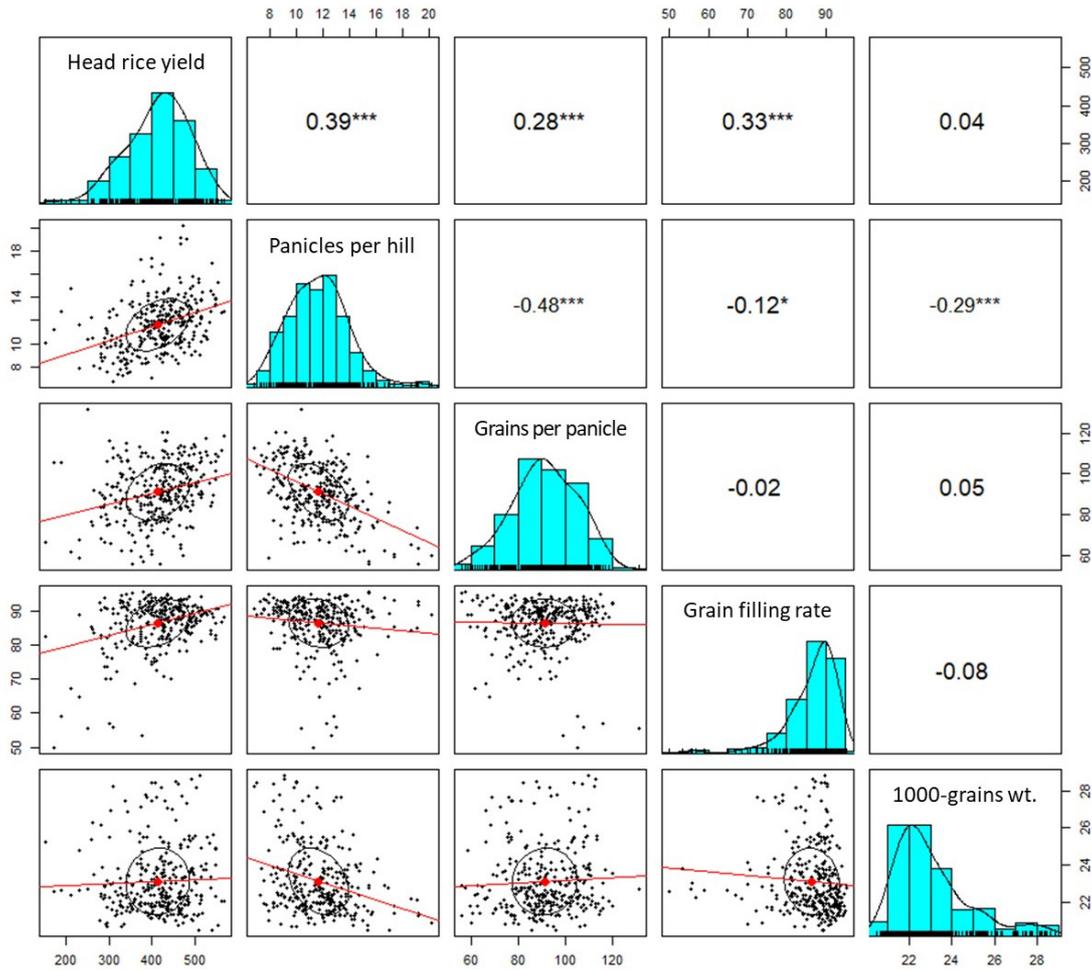


Fig. 2. Correlation matrix between the yield component in rice from 2018 to 2020.

큰 역할을 하는 것으로 판단되었다.

질소 시비량이 증가할수록 주당수수는 모든 시험품종에서 증가하였고, 수당립수는 오대, 하이아미, 호품, 일품, 새누리 등 5품종에서 증가하였으며, 등숙률은 오대에서만, 천립중은 일품, 새누리, 영호진미, 미품 등 4품종에서 질소 시비량이 증가할수록 감소하였다(Table 2). 이와 같이 주당수수, 수당립수, 등숙률, 천립중은 품종의 유전적 특성에 따라 큰 차이가 있으며, 유전형의 차이에 의해 품종별로 수량성에 차이를 나타내었다(Gewaily *et al.*, 2018).

백미의 외관품위는 양곡관리법에 따라 쌀의 등급판정에 중요한 요소로서, 완전미, 찌라기, 분상질립, 피해립 등의 함량에 따라 ‘완전미’, ‘특’, ‘상’, ‘보통’으로 구분되며, 완전미율이 높고, 찌라기, 분상질립, 피해립 등이 낮아야 더 높은 등급으로 결정된다. 질소 시비량의 증가에 따른 백미의 외관품위 변화를 조사한 결과, 완전미율은 연차간 변이 있었지만 질소 시비량에 큰 영향을 받지 않았고 어느 정

도 일정하게 유지되는 경향을 나타내었으며(Fig. 5A), 이것은 완전미율은 질소 시비량이 많으면 증가한다는 기존의 보고와는 차이가 있었다(Zhou *et al.*, 2018). 찌라기의 비율은 질소시비량이 증가함에 따라 큰 차이는 나타나지 않았으나, 2018년을 제외하고 2019년과 2020년에는 질소를 주지 않은 시험구에 비해 9 kg/10a를 주었을 때, 찌라기 비율은 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 5B). 질소 시비량이 증가하면 쌀의 단백질 함량이 증가하고 이로 인해 쌀의 경도가 높아져 찌라기의 비율이 감소한다고 보고되고 있으나, 본 연구에서는 뚜렷한 경향성을 나타내지는 않았다(Zhao *et al.*, 2022). Fig. 5C에서 보는 바와 같이 분상질립의 비율은 질소 시비량이 증가할수록 증가하였으나, 연차간에는 차이가 존재하였다(Zhou *et al.*, 2018), 그 밖의 피해립, 열손립 등은 질소 시비량의 변화와는 연관이 없는 것으로 판단되었다(Fig. 5D). 2018년의 경우 2019년과 2020년보다 완전미율이 낮고, 찌라기와 분상질립 등의 비율이 높게 나타

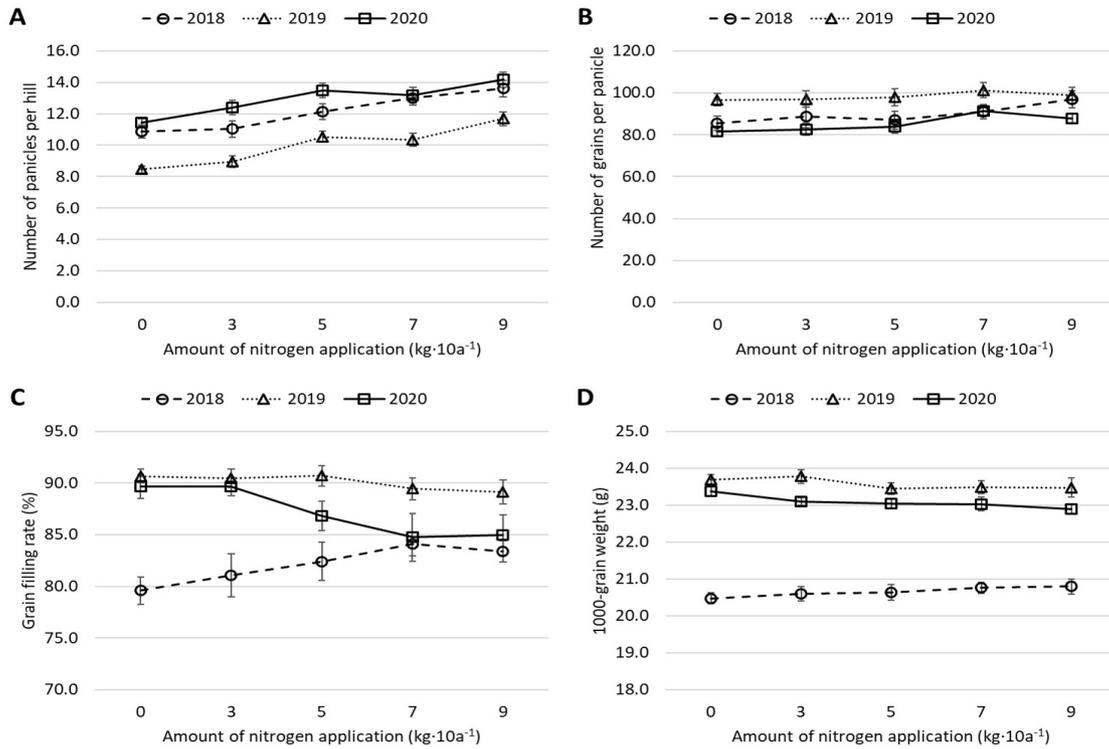


Fig. 3. Changes in the yield component according to the amount of nitrogen application from 2018 to 2020. The error bar indicates the average value of the standard error of each variety. A: Number of panicles per hill, B: Number of grains per panicle, C: Grain filling rate, D: 1000-grain weight.

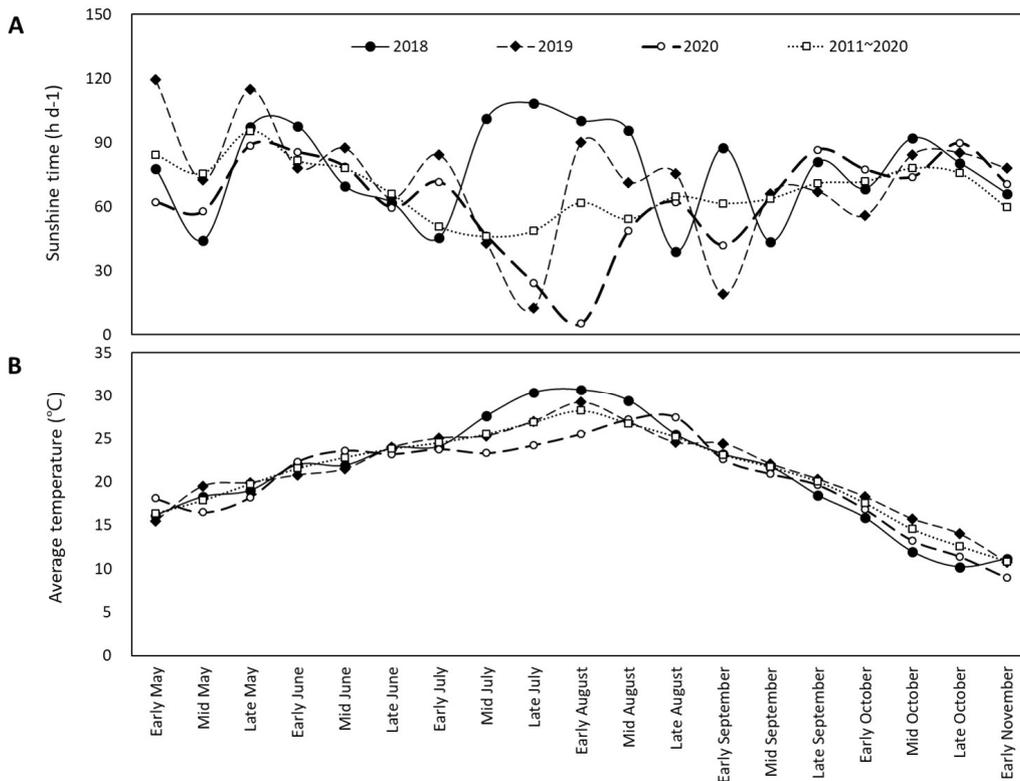


Fig. 4. The sunshine time (A) and the average temperature (B) of the test region from 2018 to 2020.

Table 2. The average standardized index value based on the standard nitrogen application amount (9 kg/10a) for the change of the yield component by variety according to the nitrogen application amount from 2018 to 2020.

Variety	Nitrogen application level (kg/10a)	Number of panicles per hill	Number of grains per panicle	Grain filling rate (%)	1000-grain weight (g)
Haedam	0	79.7 b [†]	95.7	93.2	99.5
	3	77.4 b	89.5	95.7	101.6
	5	88.7 ab	94.8	101.5	100.0
	7	84.6 b	102.6	99.2	100.4
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0
Odae	0	72.2 c	81.7 c	107.7 a	97.0
	3	78.2 bc	91.8 b	108.7 a	100.5
	5	93.7 a	94.1 ab	105.4 ab	99.1
	7	89.5 ab	100.1 a	103.7 ab	99.2
	9	100.0 a	100.0 a	100.0 b	100.0
Unkwang	0	78.8 b	102.7	107.8	100.1
	3	86.2 ab	94.6	102.1	100.3
	5	91.3 ab	102.3	102.6	98.6
	7	94.3 a	103.8	96.0	99.4
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0
Cheongpum	0	82.5 b	93.0	98.8	97.8
	3	87.8 ab	102.4	100.4	99.4
	5	95.4 ab	95.5	98.5	100.1
	7	96.7 a	104.2	99.0	101.4
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0
Daebo	0	78.1 c	95.9	103.3	97.6
	3	84.7 bc	97.5	102.2	97.9
	5	91.9 abc	103.1	100.7	97.6
	7	92.6 ab	101.2	101.4	98.7
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0
Gopum	0	73.0 c	87.5	102.7	100.0
	3	83.3 bc	95.7	103.3	99.7
	5	92.0 abc	93.8	101.5	99.3
	7	90.1 ab	93.9	100.4	102.7
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0
Haepum	0	80.3 b	95.5	98.7	100.6
	3	78.2 b	97.2	101.6	100.2
	5	95.1 a	91.9	100.6	98.0
	7	95.7 a	99.8	98.7	100.2
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0
Samkwang	0	75.8 d	99.7	101.5	99.3
	3	83.3 c	93.7	101.1	99.5
	5	95.3 ab	90.2	101.3	98.7
	7	91.6 b	103.5	99.8	100.0
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0

Table 2. The average standardized index value based on the standard nitrogen application amount (9 kg/10a) for the change of the yield component by variety according to the nitrogen application amount from 2018 to 2020 (Continued).

Variety	Nitrogen application level (kg/10a)	Number of panicles per hill	Number of grains per panicle	Grain filling rate (%)	1000-grain weight (g)
Haiami	0	83.0 c	87.8 c	97.1	97.5
	3	85.9 bc	91.1 bc	101.6	99.3
	5	95.6 ab	96.3 ab	98.7	98.3
	7	91.1 abc	101.8 a	97.8	99.8
	9	100.0 a	100.0 a	100.0	100.0
Jinsumi	0	81.3 c	93.5	96.3	99.3
	3	81.0 c	98.4	99.9	99.2
	5	87.4 bc	100.5	100.0	99.1
	7	98.6 ab	98.2	101.4	100.3
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0
Sukwang	0	78.8 c	96.6	96.6	100.1
	3	80.5 c	96.9	97.7	99.1
	5	87.6 bc	90.2	97.4	99.2
	7	91.7 ab	104.9	98.2	99.2
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0
Shindongjin	0	79.0 b	100.0	102.2	100.5
	3	79.1 b	88.7	101.4	99.1
	5	89.9 ab	100.0	101.8	100.1
	7	95.7 a	104.4	100.8	99.9
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0
Chilbo	0	72.8 b	95.0	102.6	101.1
	3	78.2 b	98.8	102.8	99.2
	5	92.7 a	88.7	102.1	99.9
	7	92.7 a	99.5	100.4	100.7
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0
Hopum	0	72.9 c	86.8 c	96.9	100.7
	3	78.6 c	89.8 bc	100.4	100.4
	5	92.0 b	87.2 c	97.5	99.3
	7	89.9 b	97.1 ab	101.1	100.2
	9	100.0 a	100.0 a	100.0	100.0
Saeilmi	0	79.6 c	92.0	100.3	100.4
	3	84.4 bc	101.3	101.2	100.0
	5	96.2 ab	90.4	102.4	101.6
	7	100.2 a	102.1	101.5	99.7
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0
Hopyung	0	68.2 d	84.3	103.3	102.9 a
	3	77.5 cd	98.2	102.7	103.1 a
	5	87.5 bc	96.2	102.3	102.3 ab
	7	91.4 ab	103.4	100.4	101.0 ab
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0 b

Table 2. The average standardized index value based on the standard nitrogen application amount (9 kg/10a) for the change of the yield component by variety according to the nitrogen application amount from 2018 to 2020 (Continued).

Variety	Nitrogen application level (kg/10a)	Number of panicles per hill	Number of grains per panicle	Grain filling rate (%)	1000-grain weight (g)
Hyunpum	0	75.9 d	92.3	105.1	101.7
	3	80.3 cd	95.8	102.5	100.8
	5	90.4 b	95.9	102.0	99.0
	7	88.3 bc	97.1	101.6	98.7
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0
Ilpum	0	84.4 c	87.2 c	103.3	102.4 a
	3	88.7 bc	84.1 bc	102.5	101.2 ab
	5	95.0 ab	91.6 abc	103.6	101.4 ab
	7	100.3 a	98.5 ab	101.7	100.6 ab
	9	100.0 a	100.0 a	100.0	100.0 b
Saenuri	0	82.6 c	92.7 ab	101.8	102.9 a
	3	80.4 c	91.5 b	101.0	101.1 ab
	5	87.5 bc	97.3 ab	100.5	102.1 ab
	7	92.6 ab	96.0 ab	100.6	99.9 b
	9	100.0 a	100.0 a	100.0	100.0 b
Younghojinmi	0	77.4 b	103.0	101.3	105.7 a
	3	80.9 b	100.8	101.4	102.9 ab
	5	84.2 b	103.2	99.8	102.2 ab
	7	86.0 b	105.7	101.9	101.0 b
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0 b
Mipum	0	80.4 b	95.6	101.3	104.8 a
	3	89.7 ab	97.3	101.1	104.6 ab
	5	96.2 a	90.7	101.1	102.4 ab
	7	92.5 a	92.5	101.6	100.9 ab
	9	100.0 a	100.0	100.0	100.0 b

†Each alphabet shows a group by least significant difference test ($p < 0.05$), and the same alphabet means the same group. Non-alphabetic parts are not statistically significant.

났다. 이것은 출수기(7월말~8월말) 이후 등숙기 고온에 기인한 것으로 판단되었다(Liu *et al.*, 2021). 2018년도 평균 기온을 보면 7월 상순부터 8월 중순까지 평균기온이 2019년과 2020년도보다 높았으며, 최근 10년간 평균보다도 높은 수준이었다(Fig. 4B).

2018년에 숙기별로 품종을 분류하여 외관품위를 비교한 결과, 모든 질소 시비수준에서 완전미율은 조생종이 중생종과 중만생종보다 낮았고(Fig. 6A), 분상질립 비율과 피해립 등 기타비율에서는 조생종이 중생종과 중만생종보다 현저히 높은 비율을 나타내었다(Fig. 6C, 6D). 하지만 싸라기의 비율에서는 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다(Fig. 6B). 이것은 8월 중순 이후에 출수하는 중생종과 중만생종은 등

숙기에 고온에 노출되지 않아 완전미율 등 외관품위에 영향이 없었지만, 7월말에서 8월초에 출수하는 조생종의 경우 등숙기에 20일 이상 고온에 노출되어, 완전미율이 떨어지고, 분상질립 비율이 높아지는 등 외관품위가 낮아진 것으로 판단되었다(Liu *et al.*, 2021).

품종별 완전미율은 해당에서만 질소 시비량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으나, 다른 품종들은 유의한 차이를 나타내지는 않았다. 싸라기 비율은 고품, 삼광, 칠보, 현품 등 4품종에서 질소 시비량 증가에 따라 유의하게 감소하였고, 호평은 5% 유의수준에서 유의성은 인정되었으나 통계적으로 그룹화되지는 않았다. 분상질립의 비율은 해당, 운광, 대보, 고품, 해품, 삼광, 하이아미, 수광, 신

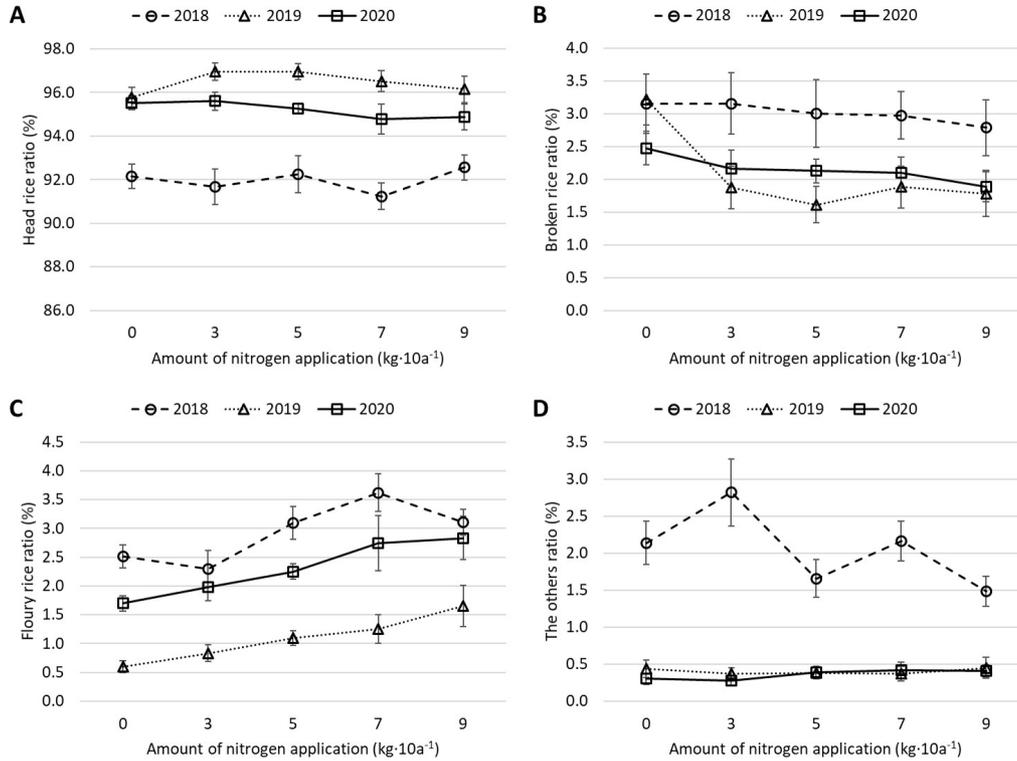


Fig. 5. Changes in the white rice appearance according to the amount of nitrogen application from 2018 to 2020. The error bar indicates the average value of the standard error of each variety. A: Head rice ratio, B: Broken rice ratio, C: Flourey rice ratio, D: The others ratio.

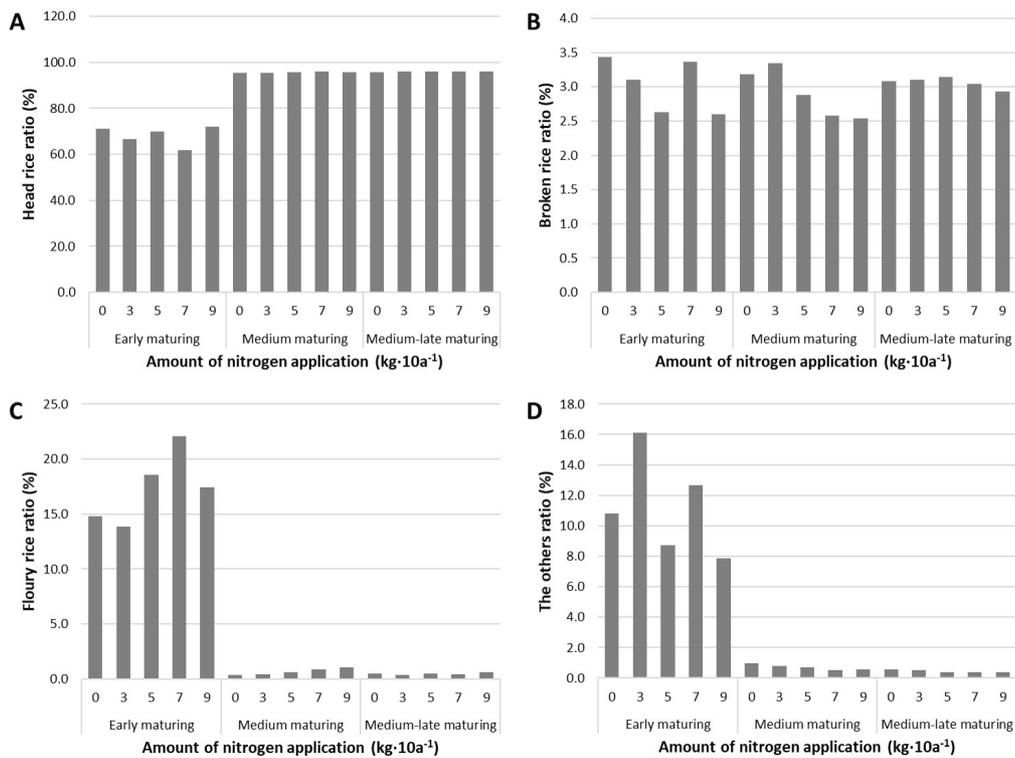


Fig. 6. Changes in the white rice appearance according to the amount of nitrogen application in 2018. A: Head rice ratio, B: Broken rice ratio, C: Flourey rice ratio, D: The others ratio.

동진, 호품, 호평, 현품, 일품, 새누리 등 14품종에서 질소 시비량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 피해립 등 기타비율에서는 통계적으로 유의한 차이는 없었다 (Table 3). 품종마다 차이는 있지만 질소 시비량의 증가함에

따라 외관품위가 나빠지는 경향이 있으므로 고품질 쌀 생산을 위해서는 질소 시비량의 조절이 필요할 것으로 판단된다. 쌀의 단백질 함량이 높으면 쌀이 딱딱해 지고, 취반 시 밥의 점성과 조직감을 나쁘게 하여 밥맛이 떨어지게 된다

Table 3. The average standardized index value based on the standard nitrogen application amount (9 kg/10a) for the average appearance quality of rice by variety according to the nitrogen application amount from 2018 to 2020.

Variety	Nitrogen application level (kg/10a)	Head rice ratio (%)	Broken rice ratio (%)	Floury rice ratio (%)	The others ratio (%)
Haedam	0	110.9 a [†]	105.9	27.0 b	105.1
	3	105.9 ab	95.2	56.9 ab	116.0
	5	102.6 b	74.1	78.4 a	98.7
	7	102.6 b	98.1	80.6 a	143.6
	9	100.0 b	100.0	100.0 a	100.0
Odae	0	92.9	116.1	104.4	114.1
	3	100.4	106.3	84.9	61.6
	5	99.1	85.0	97.4	93.7
	7	96.0	93.8	99.6	85.8
	9	100.0	100.0	100.0	100.0
Unkwang	0	103.0	88.3	62.9 b	80.6
	3	92.9	93.3	71.5 ab	147.7
	5	100.2	92.6	90.8 ab	91.3
	7	92.0	120.0	100.8 a	128.0
	9	100.0	100.0	100.0 a	100.0
Cheongpum	0	100.3	109.3	56.7	118.3
	3	100.4	103.8	101.1	103.3
	5	100.7	92.6	75.0	98.3
	7	100.4	84.9	150.0	87.8
	9	100.0	100.0	100.0	100.0
Daebo	0	100.5	144.3	37.0 b	200.0
	3	100.6	131.0	45.4 b	183.3
	5	100.4	129.1	57.3 ab	150.0
	7	100.2	111.3	79.2 ab	116.7
	9	100.0	100.0	100.0 a	100.0
Gopum	0	100.2	135.8 a	38.8 b	88.9
	3	100.6	113.6 ab	49.0 b	72.2
	5	100.6	95.8 b	76.0 a	77.8
	7	100.4	102.4 b	85.7 a	100.0
	9	100.0	100.0 b	100.0 a	100.0
Haepum	0	100.4	106.6	24.4 c	105.2
	3	99.9	112.9	53.3 bc	104.8
	5	100.1	132.7	55.6 b	93.6
	7	99.6	112.5	97.8 a	113.3
	9	100.0	100.0	100.0 a	100.0

Table 3. The average standardized index value based on the standard nitrogen application amount (9 kg/10a) for the average appearance quality of rice by variety according to the nitrogen application amount from 2018 to 2020 (Continued).

Variety	Nitrogen application level (kg/10a)	Head rice ratio (%)	Broken rice ratio (%)	Floury rice ratio (%)	The others ratio (%)
Samkwang	0	99.0	190.6 a	63.0 ab	76.7
	3	100.1	131.3 bc	59.4 b	83.3
	5	99.6	143.0 b	89.3 ab	80.0
	7	99.7	130.7 bc	104.3 a	118.9
	9	100.0	100.0 c	100.0 ab	100.0
Haiami	0	100.2	99.0	56.5 b	138.0
	3	101.2	78.6	45.1 b	71.9
	5	100.0	109.3	77.3 ab	117.3
	7	100.0	86.0	136.6 a	105.4
	9	100.0	100.0	100.0 ab	100.0
Jinsumi	0	100.0	114.8	63.3	161.1
	3	99.7	103.7	93.3	188.9
	5	99.8	102.1	146.7	133.3
	7	100.5	79.9	126.7	111.1
	9	100.0	100.0	100.0	100.0
Sukwang	0	98.6	312.4	43.8 bc	100.0
	3	100.5	127.7	39.2 c	111.1
	5	100.7	116.5	25.8 c	77.8
	7	99.4	170.1	89.2 ab	88.9
	9	100.0	100.0	100.0 a	100.0
Shindongjin	0	96.9	193.9	26.4 c	144.4
	3	101.0	113.2	32.2 c	194.4
	5	101.0	100.7	51.9 bc	116.7
	7	100.4	98.8	73.1 ab	116.7
	9	100.0	100.0	100.0 a	100.0
Chilbo	0	99.4	158.2 a	48.4	116.7
	3	99.9	119.7 ab	61.4	88.9
	5	100.3	110.6 ab	56.5	138.9
	7	100.7	87.9 b	41.8	133.3
	9	100.0	100.0 b	100.0	100.0
Hopum	0	99.9	126.6	51.9 b	250.0
	3	100.7	114.9	46.2 b	233.3
	5	100.3	120.6	58.9 b	183.3
	7	99.4	126.9	96.2 a	83.3
	9	100.0	100.0	100.0 a	100.0
Saeilmi	0	99.9	194.4	100.8	97.2
	3	100.1	132.8	139.7	44.4
	5	100.3	101.1	92.9	55.6
	7	99.6	142.2	205.6	94.4
	9	100.0	100.0	100.0	100.0

Table 3. The average standardized index value based on the standard nitrogen application amount (9 kg/10a) for the average appearance quality of rice by variety according to the nitrogen application amount from 2018 to 2020 (Continued).

Variety	Nitrogen application level (kg/10a)	Head rice ratio (%)	Broken rice ratio (%)	Floury rice ratio (%)	The others ratio (%)
Hopyung	0	98.3	210.8 a	27.2 c	94.4
	3	99.1	165.1 a	30.3 c	83.3
	5	100.3	103.3 a	62.8 b	91.7
	7	100.1	109.0 a	63.1 b	100.0
	9	100.0	100.0 a	100.0 a	100.0
Hyunpum	0	98.8	172.0 a	56.7 b	205.6
	3	99.4	132.0 ab	82.6 ab	94.4
	5	99.4	114.1 b	120.7 a	138.9
	7	99.3	127.3 ab	103.1 a	133.3
	9	100.0	100.0 b	100.0 ab	100.0
Ilpum	0	100.7	107.9	55.6 c	147.2
	3	100.8	72.9	73.1 bc	136.7
	5	101.0	80.7	60.9 c	115.0
	7	100.2	79.2	113.8 a	123.3
	9	100.0	100.0	100.0 ab	100.0
Saenuri	0	100.5	136.0	26.7 c	31.0 b
	3	100.5	105.2	56.1 bc	52.4 b
	5	99.8	134.9	78.0 ab	66.7 ab
	7	100.2	101.9	98.7 a	47.6 b
	9	100.0	100.0	100.0 a	100.0 a
Younghojinmi	0	98.7	115.8	244.4	180.0
	3	100.0	97.3	126.7	133.3
	5	99.6	109.9	130.0	118.3
	7	99.6	108.3	150.0	100.0
	9	100.0	100.0	100.0	100.0
Mipum	0	100.1	100.5	83.3	70.0
	3	99.6	118.6	150.0	93.3
	5	100.1	104.6	166.7	71.1
	7	98.7	168.7	83.3	82.2
	9	100.0	100.0	100.0	100.0

[†]Each alphabet shows a group by least significant difference test ($p < 0.05$), and the same alphabet means the same group. Non-alphabetic parts are not statistically significant.

(Ahn & Kim, 1996; Cha *et al.*, 1982; Choi, 1996; Kim *et al.*, 2012; Lee & Oh, 1991). 양곡관리법에서는 쌀의 단백질 함량 기준을 ‘수’는 단백질 함량 6.0%이하, ‘우’는 6.1~7.0%, ‘미’는 7.1%이상으로 규정하고 있으나, 의무적으로 표시해야 하는 사항은 아니다(Korean Law Information Center, 2022). 쌀의 단백질 함량은 2018년과 2019년의 경우 질소 시비량

이 증가할수록 감소하다가 질소 시비량 7 kg/10a에서 가장 낮은 함량을 나타내었고, 9 kg/10a에서 다시 증가하는 경향을 나타내었으나, 2020년의 경우 질소 시비량이 증가함에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 7). 기존 연구 결과들은 2020년 단백질 함량의 변화와 같이 질소 시비량이 증가할수록 쌀의 단백질 함량은 증가한다고 보고

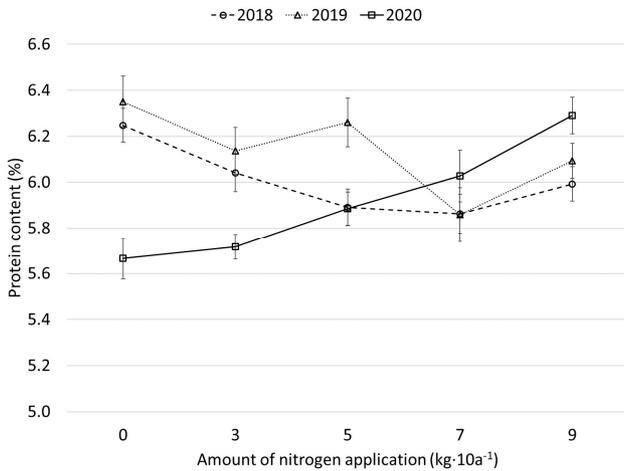


Fig. 7. Changes in the protein content according to the amount of nitrogen application from 2018 to 2020. The error bar indicates the average value of the standard error of each variety.

되고 있으므로(Song *et al.*, 2006; Zhao *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2017), 2018년과 2019년의 결과는 토양의 양분상태와 기상의 영향으로 단백질 함량의 차이가 발생했을 것으로 판단되었다. 2018년부터 2020년까지 시험 전 토양 내 총질소 함량은 포장별, 연차별 차이가 있었으며(Table 4), 일조시간도 연차별로 차이가 있어(Fig. 4A), 향후 토양과 기상조건에 따른 쌀 단백질 함량 변화에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

품종별로 표준 질소 시비량 9 kg/10a에서 시험기간 중 2회 이상 쌀 단백질 함량 6.0%를 초과한 품종은 해담, 오대, 운광, 하이아미, 진수미, 호품, 새일미, 호평, 현품, 일품, 새누리, 영호진미, 미품 등 13품종으로 이중 질소 시비량을 7 kg/10a으로 감비하여 재배한 경우, 시험기간 중 2회 이상 쌀 단백질 함량이 6.0%이하로 낮아진 품종은 해담, 진수미, 호품, 호평, 현품, 새누리, 영호진미 등 7품종이었다. 표준

Table 4. Total nitrogen content of test field soil before testing from 2018 to 2020.

Variety	Year	Total nitrogen content in soil before test (%)				
		Nitrogen application level (kg/10a)				
		0	3	5	7	9
Haedam	2018	0.187 b [†]	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.173 b	0.208 a	0.213 a	0.222 a	0.223 a
	2020	0.177 a	0.192 a	0.203 a	0.191 a	0.182 a
Odae	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.164 b	0.203 a	0.218 a	0.230 a	0.224 a
	2020	0.141 b	0.163 ab	0.185 a	0.179 a	0.178 a
Unkwang	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.173 a	0.206 a	0.212 a	0.215 a	0.222 a
	2020	0.149 c	0.163 bc	0.181 ab	0.177 abc	0.196 a
Cheongpum	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.171 b	0.201 a	0.203 a	0.215 a	0.229 a
	2020	0.145 c	0.158 bc	0.181 a	0.175 ab	0.189 a
Daebo	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.183 a	0.194 a	0.215 a	0.210 a	0.227 a
	2020	0.148 b	0.149 b	0.174 a	0.169 ab	0.191 a
Gopum	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.174 b	0.211 ab	0.218 a	0.246 a	0.225 a
	2020	0.184 a	0.183 a	0.206 a	0.20 a	0.195 a
Haepum	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.187 b	0.200 b	0.210 ab	0.217 ab	0.234 a
	2020	0.148 c	0.155 c	0.181 ab	0.168 bc	0.192 a
Samkwang	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.182 c	0.225 ab	0.215 bc	0.256 a	0.235 ab
	2020	0.149 b	0.167 b	0.198 a	0.214 a	0.222 a

Table 4. Total nitrogen content of test field soil before testing from 2018 to 2020 (Continued).

Variety	Year	Total nitrogen content in soil before test (%)				
		Nitrogen application level (kg/10a)				
		0	3	5	7	9
Haiami	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.206 a	0.204 a	0.231 a	0.225 a	0.232 a
	2020	0.166 a	0.187 a	0.194 a	0.193 a	0.191 a
Jinsumi	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.193 c	0.207 bc	0.242 a	0.235 ab	0.235 ab
	2020	0.160 b	0.162 b	0.203 a	0.199 a	0.218 a
Sukwang	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.181 b	0.225 a	0.230 a	0.245 a	0.236 a
	2020	0.147 b	0.166 b	0.194 a	0.199 a	0.197 a
Shindongjin	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.187 c	0.211 bc	0.242 a	0.247 a	0.238 ab
	2020	0.151 b	0.175 b	0.210 a	0.209 a	0.206 a
Chilbo	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.172 b	0.225 a	0.237 a	0.244 a	0.244 a
	2020	0.142 c	0.164 bc	0.190 ab	0.205 a	0.206 a
Hopum	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.162 b	0.231 a	0.229 a	0.222 a	0.233 a
	2020	0.143 b	0.158 b	0.193 a	0.202 a	0.197 a
Saeilmi	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.190 c	0.210 bc	0.241 a	0.241 a	0.236 ab
	2020	0.171 c	0.177 bc	0.223 a	0.204 ab	0.197 abc
Hopyung	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.164 c	0.237 ab	0.227 b	0.250 a	0.235 ab
	2020	0.145 c	0.163 bc	0.187 ab	0.190 ab	0.201 a
Hyunpum	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.163 b	0.235 a	0.221 a	0.230 a	0.228 a
	2020	0.144 b	0.160 b	0.186 a	0.187 a	0.186 a
Ilpum	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.191 c	0.214 bc	0.243 a	0.245 a	0.232 ab
	2020	0.152 c	0.169 bc	0.201 a	0.197 a	0.186 ab
Saenuri	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.185 b	0.213 ab	0.240 a	0.227 a	0.216 ab
	2020	0.158 c	0.169 bc	0.202 a	0.193 a	0.185 ab
Younghojinmi	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.180 c	0.198 bc	0.226 a	0.209 abc	0.211 ab
	2020	0.180 b	0.191 b	0.213 a	0.186 b	0.185 b
Mipum	2018	0.187 b	0.199 b	0.223 a	0.219 a	0.222 a
	2019	0.148 c	0.224 a	0.197 b	0.216 ab	0.207 ab
	2020	0.150 a	0.152 a	0.171 a	0.175 a	0.178 a

†Each alphabet shows a group by least significant difference test ($p < 0.05$), and the same alphabet means the same group.

질소 시비량으로 재배 시 쌀 단백질 함량 6.0%을 1회 초과한 품종은 대보, 고품, 해품, 수광, 신동진, 칠보 등 6품종으로 이들 품종은 질소 7 kg/10a으로 재배 시, 고품, 수광, 신동진, 칠보 등 4품종은 시험기간 중 3회, 대보와 해품은 2회 쌀 단백질 함량 6.0%이하를 나타내었다. 청품과 삼광은 연차별 모든 질소 시비수준에서 쌀 단백질 함량이 6.0%이하를 나타내었다. 양곡관리법 기준 ‘수’등급의 비율을 높이

기 위해서는 품종에 따라 질소 시비량 7 kg/10a으로 재배하는 것을 고려해 볼 필요가 있다고 판단되었다(Table 5).

위의 결과를 종합하면, 질소 시비량 7 kg/10a으로 감비재배 시 완전미 수량의 감소가 적은 해담 등 17품종 중 질소 시비량 7 kg/10a로 재배 시 단백질 함량이 6.0%를 2회 초과한 오대, 하이아미, 새일미, 미품 등 4품종을 제외한 13품종은 질소 7 kg/10a으로 감비 재배하더라도, 완전미의 수량

Table 5. The protein content by variety according to nitrogen application levels from 2018 to 2020.

Variety	Year	Protein content in head rice (%)				
		Nitrogen application level (kg/10a)				
		0	3	5	7	9
Haedam	2018	6.84 a [†]	6.04 b	5.86 b	5.96 b	6.05 b
	2019	5.75 a	5.51 a	5.60 a	5.50 a	5.58 a
	2020	6.05 a	5.76 a	6.12 a	6.12 a	6.34 a
Odae	2018	6.23 ab	5.90 c	6.03 bc	6.07 bc	6.38 a
	2019	6.11 a	5.91 a	5.96 a	5.94 a	6.02 a
	2020	6.36 b	6.57 b	6.73 b	6.72 b	7.42 a
Unkwang	2018	7.08 a	6.85 ab	6.57 bc	6.47 c	6.58 bc
	2019	6.40 a	6.12 ab	6.10 b	5.88 b	6.08 b
	2020	6.30 a	6.29 a	6.55 a	6.74 a	6.60 a
Cheongpum	2018	6.57 a	6.11 b	5.89 bc	5.86 bc	5.76 c
	2019	6.16 a	5.90 c	6.05 ab	5.86 c	6.0 bc
	2020	5.56 b	5.59 b	5.67 b	5.82 ab	5.99 a
Daebo	2018	6.70 a	6.50 b	6.26 c	5.92 d	5.90 d
	2019	6.12 a	5.78 c	6.0 ab	5.69 c	5.83 bc
	2020	6.11 a	6.03 a	6.10 a	6.21 a	6.06 a
Gopum	2018	5.97 a	5.99 a	5.59 a	5.65 a	5.81 a
	2019	6.04 a	5.80 bc	5.93 ab	5.69 c	5.87 b
	2020	5.56 c	5.75 bc	5.90 b	5.89 b	6.24 a
Haepum	2018	6.56 a	6.27 b	5.98 c	5.87 c	5.86 c
	2019	6.46 a	5.95 bc	6.14 b	5.76 c	5.96 bc
	2020	5.42 c	5.55 c	5.95 b	6.06 b	6.49 a
Samkwang	2018	5.58 ab	5.59 ab	5.35 c	5.39 bc	5.73 a
	2019	5.67 a	5.76 a	5.56 a	5.40 a	5.58 a
	2020	5.08 c	5.20 c	5.18 c	5.36 b	5.77 a
Haiami	2018	6.80 a	6.40 b	6.48 b	6.06 c	6.15 c
	2019	6.41 a	5.80 c	6.22 ab	5.97 bc	6.07 abc
	2020	5.62 c	5.62 c	5.88 b	6.04 b	6.44 a
Jinsumi	2018	6.17 a	6.01 a	5.72 a	5.80 a	6.13 a
	2019	6.24 a	5.95 a	6.30 a	5.93 a	5.96 a
	2020	4.95 b	5.66 a	5.65 a	5.90 a	6.16 a

Table 5. The protein content by variety according to nitrogen application levels from 2018 to 2020 (Continued).

Variety	Year	Protein content in head rice (%)				
		Nitrogen application level (kg/10a)				
		0	3	5	7	9
Sukwang	2018	7.41 a	6.28 b	5.95 b	5.92 b	6.00 b
	2019	5.66 ab	5.88 a	5.66 ab	5.49 b	5.67 ab
	2020	5.63 bc	5.59 c	5.62 c	5.74 b	6.04 a
Shindongjin	2018	6.30 a	6.0 ab	5.95 b	5.67 b	5.69 b
	2019	6.25 a	5.86 a	6.30 a	5.82 a	5.96 a
	2020	5.48 d	5.51 d	5.67 c	5.89 b	6.16 a
Chilbo	2018	5.86 a	5.53 a	5.40 a	5.60 a	5.53 a
	2019	5.86 a	5.95 a	5.91 a	5.83 a	5.99 a
	2020	5.16 d	5.52 c	5.66 c	5.92 b	6.34 a
Hopum	2018	6.42 a	6.25 ab	6.07 b	5.77 c	5.80 c
	2019	5.92 a	6.24 a	6.11 a	5.83 a	6.20 a
	2020	5.42 bc	5.33 c	5.57 b	5.53 b	6.01 a
Saeilmi	2018	6.05 bc	6.03 bc	5.85 c	6.19 ab	6.37 a
	2019	6.79 a	6.23 bc	6.75 ab	6.00 c	6.18 c
	2020	5.83 c	5.64 d	5.94 c	6.22 b	6.49 a
Hopyung	2018	5.28 c	5.86 ab	5.69 b	5.74 b	6.06 a
	2019	6.11 a	6.50 a	6.40 a	5.94 a	6.53 a
	2020	5.38 c	5.33 c	5.75 b	5.94 ab	6.29 a
Hyunpum	2018	5.80 b	5.72 bc	5.61 c	5.77 b	6.06 a
	2019	6.91 a	7.02 a	6.75 a	6.11 a	6.51 a
	2020	5.62 c	5.62 c	5.72 bc	5.84 b	6.21 a
Ilpum	2018	6.17 a	6.11 a	6.09 a	5.91 b	6.20 a
	2019	6.64 ab	6.38 b	6.80 a	6.05 c	6.46 b
	2020	5.77 c	5.75 c	5.84 bc	6.09 ab	6.28 a
Saenuri	2018	5.81 a	5.89 a	6.14 a	6.02 a	6.10 a
	2019	6.92 a	6.22 c	6.68 ab	5.89 c	6.26 bc
	2020	5.74 bc	5.66 c	5.82 bc	5.94 ab	6.11 a
Younghojinmi	2018	5.78 a	5.69 a	5.56 a	5.63 a	5.64 a
	2019	7.56 a	6.61 b	6.75 b	5.92 c	6.28 bc
	2020	5.85 ab	5.71 b	5.85 ab	6.07 a	6.05 a
Mipum	2018	5.82 a	5.83 a	5.66 a	5.84 a	6.04 a
	2019	7.39 a	7.50 a	7.49 a	6.52 b	6.96 ab
	2020	6.07 a	6.37 a	6.41 a	6.52 a	6.60 a

†Each alphabet shows a group by least significant difference test ($p < 0.05$), and the same alphabet means the same group.

감소는 최소화 하면서 쌀의 단백질 함량을 6.0% 이하로 낮출 수 있어, 고품질 쌀 생산이 가능할 것으로 판단되며, 해 품과 현품은 완전미의 수량이 다소 감소하더라도 품질향상에 따른 소득이 정책적으로 지원된다면 질소 시비량 7 kg/10a로 감비 재배가 가능할 것으로 판단되었다.

적 요

우리나라 주요 재배 벼 품종의 고품질 쌀 생산을 위한 최적 질소 시비량을 제시하기 위하여, 우리나라 주요 벼 21품종을 공시하여 질소 시비량에 따른 수량과 품질변화를 검

토한 결과는 다음과 같다.

1. 3년간 평균수량은 표준 질소 시비량 9 kg/10a으로 재배했을 때와 비교하여 질소 시비량 0, 3, 5, 7 kg/10a으로 재배했을 때 각각 28%, 22%, 11%, 8% 감소하였으며, 수량성과 질소 시비량 감소에 따른 수량 감소 경향은 품종별로 차이가 있었다.
2. 주당수수는 질소 시비량이 증가함에 따라 증가하였으나, 수량립수와 천립중에는 큰 변화가 없었고, 수당립수는 다른 수량구성요소에 비해 상대적으로 연차변이가 적었으며, 질소 시비량에 따른 수량구성요소의 변화는 품종의 유전적 특성에 따라 큰 차이를 나타내었다.
3. 완전미율은 질소 시비량의 증가에 큰 영향을 받지 않고 어느 정도 일정하게 유지되는 경향을 나타내었고, 쌀라기 비율은 약간 감소하였으며, 분상질립은 증가하였다.
4. 쌀의 단백질 함량은 2018과 2019년의 경우 질소 시비량이 증가할수록 감소하다가 질소 시비량 7 kg/10a에서 가장 낮았고, 9 kg/10a에서 다시 증가하는 경향을 나타내었으나, 2020년의 경우 질소 시비량이 증가함에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다.
5. 품종별로 표준 질소 시비량 9 kg/10a에서 시험기간 중 2회 이상 쌀 단백질 함량 6.0%를 초과한 품종은 해당 등 13품종으로 이중 질소 시비량을 7 kg/10a으로 감비하여 재배한 경우, 시험기간 중 2회 이상 쌀 단백질 함량이 6.0%이하로 낮아진 품종은 해당, 진수미, 호품, 호평, 현품, 새누리, 영호진미 등 7품종이었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01348701)의 지원에 의해 이루어진 것임

인용문헌(REFERENCES)

- Ahn, S. Y. and D. H. Kim. 1996. Effects of application rates on quality of rice. Institute of Agricultural Resources Research, Dong-A Univ., Korea. 3 : 9-16.
- Ali, I., L. Tang, J. Dai, M. Kang, A. Mahmood, W. Wang, B. Liu, L. Liu, W. Cao, and Y. Zhu. 2021. Responses of Grain Yield and Yield Related Parameters to Post-Heading Low-Temperature Stress in Japonica Rice. *Plants* 10(7) : 1425.
- Cha, K. H., Y. S. Kim, and D. K. Lee. 1982. Effects of application levels of fertilizer on the susceptibility to bacterial leaf blight, yield and quality of grains in nineteen rice cultivars in Jeonnam region. *Korean J. Plant Prot.* 21 : 216-221.
- Choi, Y. K. 1996. Characteristics of quality with fidelity distribution and fidelity of rice grain under the different rice cultivars and cultivation environments. Graduate School, Jeonbuk National University. Jeonju, Korea.
- Faraji, F., M. Espahani, M. Kavousi, M. Nahvi, And A. Forghani. 2013. Effect of nitrogen fertilizer levels on Fe and protein content, grain breakage and grain yield of rice (*Oryza sativa* L. cv. Khazar). *Biharean Biologist* 7(1) : 25-28.
- Gewaily, E. E., A. M. Ghoneim, and M. M. A. Osman. 2018. Effects of nitrogen levels on growth, yield and nitrogen use efficiency of some newly released Egyptian rice genotypes. *Open Agriculture* 3 : 310-318.
- Jacobs, B. C. and C. J. Pearson. 1999. Growth, Development and Yield of Rice in Response to Cold Temperature. *J. Agron. Crop Sci.* 182 : 79-88.
- Kim, C. E., M. Y. Kang, and M. H. Kim. 2012. Comparison of Properties Affecting the Palatability of 33 Commercial Brands of Rice. *Korean J. Crop Sci.* 57(3) : 301-309.
- Kim, J.-I., H.-C. Choi, K.-H. Kim, J.-K. Ahn, N.-B. Park, D.-S. Park, C.-S. Kim, J. Y. Lee, and J.-K. Kim. 2009. Varietal Response to Grain Quality and Palatability of Cooked Rice Influenced by Different Nitrogen Applications. *Korean J. Crop Sci.* 54(1) : 13-23.
- Kondo, T., T. Takayama, and H. Osanami. 2009. Nitrogen Fertilizer Application and Technological Progress in Rice Production in Japan [in Japanese]. *The Japanese Journal of Rural Economics* 2009. 139-143.
- Korean Law Information Center. 2022. <https://law.go.kr/lsc.do?menuId=1&subMenuId=15&tabMenuId=81&query=%EC%96%91%EA%B3%A1%EA%B4%80%EB%A6%AC%EB%B2%95#liBgcolor0> (2022. 10. 6).
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2021. https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?vwcd=MT_ZTI TLE&menuId=M_01_01 (2022. 10. 6).
- Lee, C.-K., J. H. Kim, M.-K. Choi, K.-S. Kwak, and J.-C. Shin. 2010. Nitrogen Application Method for High Quality and Labor Saving in Rice Production under Amended Standard N Application Level. *Korean J. Crop Sci.* 55(1) : 70-75.
- Lee, J. H. and Y. J. Oh. 1991. Yield and quality of rice by continuous application of NPK and organic matter. *Korean J. Crop Sci.* 36 : 332-339.
- Lee, S., E. Son, S. Hong, S. Oh, J. Y. Lee, J. Park, S. Woo, and C. Lee. 2016. Growth and Yield Under Low Solar Radiation During the Reproductive Growth Stages of Rice Plants. *Korean J. Crop Sci.* 61(2) : 87-91.
- Leesawatwong, M., S. Jamjod, B. Rerkasem, and S. Pinjai. 2003. Determination of a premium priced, special quality rice. *International Rice Research Notes* 28(1) : 34.
- Liu, W., T. Yin, Y. Zhao, X. Wang, K. Wang, Y. Shen, Y. Ding, and S. Tang. 2021. Effects of High Temperature on Rice Grain Development and Quality Formation Based on Proteomics

- Comparative Analysis Under Field Warming. *Front. Plant Sci.* 12.
- RDA (Rural Development Administration). 2012. *Agricultural Science Technology Standards for Investigation of Research.* pp.317-337.
- Sharma, N., V. B. Sinha, N. Gupta, S. Rajpal, S. Kuchi, V. Sitaramam, R. Parsad, and N. Raghuram. 2018. Phenotyping for Nitrogen Use Efficiency: Rice Genotypes Differ in N-Responsive Germination, Oxygen Consumption, Seed Urease Activities, Root Growth, Crop Duration, and Yield at Low N. *Front. Plant Sci.* 9.
- Song, Y.-S., K.-S. Lee, B.-G. Jung, H.-j. Jun, K.-S. Kwag, B.-Y. Yeon, and Y.-S. Yoon. 2006. Determination of Nitrogen Application Rates with Paddy Soil Types for Production of High Rice Quality. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39(2) : 86-94.
- Zhao, C., G. Liu, Y. Chen, Y. Jiang, Y. Shi, L. Zhao, P. Liao, W. Wang, K. Xu, Q. Dai, and Z. Huo. 2022. Excessive Nitrogen Application Leads to Lower Rice Yield and Grain Quality by Inhibiting the Grain Filling of Inferior Grains. *Agriculture* 12 : 962.
- Zhou, C., Y. Huang, B. Jia, Y. Wang, Y. Wang, Q. Xu, R. Li, S. Wang, and F. Dou. 2018. Effects of Cultivar, Nitrogen Rate, and Planting Density on Rice-Grain Quality. *Agronomy* 8 : 246.
- Zhu, D., H.-C. Zhang, B.-W. Guo, K. Xu, Q.-G. Dai, H.-Y. Wei, H. Gao, Y.-J Hu, P.-Y Cui, and Z.-Y. Huo. 2017. Effects of nitrogen level on yield and quality of japonica soft super rice. *Journal of Intergrative Agriculture* 16(5) : 1018-1027.