

Research Article

중부지역 논 재배 사료용 밀의 품종별 생산성 및 사료가치 평가

조현민[†], 신명나[†], 심강보, 한아름, 전원태*
국립식량과학원 중부작물부 재배환경과

Evaluation of Biomass and Feed Value of Forage Wheat in Central Region at the Paddy by Cultivars

Cho Hyun Min[†], Shin Myeong Na[†], Shim Kang Bo, Han Areum and Jeon Weon Tai*
Department of Central Area Crop Science, NICS, RDA, Suwon 16429, Republic of Korea

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the productivity of whole crop silage wheat utilizing the paddy fields during a couple of years from 2019 to 2021 in Suwon, Korea. This investigation was used the two maturity types of wheat cultivar 'Cheongwoo' (early) and 'Taeu' (late). The heading date of 2nd year (Oct. 2020 to May. 2021) cultivation was delayed about 11 to 13 days by more than 1st year (Oct. 2019 to May. 2020). The growth characteristics were shown that the plant height was increased in 2nd cultivation, while the number of culms and the panicle part ratio were decreased. Moreover, the nutritive value of 'Cheongwoo' and 'Taeu' were also decreased in 2nd cultivation. These changes have thought to a difference of the precipitation by cultivation years. Because, the precipitation during the period from the end of winter dormancy to the harvesting stage in 2nd (337 mm) cultivation was more about twice than 1st (169.3 mm) cultivation. However, the dry matter yield of 'Cheongwoo' was not shown a statistical difference by cultivation years, while 'Taeu' was shown to decrease tendency. The total dry matter yield regardless of the cultivation years were higher in 'Cheongwoo' than 'Taeu', and especially 'Cheongwoo' was more 3 tons per hectare (15.3 t/ha) than 'Taeu' (12.6 t/ha) at 2nd cultivation ($p<0.01$). The trend of dry weight in 'Cheongwoo', early mature type, showed a relatively high ratio of dry matter ($p<0.05$) was considered that due to a high panicle ratio by a fast heading and an adequate weight of panicles by a sufficient maturing. In conclusion, selecting the early maturity cultivars could achieve a higher and more stable total dry matter yield considering the cropping system in the central region. Furthermore, it also has the advantage of being able to double-cropping system with forage rice, which has considered the maximum whole-crop forage production year-round. These results suggest that the 'Cheongwoo' be optimum cultivar to produce the year-round forage on paddy fields in the central region.

(Key words: Cultivars, Dry matter yield, Feed value, Forage wheat, Paddy)

I. 서론

국내 육류 소비량의 지속적인 증가세에 따른 축산 농가의 조사료 수요는 꾸준히 늘어나는 추세이다. 국내 조사료 자급률은 80% 수준에 불과한 실정이며, 생산량 대부분은 남부지역에 국한되어 있다(MAFRA, 2018). 쌀 생산량 대비 1인당 쌀 소비량은 지속적인 감소 추세이며, 이로 인한 쌀 재고량 증가에 따른 정부의 재고 관리비 및 변동직불금 상승으로 정부 재정 부담이 가중되는 상황이다. 이에 정부는 '논 타작물 재배 지원사업'을 실시하는 등 조사료 자급률 향상을 도모함과 동시에 쌀 과잉 문제를 해소하고자 하였다(MAFRA, 2017). 논을 이용한 벼 대체 작물로 사료용 맥

류, 사료용 옥수수, 사료용 피 등을 포함한 다양한 작목의 재배가 검토되었으나, 논 배수 불량에 따른 습해 발생이 가장 큰 원인으로 수량 안정성이 크게 떨어져 재배 적합성을 만족하지 못하였다 (Kim and Lee, 1994; Lee et al., 1994; Kim et al., 2006).

사료용 벼는 논 기능을 유지하면서 조사료 자급률을 향상시킬 수 있는 수단으로 제시되어 왔는데, 논을 유지한다는 것은 홍수 조절, 토양보전 및 수질정화 등 공익적인 역할과 더불어 필요 시 밭 쌀용 벼 생산으로 전환이 용이한 다원적인 기능을 지속시킬 수 있는 이점이 있다(Eom et al., 1993; Sung et al., 2004; Choi et al., 2006; Kim et al., 2006; Yang et al., 2007; Yang et al., 2014). 국내 사료용 벼에 대한 연구로는 수확시기에 따른 건물수

[†]This author contributed equally to this work

*Corresponding author: Jeon Weon Tai, Department of Central Area Crop Science, NICS, RDA, Suwon, 16429, Republic of Korea, Tel: +82-31-695-0637, Fax: +82-31-695-0635, E-mail: jeon0tai@korea.kr

량 및 사료가치 성분 변화(Sung et al., 2004), 생육 시기 및 품종에 따른 수량 및 사료가치 성분 변화(Kim et al., 2007), 수확 시기 및 품종에 따른 총체 사일리지 품질 변화(Kim et al., 2008), 직파시기에 따른 수량 및 사료가치 변화(Kim et al., 2009), 수확 시기 및 품종별 수량성과 사료가치 성분 분석을 통한 최적 수확 시기 구명(Ahn et al., 2018) 등 다양한 접근을 통해 최적 조사료 생산성을 검증하기 위한 많은 연구들이 수행되어 있다.

사료용 맥류에 대한 연구로는 엽면적지수(leaf area index)나 엽중비(leaf weight ratio), 경엽비(leaf stem ratio)와 같은 여러 생장지표를 이용한 맥종별 생산성 분석(Gunn et al., 1999; Martens et al., 2001), 식물체 부위별 건물수량에 대한 기여도와 부위별 사료가치의 변화 조사(Kwon et al., 2008; Kwon et al., 2010), 수확 시기 및 생육 단계별 수량 및 품질 변화 분석(Song et al., 2009; Yun et al., 2009) 등 이외에도 다양한 접근으로 사료용 맥류의 생산성과 사료가치를 분석한 연구가 보고되어 있다. 또한, 최근 국내 조사료 수요 증가에 따른 원활한 공급과 자급률 확보를 위하여 사료용 밀 품종 개발 연구가 진행되어왔고, 현재 육성 된 사료용 밀 품종 중 총체수량성이 높으며 한해에 강한 다수성 계통으로 육성된 ‘청우’(Kim et al., 2015)에 이어 내한성이 강하고 사료가치가 우수한 사료용 밀 ‘태우’(Kim et al., 2019)가 개발되어 있다. 하지만, 논을 이용한 사료용 밀 재배 시 연차 간 건물수량성 및 사료가치 수준의 변이 등에 관한 연구는 미흡한 실정으로, 사료용 밀을 논에서 연차 간 평가하여 논 기능의 장점을 유지할 뿐만 아니라 사료용 벼와 이모작으로 연중 조사료 생산성을 최대화 할 수 있는 작부체계 설정을 위한 품종 평가 등 실증적인 분석 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구는 국내에서 사료용 밀로 개발 된 ‘청우’와 ‘태우’ 품종의 논 재배 시 생육 특성과 건물수량 및 사료가치 수준을 분석하여 논을 이용한 사료용 밀의 생산성과 사료이용가치에 관한 기초 자료를 확보하고자 한다. 이를 통해 사료용 밀의 숙기에 따른 사료가치 및 양분 전이 변화, 건물수량 및 사료가치 함량의 연차 간 변동성에 환경적 요인(온도, 강우)이 미치는 영향 등을 분석하여 중부지역에서 사료용 밀 생산성 최대화에 적합한 품종을 알아보고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 시험장소 및 품종

본 연구는 중부 평야지인 국립식량과학원 중부작물부 벼 재배시험 포장(수원, 37°27'N, 126°99'E, 해발 34 m)인 논토양(석천통: 식양질)에서 최근 육성 및 등록된 품종을 이용하

여 2019~2021년 동안 수행하였다. 품종은 총체 조사료용 밀 (*Triticum aestivum* L.) 조숙형 ‘청우’(Cheongwoo)와 만숙형 ‘태우’(Taeu)를 이용하였다.

2. 재배방법

2019년과 2020년에 청우와 태우 품종을 휴립광산파로 파종량 22 kg/10a, 휴폭과 파폭을 150×120 cm로 하여 파종하였다. 시비 방법은 N-P₂O₅-K₂O : 11.8-7.4-3.9 kg/10a로 질소는 기비 50%, 추비 50%로 나누어 시비하였다. 사료용 밀의 숙기에 따른 생육 특성, 건물수량, 사료가치 평가를 위한 재배를 1년차(2019년 10월 22일 ~ 2020년 5월 25일)와 2년차(2020년 10월 21일 ~ 2021년 5월 24일)로 수행하였고, 조사 당시 각 품종의 숙기는 조숙형 청우(1년차; 출수 후 35일, 2년차; 출수 후 33일)가 황숙기 후기 그리고 만숙형 태우(1년차; 출수 후 22일, 2년차; 출수 후 20일)가 황숙기 초기에 수행되었다. 시험 밀 품종 생육조사는 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준에 의거 출수기, 초장, 경수, 생산성 등을 조사하였다(RDA, 2012).

3. 생육 특성, 건물수량 조사 및 기상자료 수집

품종별 수확기에 0.5 m² 내의 식물체로 초장, 수장, 간장, 경수 등을 조사하였고, SPAD (SPAD-502plus, KONICA MINOLTA Inc., Japan) 값은 완전히 전개된 최상위 엽에서 측정하였다. 생체중은 식물체를 뿌리와 함께 완전히 채취하여 상온에서 30분 간 표면의 수분을 제거시킨 뒤 토양 및 뿌리 등을 제거한 직후 지상부의 생체중을 측정하였고, 이 후 순환식 건조기에서 70℃로 72 시간동안 건조시킨 시료의 건물중을 측정하였다. 측정된 생체중 및 건물중 값을 통해 단위면적 당 생체수량과 건물수량으로 환산하였다. 같은 방법으로 식물체를 채취하여 지상부를 줄기, 잎, 이삭 부분으로 절단한 후 부위별 생체중을 측정하였고, 각각 건조시킨 후 부위별 건물중을 측정하였다. 건물비율 및 식물체 부위별 비율은 아래의 식으로 산출하였다.

$$i) \text{ Ratio of dry matter (\%)} = \text{dry weight (g)} / \text{fresh weight (g)} \times 100$$

$$ii) \text{ Ratio of plant part (\%)} = \text{plant part dry weight (g)} / \text{total shoot dry weight (g)} \times 100$$

기상자료는 기상청 기상자료개방포털에서 2020년과 2021년의 수원지역(위도: 37.25746, 경도: 126.983) 자료를 수집하였고 사료용 밀의 생육재생기인 2월 20일부터 수확기인 5월 25일까지의 일평균기온과 일강수량 자료(Fig. 1A)를 이용하여 누적온도와 누적강수량을 산출하였다(Fig. 1B).

Evaluation of Biomass and Feed Value of the Forage Wheat in Paddy

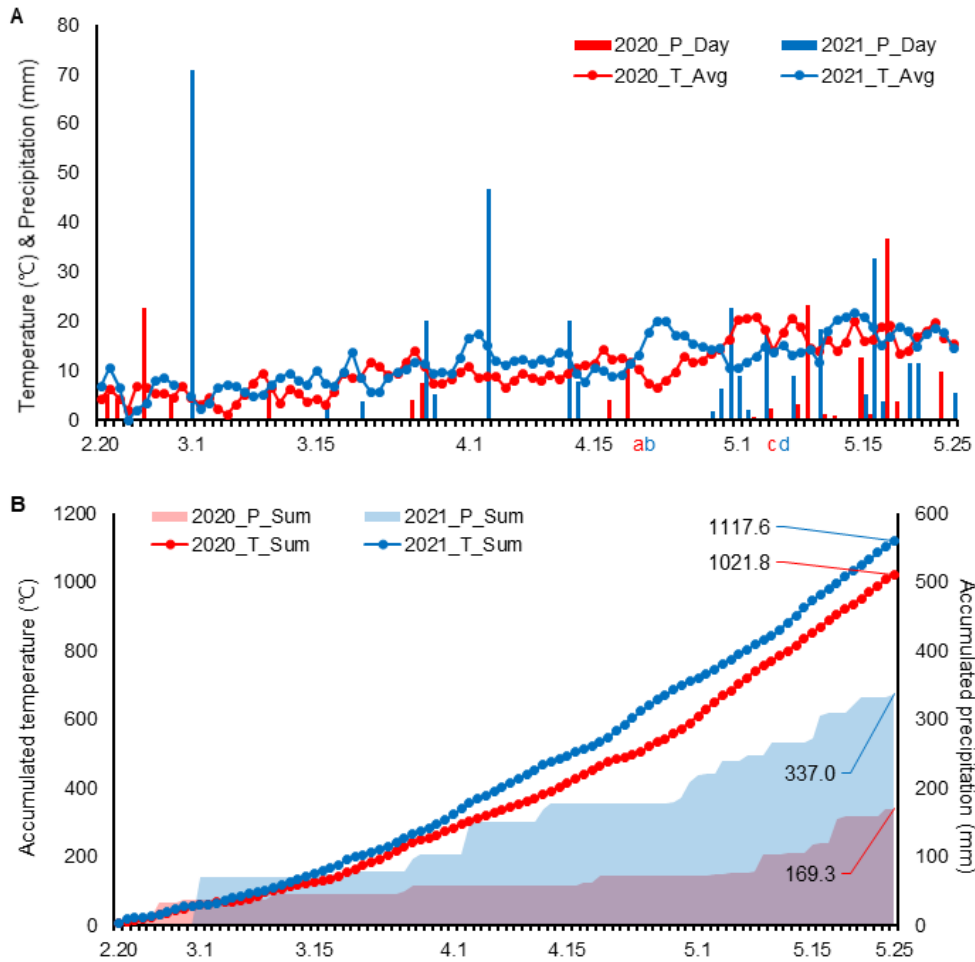


Fig. 1. Suwon area climate from the end of winter dormancy stage to the harvesting stage. A) The bar and dotted line represent a precipitation per days and an average daily temperature, respectively. B) The area and dotted line represent an accumulated precipitation and temperature, respectively. The red and blue color means the measured values at 2020 and 2021 year, respectively. a and b; heading date of 'Cheongwoo', c and d; heading date of 'Taeu'.

4. 사료가치 분석

사료가치 분석을 위한 시료는 식물 부위별로 분리한 뒤 건조기에서 70°C로 72시간 건조시킨 후 분쇄한 시료를 이용하였다. 분석항목으로 조단백질(CP; crude protein), 중성세제불용성섬유(NDF; neutral detergent fiber), 산성세제불용성섬유(ADF; acid detergent fiber)를 대상으로 한국농업기술진흥원(전 농업기술실용화재단)에 의뢰하여 분석을 수행하였다. CP 함량은 습식 분해 후 켈달법(Kjeldahl method)으로 총질소 함량을 구한 뒤 6.25를 곱하여 산출하였고, NDF와 ADF는 Van Soest 세제법으로 분석하였다(Van Soest et al., 1991). 가소화양분총량(TDN; total digestible nutrient)은 ADF함량을 이용한 공식으로 산출하였고, 상대적 사료가치(RFV; relative feed value)는 NDF 및 ADF 함량을 이용하여 산출한 가소화건물(DMD; dry matter digestibility)과 건물섭취량(DMI; dry matter intake)을 통해 산출하였다(Lee

et al., 2005). 계산 공식은 다음과 같다.

$$\text{iii) TDN} = 88.9 - [\text{ADF}(\%) \times 0.79]$$

$$\text{iv) DMD} = 88.9 - [\text{ADF}(\%) \times 0.779]$$

$$\text{v) DMI} = 120 / \text{NDF}(\%)$$

$$\text{vi) RFV} = (\text{DMD} \times \text{DMI}) / 1.29$$

5. 통계 분석

시험 결과의 통계분석은 SPSS 27.0 통계 분석 프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 조사 항목 간 유의성은 paired two tailed Student's *t*-test를 수행하여 5% 유의수준에서 통계적인 차이를 검정하였고, 각 처리구별 유의성은 분산분석(ANOVA)을 실시하여 Duncan's multiple range test(DMRT)에 의한 5% 유의수준에서 시험구 간의 통계적인 차이를 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 사료용 밀의 품종 간 연차별 생육 특성

사료용 밀의 품종에 따른 연차 간 출수 관련 특성은 Table 1에 서 보는 바와 같다. 조숙형 ‘청우’의 출수소요일수는 1년차(2019 ~ 2020년 재배)에 182일, 2년차(2020 ~ 2021년 재배)에 185일이 었고 만숙형 ‘태우’는 각 195일과 196일이었다. 품종 간 출수소 요일수의 차이는 11~13일 정도 차이가 났고 연차 간에는 ‘청우’ 에서 3일, ‘태우’에서 1일로 2년차 재배에서 출수가 지연되었 다. 출수소요일수의 연차 간 차이가 품종별로 3일과 1일에 불과 하지만, 파종-출수 간 적산온도는 ‘청우’의 경우 1년차에서 1004.4℃, 2년차에서 1100.8℃로 1년차보다 96.4℃ 많았고, ‘태우’ 의 경우도 마찬가지로 연차별 1169.2℃, 1256.3℃로 1년차에 비해 2년차에서 87.1℃ 많은 것으로 나타나 1년차보다 2년차 재배기간 동안의 일평균기온이 더 높았던 것을 확인하였다.

재배 1년차 수확기의 초장과 경수는 ‘청우’에서 각 평균 97.8 cm와 1,183 개/m²로 (Kim et al., 2015)에서 보고한 ‘청우’의 91 cm, 1,070 개/m²보다 초장과 경수가 약간 높은 경향이었다. ‘태 우’에서는 102 cm와 579 개/m²로 (Kim et al., 2019)에서 보고한 ‘태우’의 98 cm, 562 개/m²보다 약간 높은 경향으로 두 품종 모

두 앞서 보고 된 생육 수준과 큰 차이는 없었고, 본 시험의 ‘청우’ 와 ‘태우’ 간 초장($p<0.001$)과 경수($p<0.01$) 모두 통계적으로 유 의한 차이를 보였다(Fig. 2). 그러나, 재배 2년차에서는 두 품종 모두 초장은 증가하고 경수는 감소하였는데, 초장은 ‘청우’ 105.3 cm와 ‘태우’ 118.7 cm로 전년대비 각 7.5 cm와 16.7 cm 가량 증가되었으며, 반대로 경수는 ‘청우’ 869 개/m²와 ‘태우’ 447 개 /m²로 각 314 개/m²와 132 개/m² 가량 감소되었다. 비록, 품종 내 연차 간 초장과 경수의 증감이 발생하였더라도, ‘1년차의’ ‘태 우’에서 초장이 크고 ‘청우’에서 경수가 많은 경향이 2년차에서 도 동일하게 나타났다($p<0.001$).

간장, 수장, 생체수량 및 SPAD 값으로 조사한 생육 특성에서, 간장과 수장을 제외한 나머지 특성은 품종 간 유의성이 없는 ($p>0.05$) 것으로 나타났다(Table 2). 재배 1년차의 간장은 ‘청우’ 90.8 cm, ‘태우’ 89.2 cm로 유의한 차이가 없었으나($p>0.05$), 2년차 재배에서는 두 품종 모두 간장이 증가하여 ‘청우’, ‘태 우’ 각 97.9 cm, 104.2 cm로 품종 간 유의한 차이를 나타내었다 ($p<0.001$). 수장의 경우 1년차 재배의 ‘청우’에서 7.1 cm로 ‘태 우’의 13.2 cm보다 작았으며, 이는 재배 2년차에서도 ‘청우’, ‘태 우’ 각 7.4 cm, 14.5 cm로 연차 간 유사한 수준을 보였고 품종 간 수장에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p<0.001$). 생체

Table 1. Date of two forage wheat cultivars from seeding to harvesting (Suwon, Korea, 2019-2021)

Year	Cultivar (maturity)	(A) Seeding date (mm.dd)	(B) Heading date (mm.dd)	Days from (A) to (B)	Harvesting date (yy.mm.dd)	Accumulated temp. (°C) from (A) To (B)
2019	Cheongwoo	10.22	04.20	182	20.05.25	1004.4
2020	(early)	10.21	04.21	185	21.05.24	1100.8
2019	Taeu	10.22	05.03	195	20.05.25	1169.2
2020	(late)	10.21	05.04	196	21.05.24	1256.3

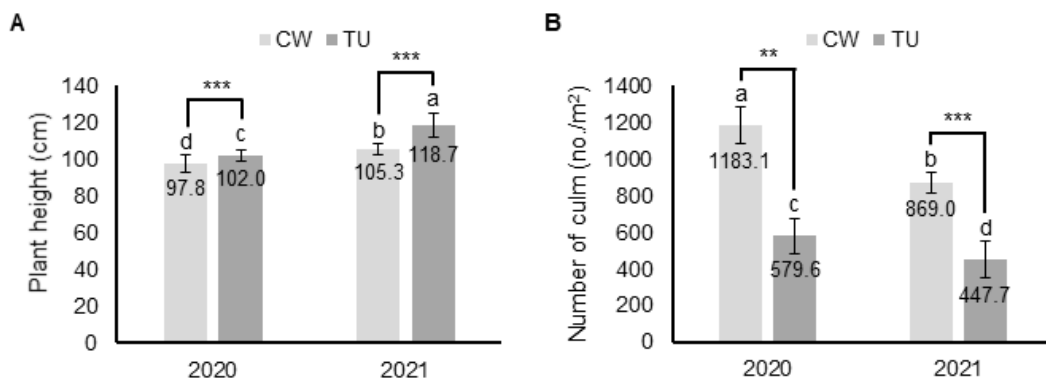


Fig. 2. Comparison with growth characteristics by cultivars and cultivation year. A) Relative plant height and B) number of culm. Data represent means \pm standard deviation. Asterisks indicate significant differences at p -value (** <0.01 , *** <0.001 , ns = non significant) by independent two sample t -test. Different letters (a-d) within the column indicate statistically significant differences among the samples according to Duncan's multiple range test ($p<0.05$). CW; Cheongwoo and TU; Taeu.

Table 2. Analysis of the growth characteristics by each year

Harvesting year	Cultivar	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	Fresh matter yield (t/ha)	1st leaf SPAD value
2020	Cheongwoo	90.8±4.32 ^{c1)}	7.1±0.93 ^c	43.6±3.37 ^{ns}	46.6±5.03 ^{ns}
	Taeu	89.2±3.00 ^c	13.2±0.96 ^b	46.9±9.65	46.0±5.87
	<i>t</i> -test ²⁾	ns	***	ns	ns
2021	Cheongwoo	97.9±3.46 ^b	7.4±0.78 ^c	48.0±4.66	47.5±4.53
	Taeu	104.2±6.39 ^a	14.5±1.48 ^a	45.0±5.28	48.1±4.62
	<i>t</i> -test	***	***	ns	ns

1) Duncan's multiple range test ($\alpha = 0.05$), 2) Student's *t*-test (** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$) and ns means non-significant.

수량은 재배연도 간에 ‘청우’는 43.6 t/ha에서 48.0 t/ha로 다소 증가했으나, ‘태우’는 46.9 t/ha에서 45.0 t/ha로 약간 감소하는 경향이였다. 지엽의 SPAD 값은 ‘청우’, ‘태우’ 모두 재배연도 간에 2년차에서 약간 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나, 생체수량과 SPAD 값은 재배 1년차와 2년차 모두 품종 간 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$).

2. 사료용 밀의 품종 간 연차별 부위별 비율 및 건물수량

사료용 밀 품종으로 개발된 ‘청우’와 ‘태우’의 생산량과 사료 가치를 평가하기 위해 사료가치에 영향을 미치는 식물체 부위 비율과 건물수량 및 건물비율을 조사하였다(Fig. 3). 재배 연도별로 ‘청우’에서 줄기의 비율이 1년차에 54.3%, 2년차에 63.5% 그리고 ‘태우’에서 58.5%, 64.0%로 전체 식물체 부위 중 가장 많은 비율을 차지했으며, 그 다음으로 이삭이 각각 ‘청우’ 35.8%, 29.6%와 ‘태우’ 27.7%, 23.7%였고, 잎의 비율은 각각 ‘청우’ 9.9%, 6.9%와 ‘태우’ 13.8%, 12.3% 순으로 ‘청우’가 이삭의 비

율이 높았고 ‘태우’가 줄기와 잎 비율이 높았다(Fig. 3A). 조사료의 사료가치 수준에 큰 영향을 미치는 CP는 맥류의 식물체 부위 중 앞에서 함량이 가장 높고, 줄기에는 10% 미만에 불과한 것으로 보고되어 있다(Shin and Kim, 1995; Kwon et al., 2008). 이러한 식물체 CP 함량은 출수 후 일수가 경과할수록 낮아지는 것으로 알려져 있지만(Hwang et al., 1985; Kwon et al., 2008), ‘청우’를 포함한 총체 사료용으로 개발된 밀 품종들의 경우, 곡실 사료가치 함량 수준이 사료용 옥수수를 대체할 수 있는 우수한 수준인 점(Baek et al., 2020) 등을 고려할 때, 잎 비율이 상대적으로 3.9-5.4%p 높은 ‘태우’보다 오히려 이삭의 비율이 5.9-8.1%p 높은 ‘청우’가 총체 사료용으로 더 적합한 것으로 보인다. 또한, 조사료의 품질을 저하시키는 NDF 및 ADF 함량은 맥류의 줄기에 가장 많이 분포하고 다음으로 잎 순이라고 하였다(Kwon et al., 2008). 따라서, 사료용 작물에서는 줄기나 잎의 비율보다 수확기 이삭의 비율이 높을수록 우수한 사료가치를 확보하기 때문에 출수 후 곡실로의 양분전이가 중요한 요인이 될 수

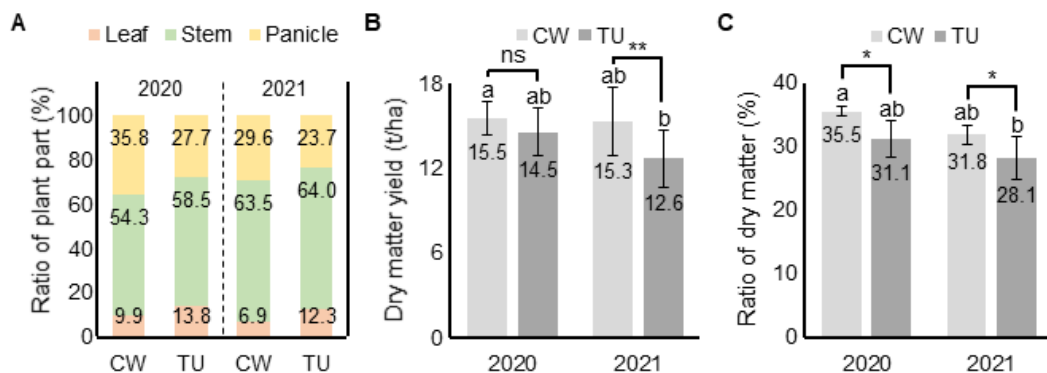


Fig. 3. Comparison with the components related to the dry matter yield by cultivars and cultivation year. A) Ratio by part of stem, leaf, and panicle calculated using dry weight. B) Relative dry matter yield and C) ratio of dry matter. Data represent means \pm standard deviation. Asterisks indicate significant differences at *p*-value (* < 0.05 , ** < 0.01 , ns = non significant) by independent two sample *t*-test. Different letters (a-b) within the column indicate statistically significant differences among the samples according to Duncan's multiple range test ($\alpha < 0.05$). CW; Cheongwoo and TU; Taeu.

있으며 이러한 점으로 미루어 볼 때, 상대적으로 ‘태우’보다 이삭의 비율이 높은 ‘청우’가 조사료로 적합할 것으로 판단된다.

두 품종의 건물수량은 ‘청우’가 1년차에 15.5 t/ha로 ‘태우’ 14.5 t/ha보다 헥타르 당 1톤 가량 많지만 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않은($p>0.05$) 반면, 2년차에서는 ‘청우’의 건물수량이 15.3 t/ha로 ‘태우’ 12.6 t/ha보다 유의하게($p<0.01$) 높은 것으로 나타났다(Fig. 3B). 건물로 전환되는 비율 역시 마찬가지로, ‘청우’에서는 1년차 35.5%, 2년차 31.8%였고 ‘태우’는 1년차 31.1%, 2년차 28.1%로 재배연도에 관계없이 모든 연차에서 ‘청우’가 높은($p<0.05$) 것으로 조사되었다(Fig. 3C). 건물비율이 두 연차에서 모두 통계적으로 차이를 보임에도 건물수량에서 연차 간 유의성에 차이를 보이는 것은 표본 간 편차에 기인한 것으로, 개별 식물체가 각각 내포하고 있는 수분함량의 변이 수준보다 각 식물체 간 당시 작황 조건에 의존적인 생산성의 변이 수준이 더 큰 것이 요인일 것이라 판단된다. 또한, ‘청우’는 중립종이면서 타 품종 대비 낮은 천립중으로 같은 양으로 파종 시 상대적으로 많은 종자 수로 인해 높은 경수를 확보하여(Baek et al., 2020) 안정적인 건물중을 보인 것에 비해, ‘태우’는 대립종이면서 ‘청우’ 대비 낮은 경수로 인해 상대적으로 적은 건물중을 보이는 것으로 사료된다. 또한, 밀에서 출수 후 일수가 경과할수록 줄기보다 이삭의 건물중이 건물수량에 대한 기여도가 상승한다(Kwon et al., 2010). 따라서, 이삭의 비율이 상대적으로 높았던(Fig. 3A) ‘청우’에서 ‘태우’보다 높은 건물수량을 나타낸 것으로 보인다.

3. 사료용 밀의 품종 간 연차별 사료가치 조사

숙기가 서로 다른 ‘청우’와 ‘태우’의 식물체 부위별 조사료 가

치를 알아보기 위해 수확기에 잎, 줄기, 이삭 부분으로 나누어 CP, NDF, ADF를 분석하고, TDN과 RFV를 산출하였다(Table 3). 연차 간 CP 함량은 품종에 관계없이 잎>이삭>줄기 순으로 많았다. 부위별로 연차 간 경향을 보면, 먼저 잎의 CP 함량은 1년차 ‘청우’와 ‘태우’가 각각 11.15%, 12.17%로 ‘태우’가 1.05%p 높은 수준을 보인 반면, 2년차에서는 반대로 ‘청우’, ‘태우’ 각 19.20%, 16.85%로 ‘청우’가 2.35%p 더 높은 수준을 보이는 등 연차 간 변동성을 보였고, 줄기의 경우에는 1년차의 ‘청우’ 및 ‘태우’가 각각 2.87%, 3.73%였고, 2년차는 4.30%, 4.56%로 ‘태우’에서 CP 함량이 더 높은 경향이 연차 간 동일하게 나타났다. 또한, 이삭의 경우는 1년차 ‘청우’, ‘태우’가 각 11.02% 및 10.11%, 2년차는 11.18% 및 10.2%로 ‘청우’에서 더 높은 경향이 연차 간 동일하게 나타났다. 조사료의 섭취율과 소화율에 영향을 미치는 주요 성분인 NDF 및 ADF 함량은 ‘청우’에서 줄기>잎>이삭 순으로 높은 경향이 연차 간에 유지되었다. ‘태우’의 경우, 1년차 재배에서는 앞에서 가장 많았고 2년차에서는 줄기에서 가장 많은 등 연차 간 변동성을 보였다. 사료가치를 평가하는데 주로 이용되는 TDN 함량과 RFV는 사료 품질을 저하시키는 NDF와 ADF 함량과 밀접한 연관이 있다. 사료 등급이 우수하기 위해서는 NDF와 ADF 함량이 적을수록 유리한데, 부위별로 NDF 및 ADF 함량이 가장 적었던 이삭에서 주로 TDN 함량 및 RFV가 높게 나왔으며, 이는 연차에 관계없이 ‘청우’가 ‘태우’보다 높은 것으로 나타났다. 총체 사료용 밀에서, 이삭의 사료가치가 수확이 지연될수록 종실의 등숙 진행으로 전분질 등을 포함한 양분의 축적으로 인해 ADF 함량이 감소되고 CP 함량은 증가하는 것으로 보고되었다(Kwon et al., 2008). 따라서, 본 연구 조사

Table 3. Comparison with feed value of the two whole-crop forage wheat cultivars by plant parts and cultivation years

CY ¹⁾	HD ²⁾	Cultivar	DAH ³⁾	Parts	CP ⁴⁾ (%)	NDF ⁵⁾ (%)	ADF ⁶⁾ (%)	TDN ⁷⁾ (%)	RFV ⁸⁾
2019-2020	05.25	Cheong-woo	35	Stem	2.87	54.00	28.08	66.72	115.46
				Leaf	11.15	50.54	25.78	68.53	126.66
				Panicle	11.02	31.06	12.90	78.71	236.15
		Taeu	22	Stem	3.73	47.04	24.34	69.67	138.31
				Leaf	12.17	53.69	27.13	67.46	117.41
				Panicle	10.11	40.86	19.44	73.54	167.93
2020-2021	05.24	Cheong-woo	33	Stem	4.30	51.27	30.31	64.96	118.47
				Leaf	19.20	40.73	21.72	71.74	164.42
				Panicle	11.18	37.42	19.26	73.69	183.72
		Taeu	20	Stem	4.56	54.09	31.33	64.15	110.91
				Leaf	16.85	49.00	27.13	67.46	128.64
				Panicle	10.20	51.61	27.41	67.24	121.74

1) Cultivation year, 2) Harvesting date, 3) Days after heading, 4) Crude protein, 5) Neutral detergent fiber, 6) Acid detergent fiber, 7) Total digestible nutrient, 8) Relative feed value.

당시 황숙기 후기(DAH 33~35)였던 ‘청우’가 황숙기 초기(DAH 20~22)였던 ‘태우’보다(Table 3) 13일 빠른 등숙이 곧 이삭 비율의 상승으로 이어지면서(Fig. 3A), 조숙형 ‘청우’의 NDF와 ADF 함량이 만숙형 ‘태우’보다 장기간 더 많이 감소한 것으로 사료된다. 등숙이 진행됨에 따라 발생하는 이삭의 양분 전이 기간이 ‘태우’보다 길었던 ‘청우’에서 높은 TDN 함량과 RFV 값을 가질 수 있었던 것으로 판단된다.

조사료로 이용되는 총체(whole plant)의 사료가치를 분석하여 품종 간 차이와 연차 간 성적을 비교하였다(Fig. 4). 품종 간 1년차 성적에서, ‘청우’와 ‘태우’의 각 CP 함량은 6.4%, 5.5%로 ‘청우’에서 높은 수준을 보였고($p < 0.01$), NDF와 ADF 함량은 각각 39.6%, 45.3%로 ‘청우’에서 낮은 함량을 보였으며($p < 0.01$), 이에 따른 TDN 함량이 73.7%, 70.4% 그리고 RFV는 174.0, 145.0 값으로 산출되어 ‘청우’가 ‘태우’보다 높은 사료가치를 보인 것을 통계적으로 유의한 수준에서 확인하였다($p < 0.01$). 하지만, 2년차 성적은 품종에 관계없이 CP, NDF 및 ADF 함량이 전반적으로 상승하였는데, 특히 ‘청우’에서 큰 폭으로 증가하여 1년차에서 보였던 각 함량의 품종 간 유의한 차이가($p < 0.05$) 2년차에서는 감소하여 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). DMRT (Duncan’s multiple range test) 사후검정으로 수행한 분산분석을 통해 연차 간 NDF 함량과 ADF 함량이 품종에 관계없이 1년차 재배와 2년차 재배 즉, 연차 간 차이가 있는 것으로 나타났고($p < 0.05$), 이에 따른 TDN 함량과 RFV 값 역시 차이를 보이는 것을 확인하였다($p < 0.05$). 각 품종의 연차별 상대사료가치(RFV)를 미국 건초

시장에서 이용하고 있는 조사료 품질 평가 기준과 비교하면 (Marsalis et al., 2009), 1년차 재배의 ‘청우’는 최우수 등급에 부합하고 ‘태우’는 1등급에 속했지만, 2년차 재배에서 ‘청우’와 ‘태우’ 모두 2등급 수준이었다. 결과적으로, 연차 간에 사료가치 함량의 변화가 발생했고, 이로 인해 1년차 재배에서 보였던 우수한 사료가치 수준이 2년차 재배에서는 다소 낮아졌으며, 1년차에서 상대적으로 ‘청우’에서 우수했던 사료가치 수준이 2년차에서는 품종 간 차이가 없는 것으로 나타났다. 부위별 사료가치 분석 시 1년차 줄기 부위를 제외한 나머지 부위와 2년차의 모든 부위에서 ‘청우’의 TDN 함량과 RFV가 ‘태우’보다 더 높은 것으로 나타났지만(Table 3), 연차 간 식물체 부위별 함량 조사(Fig. 3A)에서 1년차보다 2년차 재배의 이삭과 잎 감소 및 줄기 증가의 변화량이 ‘태우’보다 ‘청우’에서 더 컸던 결과로 인해 총체 사료가치 분석 시료에 포함된 줄기의 비율이 높아졌기 때문에 부위별로 각각 분석한 사료가치와 총체를 분석한 사료가치 간 차이가 난 것으로 판단된다. 따라서, 1년차 재배에서 총체의 사료가치가 최우수 등급인 ‘청우’가 1등급인 ‘태우’보다 더 우수한 것으로 조사되었으나, 2년차 재배에서는 ‘청우’와 ‘태우’ 모두 2등급으로 총체 사료가치 간에 등급 차이가 없었다. 이러한 점으로 미루어 볼 때, 사료가치가 동일한 등급이라면 생산량 측면에서 ‘청우’가 ‘태우’보다 모든 연차의 건물수량이 더 높았기 때문에(Fig. 3B) 종합적으로 ‘청우’의 조사료 생산성이 ‘태우’보다 우수한 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합하면, 사료용 밀의 1년차 재배와 2년차 재배의 생육이 전반적으로 차이를 보였다. ‘청우’와 ‘태우’ 모두 경

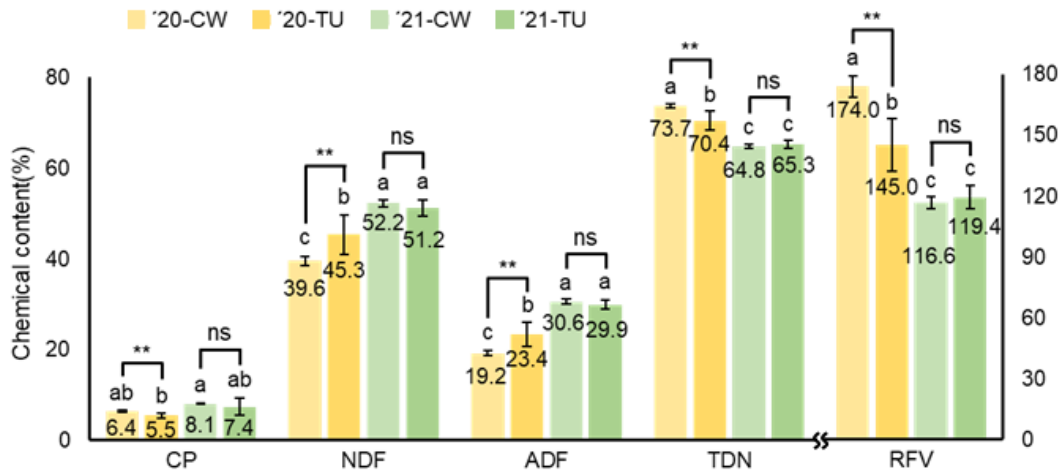


Fig. 4. Comparison with feed value of whole plant part after harvesting by cultivation years and cultivar. Data represent means and standard deviation each chemical composition. Asterisks indicate significant differences at p -value (** < 0.01 and ns = non significant) by independent two sample t -test. Different letters (a-c) within the column indicate statistically significant differences among the samples according to Duncan’s multiple range test ($p < 0.05$). CP; crude protein, NDF; neutral detergent fiber, ADF; acid detergent fiber, TDN; total digestible nutrient, RFV; relative feed value, ‘20; 2020 harvested sample, ‘21; 2021, CW; Cheongwoo and TU; Taeu.

수, 이삭 비율, 건물 비율 등이 2년차에서 비슷한 경향으로 감소했고 초장, 간장, 수장은 증가하는 등 연차 간 변동성을 보였다 (Tables 1 and 2; Figs. 2 and 3). 이러한 변동성은 환경적 영향이 크게 작용했을 것으로 판단된다. 특히, 중부지역의 동계 밀 파종 후 생육재생기인 2월 하순(2월 20일)에서 수확기인 5월 하순(5월 25일) 동안 내린 총강우량이 2020년(1년차)에 169.3 mm인 것에 비해 2021년(2년차)에 337 mm로 약 2배 많았고, 같은 기간 동안 일평균온도를 합산했을 때, 1년차 1021.8℃에 비해 2년차는 1117.6℃로 더 높았다(Fig. 1).

작물의 생리적 측면에서 침수 피해는 뿌리 호흡을 감소, 지상부 및 지하부 간 대사 불균형, 광합성 효율 감소, 식물 호르몬의 급격한 변화 등을 초래하고(Liao and Lin, 2001), 밀에 침수 처리 시 생육 불량에서 수량 감소에 이르기까지 심각한 피해를 받는 것으로 보고되었다(Davies and Hillman, 1988; Sharma and Swarup, 1988). 밀 생육기의 온도가 1℃ 상승 시 수량은 약 3-10% 수준 감소한다고 보고되었고(You et al., 2009), 일반적인 작황보다 강우량이 50% 이상 높을 시 동계 밀의 생산성은 크게 감소하며, 특히 등숙기의 강우량은 수량 변동성의 70-78%를 설명할 수 있다고 하였다(Song et al., 2019). 본 연구의 생육재생기 이후 고온의 영향으로 1년차보다 2년차 재배에서 발달적 측면의 생육은 증가했지만, 지속된 고온으로 인해 수량성에 부정적 영향을 미쳤을 것으로 판단된다(You et al., 2009). 또한, 1년차 대비 2배 많은 강우량을 보인 2년차에서 과량의 강우가 생산성 감소에 영향을 미쳤을 것으로 보이며(Song et al., 2019), 특히 출수 이후 적절한 등숙이 이뤄져야 할 시기에 2년차에서 1년차보다 더 잦은 강우로 인해 줄어든 일조량 및 과습 조건에 따른 생리적 측면의 이삭 비율이나 건물비율 및 건물수량 등 수량에 연관된 요소의 저하가 발생한 것으로 사료된다.

그러나, 2년차 재배에서 두 품종 모두 전년 대비 높은 온도와 많은 강우에 노출되었더라도, '청우'의 건물수량은 1년차와 비슷한 수준을 2년차에서도 보인 반면, '태우'는 1년차보다 2년차의 건물수량이 큰 폭으로 감소하였다. 2년차 재배에서 '청우'와 '태우'의 출수기는 각각 4월 21일과 5월 4일로 기상청에서 공시한 수원지역의 강우 자료와 비교하면(Fig. 1A) '청우'는 출수기를 포함한 출수기 직전 4일과 직후 7일 동안 강우가 없어 출수기와 유숙기 초기에 기상이 적절했던 것에 비해 '태우'는 출수기 및 출수기 전·후로 잦은 강우에 노출되면서 과습한 조건에서 출수와 유숙이 진행됨에 따라 이삭의 형성과 등숙에 부정적인 영향이 미쳤을 것으로 추측된다. 이는 조숙형 '청우'가 만숙형 '태우'에 비해 이삭의 빠른 출수 및 등숙으로 인해 상대적으로 출수 이후 스트레스에 노출된 기간이 짧아서, '청우'가 '태우'보다 건물수량이 안정적으로 확보될 수 있었기 때문일 것으로 사료된다. 따라서, 환경적 스트레스 중 특히 강우 피해에 대하여 수량을 생산하는

측면에서 '청우'가 '태우'보다 유리했던 것으로 판단된다. 다만, 사료의 가치적 측면에서는 연차 간 변동성이 품종에 관계없이 모두 발생하였고, 1년차보다 온도가 높고 강우량이 많았던 2년차 재배에서 두 품종 모두 사료가치가 낮아진 결과를 보였다(Table 3; Fig. 4). 이는 아마도 발달 및 형태학적인 요소와는 별개로 사료가치 함량에 관여하는 생리학적 측면의 환경적 요소에 대한 감응 정도는 청우와 태우의 품종에 따른 차이 없이 서로 비슷한 수준일 것으로 판단된다. 향후 환경 스트레스에 대한 생육 특성과 수량성 및 사료가치에 대한 정밀한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 수량성 측면에서, 10월 하순부터 이듬해 5월 하순까지 동일한 기간 동안 재배했을 시 조숙형 '청우'가 만숙형 '태우'보다 건물수량이 많았다(Fig. 3B). 본 연구의 재배 기간 설정은 중부지역의 밭살용 벼 또는 사료용 벼 재배에 영향을 미치지 않는 수준에서 논을 이용한 사료용 밀의 생산성을 증대시키고자 하였다. 이러한 목적에 있어 만숙형 '태우'는 재배 기간을 충분히 확보한다면 '청우'보다 건물수량이 높을 순 있겠으나(Kim et al., 2019), 중부지역에서 벼와 이모작에는 재배 기간이 경합하게 되는 점을 감안하면, 본 연구에서 확인한 결과에 따라 '태우'보다 '청우'의 수량성이 높고 벼와 이모작이 가능한 장점이 있어 중부지역 논 이용 조사로 생산 증대에 조숙형 '청우' 품종을 재배하는 것이 만숙형 '태우' 품종보다 더 적합한 것으로 판단된다.

IV. 요약

중부지역에서 사료용 밀의 건물 생산 특성 및 사료가치를 평가하기 위하여 국립식량과학원 중부작물부 수원 벼 재배 시험 포장에서 최근 육성·등록된 '청우'와 '태우' 품종을 이용하여 2년간 수행하였다.

사료용 밀 품종 조숙형 '청우'와 만숙형 '태우'의 숙기에 따른 출수기는 11-13일 정도 차이를 보였다. 동일 품종 내 연차 간 출수기는 1년차에 비해 2년차 재배에서 '청우'가 3일, '태우'가 1일 지연되었다. 초장은 약 4-12%, 수장은 85-95% 정도 '태우'가 길었고($p < 0.001$), 경수는 '청우'에서 약 94-104% 정도 많았다($p < 0.001$). 생체수량은 1년차 재배 시 '태우'가, 2년차 재배 시 '청우'가 많은 것으로 연차 간 상반된 양상을 보였으나 통계적인 차이는 없었다. 그러나, 건물수량은 연차에 관계없이 '청우'에서 많았고, 특히 2년차 재배에서 헥타르 당 3톤 가량 많은 15.3 t/ha로 '태우' 12.6 t/ha 보다 '청우'에서 약 21% 가량 높은 것으로 조사되었다($p < 0.01$). 이러한 건물수량 양상은 '청우'가 '태우'에 비해 건물비율($p < 0.05$)이 높으며, 조숙형 품종으로써 상대적으로 긴 등숙기간으로 인해 적정 이삭 수량을 확보할 수 있었기 때문이라고 판단된다.

식물체 부위별 사료가치 함량 분석 시, 1년차 재배의 줄기 부분을 제외한 나머지 잎, 이삭 및 2년차 재배의 모든 부위에서 소화양분총량(TDN)과 상대적사료가치(RFV)가 ‘청우’에서 높은 것으로 확인되었다. 다만, 총체의 사료가치 분석 결과에서 1년차 재배 시 ‘태우’보다 ‘청우’에서 높았던($p<0.01$) 값이 2년차에는 품종 간 차이를 보이지 않았다. 본 연구의 생육 특성과 수량성 및 사료가치 함량 등 조사를 수행한 대부분의 항목에서 연차 간 성적의 변동성을 보였는데, 이는 사료용 밀의 생육재생기에서 수확 기까지의 기간 동안 큰 차이를 보였던 연차 간 환경적 요인 즉, 1년차에 비해 2년차에서 더 높았던 평균기온과 2배 가량 많았던 강우량 등의 영향인 것으로 생각된다. 비록 연차 간 성적이 환경적 영향에 의해 변동성을 보이더라도, 조사료로써 이용하기 위해 중요한 항목인 건물수량이 상대적으로 많으면서 연차 간 수량의 변동성이 적었던 ‘청우’가 조사료 생산에 더 적합할 것으로 판단된다.

따라서 중부지역의 작부체계를 고려하여 10월 하순 동계 사료용 밀 파종 후 이듬해 5월 하순까지 재배할 시 조숙형 품종을 재배하는 것이 안정적인 건물수량 확보에 유리하며, 이삭으로의 저장 양분의 전류가 많아 사료가치를 높일 수 있는 것으로 판단된다. 또한, 후작으로 사료 벼를 이모작으로 재배 시 조생종인 ‘청우’ 품종이 중부지역에서 사료용 밀-사료용 벼 이모작 재배 시 적합한 품종으로 사료된다.

V. 사사

본 논문은 농촌진흥청 작물시험연구사업(사업번호 : PJ01438102)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

VI. REFERENCES

- Ahn, E.K., Won, Y.J., Park, H.M., Jung, K.H. and Hyun, U.J. 2018. Feed value and yield potential of main whole-crop silage rice cultivars with harvesting time in the central plains of Korea. *Korean Journal of Crop Science*. 63(4):294-303.
- Baek, Y.C., Choi, H., Kim, M.S. and Park, J.H. 2020. Selection and feed value evaluation of wheat for grain feed at the paddy field in Honam region. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*. 21(3):156-163.
- Choi, J.S., Baek, J.S., Park, H.H., Jung, Y.G., Lee, J.J., Park, G.H., Yang, S.J. and Kim, J.G. 2006. Breeding for whole crop rice silage & winter forage crops in Korea. *Proceedings of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. pp. 87-105.
- Davies, M.S. and Hillman, G.C. 1988. Effects of soil flooding on growth and grain yield of populations of tetraploid and hexaploid species of wheat. *Annals of Botany*. 62:597-604.
- Eom, K.C., Yun, S.H., Hwang, S.W., Yun, S.G. and Kim, D.S. 1993. Public benefic from paddy soil. *Korean Society of Soil Science and Fertilizer*. 26(4):314-333.
- Gunn, S., Farrar, J.F., Collis, B.E. and Nason, M. 1999. Specific leaf area in barley: Individual leaves versus whole plants. *New Phytologist*. 143:45-51.
- Hwang, J.J., Sung, B.R., Youn, K.B., Ahn, W.S., Lee, J.H., Chung, J.Y. and Kim, Y.S. 1985. Forage and TDN yield of several winter crops at different clipping date. *The Korean Journal of Crop Science*. 30(3):301-309.
- Kim, J.G., Chun, E.S., Seo, S., Kim, M.J., Lee, J.K., Yoon, S.H., Lim, Y.C. and Cho, Y.M. 2008. Effect of growth stage and variety on the quality of whole crop rice silage. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 28(1):29-34.
- Kim, J.G., Chung, E.S., Ham, J.S., Seo, S., Kim, M.J., Yoon, S.H. and Lim, Y.C. 2007. Effect of growth stage and variety on the yield and quality of whole crop rice. *The Korean Journal of Crop Science*. 27(1):1-8.
- Kim, J.G., Chung, E.S., Lee, J.K., Lim, Y.C., Yoon, S.H. and Kim, M.J. 2009. Comparison of yield and quality of direct-seeded whole crop rice. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 29(1):25-30.
- Kim, J.G., Kim, W.H. and Seo, S. 2006. Production and utilization technology of forage crops and whole crop rice in paddy field. *Proceedings of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. pp. 59-85.
- Kim, K.H., Seo, J.H., Park, T.I., Han, O.K., Park, K.H., Song, T.H., Park, J.C., Park, C.S., Kang, C.S., Park, H.H., Park, N.G., Jeung, J.H., Ju, J.I., Kang, S.J., Hyun, J.N. and Kim, K.J. 2015. A high-yield wheat cultivar ‘Cheongwoo’ for whole crop forage. *Korean Journal of Breeding Science*. 47(3):339-344.
- Kim, K.M., Park, J.H., Kang, C.S., Kim, K.H., Choi, C.H., Park, J.H., Jeong, H.Y., Kim, Y.J., Cheong, Y.K. and Park, T.I. 2019. 사료가치가 높은 장수형 밀 (*Triticum aestivum* L.) 태우의 주요 특성. *Proceedings of the Korean Society of Crop Science Conference*. pp. 187.
- Kim, S.H. and Lee, H.J. 1994. Growth and yield of forage crops affected by soil texture in upland diverted from paddy field. *The Korean Journal of Crop Science*. 39(6):577-584.
- Kwon, Y.U., Baek, S.B., Heo, H.Y., Park, H.H., Kim, J.G., Lee, J.E., Lee, C.K. and Shin, J.C. 2008. Changes in forage quality of plant parts with harvesting time in five winter cereal crops. *The Korean*

Evaluation of Biomass and Feed Value of the Forage Wheat in Paddy

- Journal of Crop Science. 53(2):144-149.
- Kwon, Y.U., Park, H.H., Baek, S.B., Park, K.G., Kim, J.G., Lee, J.E. and Seo, J.H. 2010. Contribution rate of plant parts to dry matter yields in winter forage crops. *The Korean Journal of Crop Science*. 55(4):292-298.
- Lee, H.J., Kim, S.H. and Lee, H.S. 1994. Growth of maize and sorghum-sudangrass hybrid affected by soil texture and ground water levels. *The Korean Journal of Crop Science*. 39(6):585-593.
- Lee, J.H., Jeong, O.Y., Paek, J.S., Hong, H.C., Yang, S.J., Lee, Y.T., Kim, J.G., Sung, K.I. and Kim, B.W. 2005. Analysis of dry matter yield and feed value for selecting of whole crop rice. *Korean Society of Animal Sciences and Technology*. 47(3):355-362.
- Liao, C.T. and Lin, C.H. 2001. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. *Proceedings of the National Science Council, Republic of China, Part B*. 25(3):148-157.
- Marsalis, M.A., Hagevoort, G.R. and Lauriault, L.M. 2009. Hay quality, sampling, and testing. In: *New Mexico State University (Ed.), Cooperative Extension Service, College of Agricultural, Consumer and Environmental Services. Circular*. 641:1-8.
- Martens, J.R.T., Hoepfner, J.W. and Entz, M.H. 2001. Legume cover crops with winter cereals in Southern Manitoba: Establishment, productivity, and microclimate effects. *Agronomy Journal*. 93: 1086-1096.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2017. Guidelines for the support of paddy field-use other crops cultivation. pp. 1-13.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2018. Major statistical indicators of agricultural and livestock products.
- Rural Development Administration (RDA). 2012. Agricultural science and technology of analysis based on research. *National Institute of Crop Science, Korea*. pp. 315-374.
- Sharma, D.P. and Swarup, A. 1988. Effects of short-term flooding on growth, yield and mineral composition of wheat on sodic soil under field conditions. *Plant and Soil*. 107:137-143.
- Shin, C.N. and Kim, B.H. 1995. Dry matter yield and chemical composition of spring oats at various stage of growth. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 15(1):61-66.
- Song, T.H., Han, O.K., Yun, S.K., Park, T.I., Seo, J.H., Kim, K.H. and Park, K.H. 2009. Changes in quantity and quality of winter cereal crops for forage at different growing stages. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 29(2):129-136.
- Song, Y., Linderholm, H.W., Wang, C., Tian, J., Huo, Z., Gao, P., Song, Y. and Guo, A. 2019. The influence of excess precipitation on winter wheat under climate change in China from 1961 to 2017. *Science of the Total Environment*. 690:189-196.
- Sung, K.I., Hong, S.M. and Kim, B.W. 2004. Plant height, dry matter yield and forage quality at different maturity of whole crop rice. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 24(1):53-60.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74:3583-3597.
- Yang, W.H., Choi, K.J., Kwak, K.S., Park, T.S., Oh, M.H., Shin, J.C. and Kim, J.G. 2007. Characterization of biomass production and seedling establishment of direct-seeded Nogyangbyeo, a whole crop rice variety for animal feed. *The Korean Journal of Crop Science*. 52(3):249-258.
- Yang, W.H., Kim, J.H., Shon, J.Y., Jung, H.Y., Choi, K.J. and Kim, B.K. 2014. Comparison of seedling establishment and early growth characteristics as affected by seedling date and temperature in water broadcast-seeded whole crop silage rice genotypes. *The Journal of the Korean Society of International Agriculture*. 26(4):462-467.
- You, L., Rosegrant, M.W., Wood, S. and Sun, D. 2009. Impact of growing season temperature on wheat productivity in China. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149:1009-1014.
- Yun, S.K., Park, T.I., Seo, J.H., Kim, K.H., Song, T.H., Park, K.H. and Han, O.K. 2009. Effect of harvest time and cultivars on forage yield and quality of whole crop barley. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 29(2):121-128.

(Received : May 10, 2022 | Revised : June 17, 2022 | Accepted : June 18, 2022)