국립식량과학원 육성 벼 품종의 내풍성 특성 분석

박현수¹ · 백만기¹ · 정오영¹ · 전용희^{2*}¹농촌진흥청 국립식량과학원, ²농촌진흥청 국립식량과학원 영덕출장소

Characterization of Wind-Tolerant Rice Varieties Bred at the National Institute of Crop Science

Hyun-Su Park¹, Man-Kee Baek¹, O-Young Jeong¹, and Yong-Hee Jeon^{2*}¹National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea²Yeongdeok Substation, NICS, RDA, Yeongdeok 36405, Republic of Korea

Abstract The damage caused by typhoons to rice production has been increasing. To reduce this damage, wind-tolerant rice breeding programs have been conducted at the Yeongdeok substation (YS) of the National Institute of Crop Science (NICS). This study was conducted to examine the effects of these wind-tolerant rice breeding programs. Under the wind-tolerance screening facility (WTSF), the wind-tolerance of 17 rice varieties bred at NICS (usual rice) and 20 rice varieties bred at YS (wind-tolerant rice) were analyzed by evaluating six traits: white spikelet (WS), white panicle (WP), degree of wind damage (DG), ratio of ripened grain (RRG) at control (RRG_C) and treatment (RRG_T), and reduction rate of RRG between control and treatment (RRG_R). Wind-tolerant rice showed more wind-tolerant characteristics than usual rice, such as lower WS, WP, DG, and RRG_R and higher RRG_T and RRG_C. In the principal component analysis, wind-tolerant rice showing a similar direction for RRG_T and RRG_C were located separately from the usual rice. The adaptability tests of wind-tolerant rice were conducted by evaluating eight yield-related traits in the wind-prone areas. Wind-tolerant rice was divided into three clusters by K-means clustering analysis using WP and RRG_T with the WTSF, RRG, and yield in the wind-prone areas. Among the three clusters, YC2 had the strongest wind tolerance performance, followed by YC3 showing moderate wind tolerance, and YC1 the weakest wind tolerance. 'Sinbo', a variety belonging to YC2, exhibited the strongest wind tolerance and high yield potential among all varieties. The wind-tolerant rice varieties bred at YS could be used practically to prevent wind damage and utilize breeding materials to enhance the wind tolerance of rice varieties.

Keywords rice, variety, white panicle, wind tolerance, Yeongdeok substation

Received on January 21, 2021. Revised on January 22, 2021. Accepted on February 16, 2021.

* Corresponding Author (E-mail: jeonyhee@korea.kr, Tel: +82-54-732-0385, Fax: +82-54-732-9584)

서 언

바람은 일반적으로 벼의 생장에 이롭지만 풍해는 벼가 바람의 위력을 당하지 못할 때 발생한다. 벼의 풍해는 태풍이 올 때 수반되는 강풍에 의한 피해가 일반적이며, 해안가를 중심으로 태풍의 강한 바람이 바다 쪽에서 육지로 불게 되면 높은 파고로 인하여 바닷물이 공중으로 비산하여 바람을 따라 이동 낙하하여 염해와 풍해가 복합적으로 나타나는 조풍해, 바람이 높은 산맥을 넘어오면서 고온건조해지는 뽀(Föhn) 바람이나 강우를 동반하지 않은 태풍의 강풍 등 고온건조한 바람에 의한 건풍해로 구별할 수 있다(Park et al. 2012, Yoon et al. 2003). 벼의 풍해는 기계적 장애, 수분 생리적 장애, 조풍 피해로 나눌 수 있다(Hong et al. 2004). 기계적 장애는 강풍에 의한 도복, 탈립, 잎의 파열

등이며, 수분 생리적 장애는 건조한 바람이 불 때 탈수에 의한 잎의 위조나 변색립, 불임립, 백수 등이며, 조풍 피해는 풍해와 함께 염해가 복합적으로 나타난다(Yoon et al. 2003). 이삭의 변색은 태풍에 의한 기계적 찰상, 과도한 증산 및 조풍에 의한 화학적 손상 등에 기인한다(Sang et al. 2013). 벼 이삭에 나타나는 바람 피해 형태를 보면 영의 부분 또는 전체가 탈색, 변색 및 백색으로 변하며, 벼 이삭 전체가 하얗게 말라 죽는 현상인 백수는 출수 직후에 연약한 이삭이 일시적인 수분의 부족으로 건조되는 현상이다(Lee et al. 2000). 벼의 풍해는 태풍의 세기와 기상 상황, 발생 지역, 벼의 생육시기 등에 따라서 큰 차이를 보이며, 출수 후 3-5일경에 변색립과 불임립 발생 등 그 피해가 가장 크고 출수 후 일수가 경과할수록 피해는 감소하는 것으로 알려져 있다(Park et al. 2012, Sang et al. 2013, Yoon et al. 2003).

벼의 풍해에 대한 반응은 품종 간에도 그 차이가 있으며 육종을 통해 내풍성을 개량할 수 있다고 하였다(Lim et al. 1988, Uehara & Samoto 1979). 내풍성 육종사업을 수행하기 위해서는 내풍성에 대한 특성검정이 선행되어야 한다. 내풍성 등 내재해성은 많은 유전자가 관여하는 양적형질로 특성을 검정하기 위해서 많은 노력과 시간이 소요된다(Andaya & Mackill 2003, Tomita et al. 2020). 내재해성에 대한 일반적인 검정법은 자연 조건을 이용하는 방법으로 재해가 발생했을 때 피해를 파악하는 수동적 자연검정방법과 재해가 빈번하는 상습지에 시험재료를 심어 평가하는 능동적 자연검정방법이 있을 수 있다. 수동적 자연검정 방법은 언제 어디서 어떤 강도로 재해가 발생할 지를 예측할 수 없기 때문에 원하는 재료에 대한 특성검정보다는 재해 발생 시 피해를 파악하고 향후 비슷한 경우가 발생했을 시 피해를 예상하는 목적으로 활용되고 있다. 능동적 자연검정방법은 재해 상습지를 육성모지로 삼아 육종사업을 실시하여 시험재료에 대한 내재해성을 평가하고 선발하는 방법을 활용한다. 국립식량과학원 영덕출장소는 태백산맥 끝자락의 동사면에 위치해 동쪽으로 갈수록 점차 낮아져 동해안에 인접하고 있어 차갑고 건조한 바닷바람이 수시로 발생하고 태백산맥을 넘어오면서 고온건조해진 뽀(Föhn) 바람에 의해 벼 농사가 피해를 받는 풍해 상습지역인 경상북도 영덕군 병곡면 포장에 1981년 설립되어, 능동적 자연검정방법을 이용한 육성재료의 내풍성 특성검정을 수행해 오고 있다. 하지만 능동적 자연검정방법도 수동적 자연검정방법과 마찬가지로 자연의 영향을 크게 받기 때문에 해마다 특성검정의 정밀도가 변동되며 실질적인 능동적 특성검정은 이루어지기 어렵다. 이를 보완하기 위하여 인위적으로 내재해성을 평가할 수 있는 시설을 이용한 특성검정법인 시설검정방법이 병행되어 활용되고 있다. 영덕출장소는 1985년에 인위적으로 강한 건조풍을 일으킬 수 있는 폐쇄 순환형 풍동 시설이 설치됨으로써 정밀한 내풍성 검정을 위한 기반이 구축되었고, 풍해 상습지를 이용한 능동적 자연검정방법과 풍동 시설을 이용한 시설검정방법을 병행하여 내풍성 육종사업을 수행하고 있다. 지금까지 영덕출장소에서 육성된 내풍성 벼 품종은 1985년에 최초로 개발된 ‘영덕’을 시작으로 ‘삼덕’(2002년 개발), ‘칠보’(2007), ‘대보’(2011), ‘신보’(2013), ‘새칠보’(2016) 등 20품종이 개발되었다(Kim et al. 2009, Kim et al. 2014, Park et al. 2019).

기후변화의 영향으로 자연재해의 발생 빈도와 강도가 증가하면서 쌀 생산에 심각한 피해를 초래하고 있으며, 식량안보에도 위협이 되고 있다(Myong 2018). 벼 재배면적이 지속적으로 감소하고 있는 추세에서 자연재해에 의한 피해까지 가중될 경우

예기치 못한 큰 위기에 봉착할 수 있다. 최근 태풍의 강도와 쌀 생산에 미치는 피해가 증가하고 있다. 태풍이라는 자연현상을 인위적으로 막을 수는 없겠지만 이에 대한 대비책으로 내풍성 벼 품종 개발에 대한 중요성을 재인식해야 할 상황이다. 본 연구는 영덕출장소에서 육성된 벼 품종에 대한 내풍성 성능을 분석함으로써 그동안 수행된 내풍성 육종사업의 효과를 검토하고, 분석된 결과를 국내 육성 벼 품종의 내풍성 향상을 위한 육종사업에 반영하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험 재료

내풍성 성능을 분석하기 위하여 국립식량과학원에서 육성한 17품종과 영덕출장소에서 육성한 20품종을 이용하였다. 국립식량과학원 육성품종은 벼 지역적응성검정시험에서 중생종·중만생종의 표준품종 및 비교품종으로 이용되고 있는 자포니카 15품종(밥쌀용 7, 특수미 6, 초다수 1, 사료용 1)과 통일형 2품종(초다수 2)이며, 영덕출장소 육성품종은 1985년부터 최근까지 개발된 전체품종으로 중생종·중만생종의 자포니카 밥쌀용 20품종이다(Supplementary Table 1).

풍동 시설 이용 내풍성 검정

인위적으로 강한 건조풍을 일으킬 수 있는 폐쇄 순환형 풍동 시설을 이용하여 내풍성 검정을 실시하였다(Fig. 1). 풍동(wind-test section)의 크기는 520 × 120 × 210 cm (길이 × 폭 × 높이)이고 측정부는 120 × 90 × 90 cm이며 풍속은 고정형이다(Fig. 1B). 자연 상태에서 태풍 내습 후 건조풍 피해 발생 시 기상 조건은 상대습도 60% 이하의 고온 건조한 바람이 풍속 4.0-8.5 m/sec로 불며 이를 감안하여 풍동실 검정 조건은 상대습도 50±5% 이하, 온도 30±1℃, 풍속 7 m/sec로 3시간 처리하여 그 피해 정도를 조사 판정하고 있으며, 이때 증산력(Q; mmHg · m · sec⁻¹)의 ΣQ 가 150 이상이 되어 자연 상태에서 백수가 발생될 때의 조건과 비슷하다. 증산력 Q는 포화증기압(E; mmHg)에서 증기압(e; mmHg)을 뺀 증기압 차이(E-e)에 풍속(U; m/sec)를 곱하여 계산된다($Q=(E-e) \cdot U$). 국립식량과학원 육성 17품종과 영덕출장소 육성 20품종을 2018-2020년 3년간 보통기 보비재배 방법으로 재배하여 내풍성을 검정하였다. 내풍성 검정을 위해 대조구와 처리구 각각에 대해서 4월 25일에 침종·최아시킨 종자를 파종하여 키운 30일 묘를 5월 25일에 1/1,250 a 와그너 포트에 포트당 1주씩 4반복으로 이양하여 출수기까지 자연 조건에서 재배하였

Fig. 1. Wind tolerance screening facility. Layout of facility (A) and test section (B), photo of facility (C) and after wind-treatment (D).

다. 시비량은 표준재배에 준하여 시용하였고 사면이 트인 온실을 사용하여 어느 정도 바람을 줄일 수 있게 방풍망을 설치한 조건에서 충해 등을 철저히 방지하며 검정재료를 양성하였다. 처리구의 풍해 검정 효율을 높이기 위하여 풍동 처리 전에 출수가 된 검정재료를 온도 30℃, 상대 습도 100%인 암실 조건에서 24시간 동안 과습 처리를 실시하였다. 과습 처리한 검정재료를 풍동실 검정 조건에서 야간에 3시간 동안 풍동 처리하였다. 풍동 처리한 이삭을 대상으로 백화영과 백수 비율을 조사하였다(Fig. 1D). 영화의 백화 반점 면적이 영화 표면적의 1/3이상인 것을 백화영으로 간주하며 전체 영화 중 백화영의 수를 백화영 비율로 구하였으며, 백화영 비율이 80%이상인 이삭을 백수로 간주하며 전체 이삭 중 백수의 수를 백수율로 산정하였다. 풍해 지수는 백화영 비율을 기준으로 1: 백화영 비율 20%이하, 3: 21-40%, 5: 41-60%, 7: 61-80%, 9: 81% 이상 등 1-9의 질적등급으로 구분하였다. 검정 이후 자연 조건의 대조구와 풍동 처리구의 재료를 표준재배법에 준하여 재배하여 등숙기에 대조구와 처리구의 등숙률을 조사하였다. 등숙률 감소율은 대조구에 대한 처리구의 등숙률 비율로 구하였다.

풍해 상습지 적응성 검정

영덕출장소 시험포장은 동해안에서 1 km와 2 km 떨어진 두 곳에 위치하고 있는 풍해 상습지역이다. 두 곳의 포장에서 영덕출장소 육성 20품종을 대상으로 2016-2020년 5년간 보통기

보비재배 조건으로 풍해 상습지 적응성 검정을 실시하였다. 공시 품종을 4월 25일에 파종하여 5월 25일에 재식거리 30×15 cm로 주당 3본씩 구당 180주를 이앙하였다. 시비량은 N-P₂O₅-K₂O를 90-45-57 kg/ha으로 질소는 기비 : 분얼비 : 수비를 50 : 25 : 25 비율로 분시하였고, 인산은 전량 기비로, 칼륨은 기비 : 수비를 70 : 30 비율로 분시하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 실시하였다. 공시된 재료의 최고분얼기에 평균이 되는 10개체에 대해서 초장과 분얼수를 측정하고 시험구의 총경수가 40%로 출수한 날을 출수기로 판정하였으며, 성숙기에 평균이 되는 10개체에 대해서 간장과 수수를 측정하였다. 성숙기에 3주를 예취하여 등숙률 및 수당립수를 조사하였고 100주를 3반복 예취하여 정조중을 측정하였다. 수확한 정조 1 kg을 수량조사현미기로 제현하여 정현비율을 측정하고, 100주 정조수량에 정현비율을 곱하여 현미수량을 구한 다음 10a당 수량으로 환산하였다. 백미수량은 현미수량에 일반적인 현백률인 0.92를 곱하여 산정하였다.

통계분석

통계분석은 R (Version 4.0.2, The R Foundation for Statistical Computing Platform)을 이용하였다. 각 형질의 평균 등 기술통계, *t*-test, Duncan's Multiple Range Test (DMRT)를 이용한 평균간 비교, 영덕출장소 육성품종의 유전형과 재배 포장의 환경 간 상호작용에 대한 AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative

Interaction) 분석을 agricolae 패키지를 이용하여 수행하였다. 공시품종의 형질에 대한 산포도·히스토그램·상관계수를 psych, boxplot을 ggplot2, 주성분분석을 ggfortify, 상관분석을 corplot, K-means 군집분석을 factoextra, 3차원 산점도를 scatterplot3d 패키지를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

풍동 시설 이용 내풍성 검정

영덕출장소에서 육성된 벼 품종의 내풍성 성능을 비교 분석하기 위하여 국립식량원 육성품종과 함께 풍동 시설을 이용하여 내풍성 검정을 실시하였다(Supplementary Table 1). 조사 형질은 풍해 관련 형질로 처리구의 백화영 비율, 백수율, 풍해 지수와 등숙 관련 형질로 대조구 및 처리구 등숙률, 등숙 감소율 등 6가지 형질로 이들의 관련성을 분석하였다(Fig. 2). 풍해 관련 형질들간 관련성은 상관계수 0.97-0.99로 매우 높은 정의상관관계를 나타냈다. 등숙 관련 형질들 중 대조구의 등숙률은 처리구 등숙률과 높은 정의 상관관계($r=0.73$)를 나타냈으며 등숙 감소율과는 높은 부의 상관관계($r=-0.61$)를 나타냈고, 처리구 등숙률과 등숙 감소율과는 매우 높은 부의 상관관계($r=-0.98$)를 나타냈다. 자연 조건인 대조구에서 등숙률이 높은 품종이 풍동 시설 처리구에서의 등숙률도 높은 경향을 나타냈는데, 이는 풍해 상습지인 영덕출장소에서 대조구도 바람의 영향을 많이 받기 때문으

로 생각된다. 백수율 등 풍해 관련 형질들은 대조구 등숙률과 관련성이 없었고, 처리구 등숙률과는 높은 부의 상관관계를 나타냈으며 등숙 감소율과는 높은 정의 상관관계를 보였다. 따라서 처리구 등숙률과 등숙 감소율은 백수율 등과 같이 풍해의 지표로 활용될 수 있을 것으로 생각된다. 국립식량과학원과 영덕출장소 육성품종간 내풍성 정도를 비교 분석하였다(Table 1, Fig. 3). 영덕출장소 육성품종이 국립식량과학원 육성품종에 비해 백화영 비율, 백수율, 풍해 지수가 낮았고, 대조구와 처리구의 등숙률이 높았으며 등숙 감소율이 낮아 전체적으로 내풍성이 강한 것으로 나타났다. 주성분분석을 통해 내풍성 관련 형질과 공시품종들의 구조적 관계를 파악하였다(Fig. 4A). 주성분 1과 주성분 2를 통해 전체 형질변이의 95.2%를 설명할 수 있었다. 매우 높은 정의 상관관계를 나타냈던 풍해 관련 형질인 백화영 비율, 백수율, 풍해 지수는 밀접하여 분포하고 있었으며, 주성분 1을 기준으로 풍해 관련 형질과 등숙 감소율은 처리구 및 대조구 등숙률과 다른 방향성을 나타냈다. 품종들의 분포를 보면 영덕출장소 육성품종들은 주로 처리구 및 대조구 등숙률과 같은 방향성에 근접하여 분포하고 있어 국립식량과학원 육성품종들과 구분되는 것을 확인할 수 있었다. K-means 군집분석을 수행하여 내풍성 관련 형질에 따라 공시품종들의 그룹을 분류하였다(Fig. 4B). 군집이 3, 4, 5, 6개일 때 전체 형질 변이를 설명하는 정도는 61.2, 77.8, 82.1, 85.0%로 품종들의 내풍성 관련 특성을 세분화하기 위하여 군집의 수를 6개로 정하여 분석을 수행하였다. 37개

Fig. 2. Scatterplot matrices, histograms, and correlations for wind tolerance-related traits. Red circles, red lines, and black ellipses represent the means, linear regression lines, and correlation ellipses, respectively. WS: white spikelet, WP: white panicle, DG: degree of wind damage, RRG_C: ratio of ripened grain (RRG) at control, RRG_T: RRG at treatment, RRG_R: reduction rate of RRG between control and treatment.

Table 1. Comparison of wind tolerance-related traits of rice varieties bred at National institute of crop science (NICS) and Yeongdeok substation (YS).

Group ^z (cluster)	n	White spikelet (%)	White panicle (%)	Degree of wind damage (1-9)	Ratio of ripened grain (%)		
					Control	Treatment	Reduction rate
N	17	46.4 ^{*y}	43.3 [*]	4.5 [*]	79.3 ^{**}	32.7 ^{**}	59.1 ^{**}
Y	20	34.4	31.3	3.6	90.0	49.6	45.1
(C1)	10	23.6cd ^x	20.8cd	2.3c	88.2ab	54.2ab	38.5cd
(C2)	5	57.4b	55.0b	5.9b	80.8bc	27.6cd	64.4ab
(C3)	2	83.3a	78.8a	8.0a	73.4c	13.3d	80.1a
(C4)	16	43.7bc	40.3bc	4.4b	89.3ab	43.6bc	51.4bc
(C5)	2	22.1cd	19.6cd	2.2c	56.4d	8.7d	80.7a
(C6)	2	10.9d	9.4d	1.5c	92.5a	72.4a	21.9d
Total	37	39.4	36.4	4.0	85.5	42.5	51.0
C.V. (%)		69.7	75.5	67.3	14.5	55.0	50.1

^zN: NICS, Y: YS, C1-6: clusters classified by K-means clustering (the varieties in the clusters are listed in Supplementary Table 1)

^y* and ** mean significant at $p<0.05$ and $p<0.01$ by t -test

^xMeans with same letters in a column are not significantly different at $p<0.05$ (ANOVA followed by DMRT)

Fig. 3. Comparison of wind tolerance-related traits of rice varieties bred at National institute of crop science (NICS) and Yeongdeok substation (YS). White spikelet (A), white panicle (B), DG: degree of wind damage (C), RRG_C: ratio of ripened grain (RRG) at control (D), RRG_T: RRG at treatment (E), RRG_R: reduction rate of RRG between control and treatment (F). N and Y mean varieties bred at NICS and YS. Blue rectangles in the box plots indicate the means of wind tolerance-related traits. * and ** indicate significant at $p<0.05$ and $p<0.01$ by t -test, respectively.

품종 중 군집 C1-C6에 속하는 품종이 10, 5, 2, 16, 2, 2개로 C4에 속하는 품종이 가장 많았다(Table 1). 영덕출장소 육성품종인 칠보와 신보가 속한 C6이 백화영 비율, 백수율, 풍해 지수,

등숙 감소율이 가장 낮았고 대조구와 처리구의 등숙률이 높아 내풍성이 가장 강한 것으로 판단되었다. C6 다음으로 백화영 비율, 백수율, 풍해 지수, 등숙 감소율이 낮고 대조구와 처리구의

Fig. 4. Distribution of rice varieties bred at National institute of crop science (NICS) and Yeongdeok substation (YS) using wind tolerance-related traits. Principal component analysis (A) and K-means clustering analysis (B). PC1: principal component 1, PC2: principal component 2. N and Y mean varieties bred at NICS and YS. WS: white spikelet, WP: white panicle, DG: degree of wind damage, RRG_C: ratio of ripened grain (RRG) at control, RRG_T: RRG at treatment, RRG_R: reduction rate of RRG between control and treatment. Dim1: dimension 1, Dim2: dimension 2. C1-6: cluster 1-6. Abbreviation of varieties and values of the wind tolerance-related traits are listed in Supplementary Table 1.

등숙률이 높아 내풍성이 강했던 군집은 C1으로 영덕출장소에서 육성된 동해, 내풍, 원황, 해평, 삼덕, 풍미, 다보 등 7품종과 국립식량과학원 육성 화영, 보람찬, 설갱이 여기에 포함되었다. 내풍성이 가장 약한 것으로 판단되는 군집은 통일형 품종인 다산과 한아름2호가 속한 C3으로 백화영 비율, 백수율, 풍해 지수가 가장 높고 등숙 관련 형질이 불량하였다. 이는 영의 모용성이 약하고 기공수와 기공개도, 수분손실율, 규화세포율이 높은 통일형이 자포니카 생태형보다 내풍성이 약하다는 기존의 결과와 일치하였다(Chang et al. 2003, Yang et al. 1998). C3 다음으로 백화영 비율, 백수율, 풍해 지수가 낮고 등숙 관련 형질이 불량했던 군집은 C2로 국립식량과학원 육성 밥쌀용 남평, 특수미 찰벼 신선찰과 반찰 백진주, 사료용 녹양 등 4품종과 영덕출장소 육성 상보가 여기에 포함되었다. 국립식량과학원 육성 특수미 품종인 큰눈과 흑남이 속한 C5는 백화영 비율, 백수율, 풍해 지수는 내풍성이 강한 것으로 판단된 C1과 비슷하였으나, 등숙 관련 특성이 6개 군집 중에서 가장 열악한 특성을 나타내 풍해 관련 형질과 등숙 관련 형질의 방향성이 다른 그룹들과 다른 경향을 나타냈다. 일반적으로 유색벼와 기능성벼는 일반벼에 비해 등숙률은 낮은 것으로 알려져 있어 C5의 낮은 등숙 특성은 풍해에 기인한 것 보다는 유전적인 특성에 의한 것으로 판단된다(Kim et al. 2015). 가장 많은 16개 품종이 속한 C4는 등숙 특성이 낮았던 C5를 제외한 5개 군집 중 C6과 C1 다음으로 중간 정도의 내풍성을 나타내는 것으로 판단되었으며 국립식량과학원 육성 6품종과 영덕출장소 육성 10품종이 여기에 속하였다. 풍동 시설을 이용한 육성기관간 내풍성 비교 분석에서 영덕출장소 육성품

종이 국립식량과학원 육성품종에 비해 내풍성이 강하였고, 전체 품종의 군집간 비교에서도 영덕출장소 육성품종 대부분이 내풍성이 강한 것으로 판단되는 군집에 속해 있어 풍해가 상습적으로 발생하는 환경조건에 위치한 영덕출장소에서 육성된 품종이 다른 육성모지의 품종에 비해 풍해에 강한 내풍성 품종으로 판단되었다.

풍해 상습지 적응성 검증

영덕출장소 육성 내풍성 20품종을 대상으로 동해안에서 1 km와 2 km로 인접한 풍해 상습지 시험포장에서 적응성을 검증하였다(Fig. 5). 해안가에 가까운 1 km 포장에 비해 최고분얼기 조사 형질인 초장이 짧고 분얼수가 적었으며 출수가 지연되어 풍해에 의해서 초기 생육이 다소 부진하였다(Supplementary Table 2). 성숙기의 수량 관련 형질 중 간장과 등숙률은 1 km 포장과 2 km 포장에서 통계적 차이가 없었다. 수량의 잠재력인 sink에 관여하는 수수와 수당립수는 1 km 포장에 14개와 101개로 2 km 포장(15개, 93개)에 비해 수수는 적고 수당립수는 많았으나 수수와 수당립수로 결정되는 단위면적당 립수는 1 km 포장에 1,414개/주이고 2 km 포장에 1,395개/주로 두 지점의 통계적 차이가 없었다(p -value=0.414, t -test). 이는 해안가에서 가까운 1 km 포장에서 재배된 품종들이 수수가 다소 줄어들었으나 sink의 균형을 유지하기 위해 수당립수를 증가시킨 것으로 생각된다. 두 지점에서 sink의 크기인 단위면적당 립수와 source와 관련된 등숙률의 차이가 없었으며 최종적인 수량도 통계적 차이가 없는 특성을 나타내 두 지점의 풍해 차이는 크지 않은 것으로 판단되었

Fig. 7. Classification of wind tolerant rice varieties bred at Yeongdeok substation by adaptability test in wind-prone areas. K-means clustering analysis using four traits, white panicle (WP) and ratio of ripened grain at treatment (RRG_T) by wind tolerance screening facility and ratio of ripened grain (RRG) and yield in wind-prone areas (A). 3D-scatter plot using WP, RRG_T, and yield (B). CB: Chilbo, DaB: Dabo, DB: Daebob, DH: Donghae, DHJM: Donghaejinmi, DoB: Dongbo, HORM: Haeoreumi, HP: Haepyeong, HPC: Haepyeongchal, JB: Jinbo, NaP: Naepung, PM: Pungmi, SaB: Sangbo, SCB: Saechilbo, SD: Samdeog, SiB: Sinbo, WH: Weonhwang, YB: Youngbo, YD: Yeongdeog, YH: Yeonghae. YC1-6: Yeongdeok cluster 1-6.

것으로 나타났던 군집 C6과 C1에 속한 품종들이 주성분 1을 기준으로 내풍성이 비교적 낮았던 C4와 C2에 속한 품종들과 구분되어 위치하고 있었다. 전체 14개 형질들 간의 상관분석을 4개의 그룹으로 계층적 군집형으로 수행하였다(Fig. 6B). 백화영 비율, 백수율, 풍해 지수 등 풍해 관련 형질과 등숙 감소율이 상관관계수 0.82-0.99의 매우 높은 정의 상관관계를 나타내며 같은 그룹으로 분류되었고, 수당립수 · 출수기 · 수량($r=0.32-0.66$), 처리구 등숙률 · 분얼수 · 수수($r=0.30-0.41$), 초장 · 대조구 등숙률 · 간장 · 시험포장 등숙률($r=0.05-0.49$)이 같은 그룹으로 분류되었다. 본 연구결과에서 풍동 시설을 이용하여 조사된 형질들은 풍해 상습지에서 조사된 수량 관련 형질들과 대부분 낮은 상관관계를 나타내, 시설을 이용한 내풍성 특성검정에서 품종의 수량 관련 형질 특성이 풍해에 미치는 영향은 적은 것으로 판단되었다. 하지만 간장은 백수율($r=0.15$), 백화영 비율($r=0.16$), 풍해 지수($r=0.17$)와 정의 상관관계를 나타냈고, 수수는 백화영 비율($r=0.23$), 등숙 감소율($r=0.37$)과 부의 상관관계, 처리구 등숙률($r=0.41$)과는 정의 상관관계를 나타내는 등 내풍성과 일부 부분 관련이 있었다. 또한 자포니카 벼의 일반적인 내풍성 품종의 형태적 특성은 단간 · 수수형으로 수당립수가 적으며 이삭목이 가늘고, 잎이 짧고 굵은 경향이라 하였고, 인디카 IR64 배경에 NPT (new-plant-type) 초형의 벼 염색체 절편이 도입된 317계통을 대상으로 한 분석에서 태풍 발생 시 불임률은 간장, 수장 및 이삭무게와 정의 상관을 나타낸다는 보고가 있어 품종의 수량 관련 형질과 내풍성과의 연관성에 대해서는 좀더 면밀한 검토가

필요할 것으로 생각된다(Chang et al. 2003, Tomita et al. 2020).

내풍성 품종 성능 분석

내풍성 품종들의 성능을 세분하여 비교 분석하기 위하여 상관 분석에서 분류된 4개 그룹의 대표형질로 백수율, 처리구 등숙률, 시험포장 등숙률, 수량을 선정하여 K-means 군집분석을 수행하였다(Fig. 7A). 그룹이 2, 3, 4, 5개 일 때 전체 형질 변이를 설명하는 정도가 33.9, 53.2, 65.1, 71.2%로 2개에서 3개로 군집이 변형될 때 상대적으로 설명하는 정도가 커졌고 내풍성 성능 구分的 명확성을 위해 군집의 수를 3개로 정하여 분석을 수행하였다. 군집분석을 통해 분류된 군집 YC1, YC2, YC3는 내풍성 품종 6, 6, 8개를 포함하고 있었다(Table 2). 각 군집의 시험포장 등숙률은 통계적 차이가 없어 풍해 상습지에서 내풍성 품종들은 비슷한 등숙 능력을 가지고 있는 것으로 판단되었다. 수량성은 YC1 (495 kg/10a)이 가장 낮았고 YC2 (554 kg/10a)와 YC3 (563 kg/10a)는 통계적으로 비슷한 수준을 나타냈다. YC2는 백수율과 처리구 등숙률이 15.7%와 62.7%로 가장 낮아 풍해가 적은 것으로 판단되었고, YC1 (35.4, 47.4%)와 YC3 (39.9, 41.5%)는 통계적으로 비슷한 수준을 나타냈다. 전체적인 내풍성 정도는 풍해가 적고 수량성이 높았던 YC2에 속한 품종들이 가장 강하였고, YC2와 수량성은 비슷하였으나 풍해가 상대적으로 컸던 YC3에 속한 품종들이 중간 정도의 내풍성 정도를, 수량성이 낮고 풍해가 컸던 YC1에 속한 품종들이 내풍성이 가장 약한 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 내풍성 품종 간 차이가

Table 2. Classification of wind tolerant rice varieties bred at Yeongdeok substation by K-means clustering analysis using representative traits evaluated at the wind tolerance screening facility and wind prone areas.

Cluster	n	Variety ^z	Wind tolerance screening facility		Wind prone area	
			White panicle (%)	Ratio of ripened grain at treatment (%)	Ratio of ripened grain (%)	Yield (kg/10a)
YC1	6	DoB, HPC, NaP, PM, YD, YH	35.4a ^y	47.4b	78.5a	495b
YC2	6	CB, DaB, DH, HP, SD, SiB	15.7b	62.7a	76.2a	554a
YC3	8	DB, DHJM, HORM, JB, SaB, SCB, WH, YB	39.9a	41.5b	77.4a	563a
Total	20		31.3	49.6	77.3	540
C.V. (%)			42.5	22.6	4.6	6.5

^zCB: Chilbo, DaB: Dabo, DB: Daebo, DH: Donghae, DHJM: Donghaejinmi, DoB: Dongbo, HORM: Haeoreumi, HP: Haepyeong, HPC: Haepyeongchal, JB: Jinbo,

NaP: Naepung, PM: Pungmi, SaB: Sangbo, SCB: Saechilbo, SD: Samdeog, SiB: Sinbo, WH: Weonhwang, YB: Youngbo, YD: Yeongdeog, YH: Yeonghae

^yMeans with same letters in a column are not significantly different at $p < 0.05$ (ANOVA followed by DMRT)

나지 않았던 시험포장 등숙률을 제외한 백수율, 처리구 등숙률, 수량을 이용한 3차원 산점도를 통해서도 확인할 수 있었다(Fig. 7B). 내풍성이 가장 강한 YC2에 속한 품종 중 2013년에 개발된 신보는 평균 백수율이 0%로 공시된 품종들 중 가장 낮았고 처리구 등숙률이 67.3%로 가장 높았으며 수량성이 580 kg/10a로 두번째로 높아 내풍성 성능이 가장 우수하였다. 신보와 같은 영덕출장소에서 육성된 내풍성 벼 품종은 풍해 상습지 피해 방지에 실질적으로 활용될 수 있으며, 국내 육성 벼 품종의 내풍성 향상을 위한 육종소재로 적극 이용될 것으로 기대된다.

본 연구를 통해 영덕출장소 육성 벼 품종은 국립식량과학원 육성품종에 비해 내풍성 정도가 우수한 것으로 나타나 풍해 상습지를 이용한 능동적 자연검정방법과 풍동 시설을 이용한 시설검정방법을 병행하여 수행된 내풍성 육종사업의 효과가 확인되었다. 기후변화에 의한 태풍의 강도와 그 피해가 증가하고 있는 시점에서 영덕출장소에서 수행되고 있는 내풍성 육종사업의 중요성을 재인식하고 내풍성 향상을 위한 육종적 노력을 기울여야 할 것으로 생각한다.

적 요

최근 태풍의 강도와 쌀 생산에 미치는 피해가 증가하고 있다. 국립식량과학원 영덕출장소에서는 이러한 풍해에 대비하기 위해서 내풍성 육종사업을 수행해오고 있다. 본 연구는 영덕출장소에서 육성된 내풍성 품종에 대한 성능을 분석함으로써 그간의 내풍성 육종사업의 효과를 검토하고자 수행되었다. 국립식량과학원 육성 17품종과 영덕출장소 육성 20품종에 대해서 풍동 시설을 이용한 내풍성 검정을 실시하였다. 영덕출장소 육성품종

이 국립식량과학원 육성품종에 비해 백화영 비율, 백수율, 풍해 지수가 낮았고, 대조구와 처리구의 등숙률이 높았으며 등숙 감소율이 낮아 전체적인 내풍성이 강한 것으로 나타났다. 주성분분석을 통해 내풍성 관련 형질과 공시품종들의 구조적 관계를 살펴본 결과, 영덕출장소 육성품종들은 주로 처리구 및 대조구 등숙률과 같은 방향성에 근접하여 분포하고 있어 국립식량과학원 육성품종들과 구분되는 것을 확인할 수 있었다. 풍동 시설을 이용하여 조사된 6개 형질과 풍해 상습지 시험포장 적응성 검정에서 조사된 수량 관련 8개 형질을 이용하여 내풍성 품종의 성능을 분석하였다. 대표형질로 백수율, 처리구 및 시험포장 등숙률, 수량을 선정하고 K-means 군집분석을 실시하여 내풍성 품종을 3개의 군집으로 분류하였다. 분류된 군집 중 YC2가 풍해가 적고 수량성이 높아 내풍성이 가장 강하였고, 그 다음으로 YC3가 중간의 내풍성정도를 나타냈으며, YC1이 내풍성이 가장 약하였다. 내풍성이 강한 YC2에 속한 ‘신보’는 공시된 품종들 중 내풍성이 가장 강하였고 수량성이 높아 유망한 품종으로 판단되었다. 신보와 같은 영덕출장소에서 육성된 내풍성 벼 품종은 풍해 상습지 피해 방지에 실질적으로 활용될 수 있으며, 국내 육성 벼 품종의 내풍성 향상을 위한 육종소재로 적극 이용될 것으로 기대된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01187205)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

보충자료

본문의 Supplementary Table 1과 Supplementary Table 2는 한국육종학회지 홈페이지에서 확인할 수 있습니다

REFERENCES

- Andaya VC, Mackill DJ. 2003. Mapping of QTLs associated with cold tolerance during the vegetative stage in rice. *J Exp Bot* 54: 2579-2585.
- Chang JK, Yeo US, Lee JS, Oh BG, Kang JH, Yang SJ, Kim SC. 2003. Relationship between rice glume pubescence and tolerance to Foehn stress. *Korean J Breed Sci* 35: 300-305.
- Hong KP, Kim YG, Joung WK, Shon GM, Song GW. 2004. Variation in leaf mechanical damage by typhoon among rice cultivars: effects on yield and rice quality. *Korean J Crop Sci* 49: 199-206.
- Kim DS, Song J, Lee JI, Chun AR, Jeong EG, Kim JT, Hur OS, Kim SL, Suh SJ. 2009. Rice quality characterization according to damaged low temperature in rice plant. *Korean J Crop Sci* 54: 452-457.
- Kim JI, Chang JK, Park NB, Yeo US, Oh BG, Kang JH, Kwon OD, Shin MS, Park DS, Kwak DY, Lee JH, Song YC, Kim CS, Cho JH, Yi GH, Lee JY, Nam MH, Kim SY, Ahn JW, Ku YC, Kim JK. 2009. A new high quality rice variety with high head rice ratio and milling recovery, 'Chilbo'. *Korean J Breed Sci* 41: 547-551.
- Kim JI, Park NB, Lee JY, Kwon OD, Park DS, Chang JK, Yeo US, Kang JH, Lee JH, Cho JH, Song YC, Jang KC, Choi KJ, Oh SH, Hwang UH, Kim YJ, Park ST, Kang HW, Lee JK. 2014. A high quality rice variety with lodging tolerance, 'Daebo'. *Korean J Breed Sci* 46: 96-102.
- Kim SY, Han SI, Oh SH, Lee JH, Park NB, Kwon OD, Kwon YU. 2015. Seed gravity, germination, and optimum seeding rate for machine transplanting in colored rice varieties. *Korean J Crop Sci* 60: 282-292.
- Lee JS, Suh HS, Kim HY, Lim SJ, Chang JK, Oh BG, Kim SC. 2000. Morpho-physiological characteristics associated with tolerance to dry wind in rice. *Korean J Breed Sci* 32: 139-141.
- Lim SJ, Kim CY, Moon EH, Kim JH. 1988. Testing method of foehn tolerance and selection of tolerant varieties in rice. *Res Rept RDA* 30: 7-13.
- Myeong SJ. 2018. Impact of climate change related natural disaster on rice production in South Korea. *J Korean Soc Hazard Mitig* 18: 53-60.
- NICS. 2012. The 50-year history of crop science. p. 50.
- Park HK, Kang SG, Lee KD, Kwon OD, Ku BI, Choi MK, Kim YD, Ko JK, Kim BK. 2012. Influence of salty wind damage caused by typhoon 'MUIFA(1109)' on rice plant and yield in Jindo-gun. *Korean J Intl Agri* 24: 522-530.
- Park NB, Kim JI, Yeo US, Lee JY, Kwon OD, Park DS, Lee JH, Cho JH, Song YC, Kim SY, Oh SH, Son YB, Chang JK, Shin MS, Nam MH. 2019. 'Sinbo', a high-quality rice cultivar with dwarf virus resistance. *Korean J Breed Sci* 51: 244-250.
- Sang WG, Kim YD, Kang SG, Ku BI, Choi MK, Park HK, Kim BK, Lee JH. 2013. Effects of dry wind of typhoon "BOLAVEN" at different growth stage on panicle discoloration and yield in rice. *Korean J Intl Agri* 25: 406-411.
- Tomita A, Uddin N, Obara M, Saito H, Fukuta Y. 2020. Genetic variation of typhoon-induced spikelet sterility in introgression lines with genetic background of Indica group rice (*Oryza sativa* L.) variety IR 64. *Plant Prod Sci*.
- Uehara Y, Samoto S. 1979. A testing method for foehn tolerance in rice plant. *Bull Hokuriku Natl Agric Exp Stn* 22: 89-100.
- Yang ES, Kang YS, Jung YT, Chung GS. 1998. Eco-physiological characteristics of rice leaves and wind damage by typhoon. *Korean J Crop Sci* 33: 201-204.
- Yoon YH, Kim CK, Chung NJ, Kwak KS, Kang YS. 2003. Varietal difference of leaf damage, change of yield and rice quality affected by dry wind of typhoon "Olga" during mid-growth stage and heading stage in rice. *Korean J Intl Agri* 15: 347-355.

Supplementary Table 1. Wind tolerance-related traits of rice varieties bred at National institute of crop science (NICS) and Yeongdeok substation.

Group	Variety	Year	Eco-type ^z	Heading-type	Purpose-type ^y	WS ^x (%)	WP (%)	DG (1-9)	RRG_C (%)	RRG_T (%)	RRG_R (%)	Cluster
NICS (N)	Dongjin (DJ)	1981	<i>j</i>	mid-late	C	37.5	37.5	4	89.0	52.9	40.8	C4
	Sinseonchal (SSC)	1982	<i>j</i>	medium	S	55.0	52.8	5	81.1	27.0	66.3	C2
	Hwaseong (HS)	1985	<i>j</i>	medium	C	53.0	50.3	5	87.5	48.5	42.6	C4
	Ilpum (IP)	1990	<i>j</i>	mid-late	C	44.8	44.2	5	85.9	38.1	57.3	C4
	Hwayeong (HY)	1991	<i>j</i>	medium	C	21.3	20.1	2	88.0	60.5	32.1	C1
	Hyangnam (HaN)	1995	<i>j</i>	mid-late	S	42.0	34.4	4	92.0	44.3	51.7	C4
	Dasan (DS)	1995	<i>T</i>	medium	H	80.8	72.9	8	64.5	17.6	73.4	C3
	Dongan (DA)	1996	<i>j</i>	mid-late	C	61.0	53.5	6	90.7	48.3	45.7	C4
	Nampyeong (NP)	1997	<i>j</i>	mid-late	C	68.3	66.8	6	87.8	29.2	67.5	C2
	Heugnam (HN)	1997	<i>j</i>	mid-late	S	16.7	16.0	2	52.4	11.2	76.4	C5
	Sobi (SB)	1999	<i>j</i>	medium	C	32.7	29.2	4	87.5	42.5	52.9	C4
	Seolgaeng (SG)	2001	<i>j</i>	mid-late	S	24.2	20.2	2	87.3	45.2	48.3	C1
	Baegjinju (BJJ)	2001	<i>j</i>	mid-late	S	57.3	53.4	6	72.5	16.8	73.1	C2
	Keunnun (KN)	2005	<i>j</i>	mid-late	S	30.2	25.0	3	62.3	4.9	87.1	C5
	Nokyang (NY)	2006	<i>j</i>	mid-late	W	45.6	46.3	5	72.5	32.5	51.8	C2
	Boramchan (BRC)	2009	<i>j</i>	mid-late	H	14.4	9.9	1	78.2	43.8	41.3	C1
	Hanareum 2 (HAR2)	2010	<i>T</i>	medium	H	85.8	84.7	8	82.2	9.1	86.8	C3
Yeongdeok (Y)	Yeongdeog (YD)	1985	<i>j</i>	medium	C	48.5	43.8	5	87.7	45.7	47.8	C4
	Donghae (DH)	1988	<i>j</i>	medium	C	22.6	20.0	2	95.7	63.0	34.0	C1
	Naepung (NaP)	1995	<i>j</i>	medium	C	28.2	27.8	3	87.4	53.5	38.0	C1
	Yeonghae (YH)	1997	<i>j</i>	medium	C	44.0	38.2	4	91.4	44.3	51.8	C4
	Weonhwang (WH)	1998	<i>j</i>	medium	C	33.0	31.1	3	87.6	53.8	38.8	C1
	Haepyeong (HP)	2000	<i>j</i>	medium	C	17.6	16.7	2	84.7	56.4	33.0	C1
	Samdeog (SD)	2002	<i>j</i>	medium	C	26.2	19.6	2	92.6	57.1	38.6	C1
	Pungmi (PM)	2004	<i>j</i>	medium	C	25.8	22.9	2	88.3	50.1	43.6	C1
	Haepyeongchal (HPC)	2004	<i>j</i>	medium	C	37.6	36.8	4	85.0	47.8	45.5	C4
	Donghaejinmi (DHJM)	2006	<i>j</i>	medium	C	45.5	43.1	5	93.2	37.9	60.0	C4
	Chilbo (CB)	2007	<i>j</i>	mid-late	C	19.0	18.8	2	95.4	77.5	19.1	C6
	Haeoreumi (HORM)	2008	<i>j</i>	medium	C	35.7	30.6	4	88.8	35.9	59.9	C4
	Jinbo (JB)	2009	<i>j</i>	mid-late	C	40.4	36.7	4	91.4	45.8	49.9	C4
	Dongbo (DoB)	2010	<i>j</i>	medium	C	44.7	43.1	4	92.2	43.0	53.8	C4
	Daebo (DB)	2011	<i>j</i>	medium	C	42.5	35.8	4	86.2	47.2	45.9	C4
	Dabo (DaB)	2012	<i>j</i>	medium	C	22.8	19.4	2	91.7	55.2	40.1	C1
	Sinbo (SiB)	2013	<i>j</i>	medium	C	2.9	0.0	1	89.5	67.3	24.6	C6
	Youngbo (YB)	2014	<i>j</i>	medium	C	52.5	50.0	5	88.1	38.3	58.2	C4
	Sangbo (SaB)	2015	<i>j</i>	medium	C	60.7	55.6	8	90.3	32.6	63.6	C2
	Saechilbo (SCB)	2016	<i>j</i>	mid-late	C	37.3	36.8	4	92.4	40.1	56.2	C4

^z*j*: japonica, *T*: Tongil type. ^yC: cooked rice, H: high-yielding rice, S: special rice, W: whole crop silage type. ^xWS: white spikelet, WP: white panicle, DG: degree of wind damage, RRG_C: ratio of ripened grain (RRG) at control, RRG_T: RRG at treatment, RRG_R: reduction rate of RRG between control and treatment

Supplementary Table 2. Performance of rice varieties bred at Yeongdeok substation in wind-prone areas 1 km and 2 km far from the east coast.

Variety	PH ^z (cm)	TN	HD (DAT)	CL (cm)	PN	NS	RRG (%)	Yield (kg/10a)
Yeongdeog (YD)	52bcde ^y	18bc	86bc	74ab	16bc	90ef	79.3a	503cdef
Donghae (DH)	57abc	16c	84bcde	72abcd	14fgh	93cdef	74.2a	516bcdef
Naepung (NaP)	48de	18bc	72h	64efg	15cdef	86fg	77.5a	484f
Yeonghae (YH)	56abcd	15c	81ef	68cdef	14fgh	97bcdef	77.2a	497def
Weonhwang (WH)	54bcde	17bc	84bcde	75ab	14efgh	107abc	81.5a	557abcde
Haepyeong (HP)	52bcde	18bc	79f	67cdef	15cde	92def	72.6a	539abcdef
Samdeog (SD)	58abc	16c	82def	72abc	14efgh	111a	80.4a	557abcde
Pungmi (PM)	52bcde	17bc	79f	67cdef	14defgh	89f	72.8a	488ef
Haepyeongchal (HPC)	64a	15c	76g	71abcd	14gh	98abcdef	81.8a	483f
Donghaejinmi (DHJM)	52bcde	16bc	86b	65efg	14efgh	104abcde	76.2a	570abc
Chilbo (CB)	50cde	22a	85bcd	70bcd	20a	76g	82.4a	564abcd
Haeoreumi (HORM)	55bcde	17bc	82def	67cdefg	16bcd	94cdef	78.5a	547abcdef
Jinbo (JB)	54bcde	17bc	83bcde	72abcd	15cde	95cdef	77.0a	543abcdef
Dongbo (DoB)	59ab	16c	82def	68cde	14efgh	95cdef	82.3a	519bcdef
Daebo (DB)	54bcde	16bc	84bcde	62g	14efgh	110ab	72.0a	569abc
Dabo (DaB)	53bcde	17bc	84bcde	63fg	15defg	105abcd	71.7a	569abc
Sinbo (SiB)	55bcde	17bc	86b	67defg	15cdef	105abcd	75.9a	580ab
Youngbo (YB)	55abcde	17bc	81ef	64efg	15defg	98abcdef	77.1a	555abcde
Sangbo (SaB)	59ab	16c	82cdef	76a	13h	100abcdef	81.8a	569abc
Saechilbo (SCB)	47e	19ab	89a	70bcd	17b	97bcdef	75.0a	598a
1 km mean	51 ^{**x}	15 ^{**}	83 ^{**}	69 ^{ns}	14 ^{**}	101 ^{**}	76.6 ^{ns}	542 ^{ns}
2 km mean	58	19	81	69	15	93	78.1	538
Total mean	54	17	82	69	15	97	77.4	540
C.V. (%)	16.1	19.0	5.7	8.7	12.5	15.9	14.4	13.2

^zPH and TN: plant height and number of tillers per hill at maximum tillering stage, HD: heading date, DAT: days after transplanting, CL: culm length, PN: number of panicles per hill, NS: number of spikelets per panicle, RRG: ratio of ripened grain at wind-prone area

^yMeans with same letters in a column are not significantly different at $p < 0.05$ (ANOVA followed by DMRT)

^xns and ** mean not significant and significant at $p < 0.01$ by t -test, respectively