

남부산간지에서 봄과 여름 조사료 귀리의 파종과 수확 시기에 따른 조사료 품질과 생산성 변화

신성휴^{1,§,†} · 이현정^{2,§} · 구자환³ · 박명렬³ · 라경윤³ · 김병주¹

Effects of Planting and Harvest Times on the Forage Yield and Quality of Spring and Summer Oats in Mountainous Areas of Southern Korea

Seonghyu Shin^{1,§,†}, Hyunjung Lee^{2,§}, Jahwan Ku³, Myungryeong Park³, Kyungyoon Rha³, and Byeongju Kim¹

ABSTRACT Oats (*Avena sativa* L.) represent a good forage crop for cultivation in regions with short growing periods and/or cool weather, such as the mountainous areas of southern Korea. In this study, using the Korean elite summer oat varieties 'High speed' and 'Dark horse', we aimed to determine the optimal time to plant and harvest forage oats seeded in spring and summer in a mountainous area. Seeds were planted three times from late February and early August at 9- or 10-days intervals, respectively, and plants were harvested three times from late May to October at 10-day intervals. The experiment was carried out in an upland field (Jangsu-gun Jeonbuk) in 2015 and 2016. We investigated the changes in forage yield (FY) and quality [crude protein (CP) and total digestible nutrient (TDN) contents] based on the time of planting and harvest. Neither the forage quality nor yield of either spring and summer oats was significantly influenced by the time of planting. The CP of spring oats harvested three times at 10-day intervals from late May was 12.0%, 8.2%, and 6.5%, thereby indicating a reduction with a delay in the time of harvest. In summer oats, CP ranged from 8.4% to 8.7%, although unlike CP in spring oats, was not significantly influenced by the time of harvest. For both forage types, harvest time had no significant effect on TDN. The FY of spring oats harvested in late May and early and mid-June was 10.2, 18.7, and 19.5 ton ha⁻¹, respectively, with that of oats harvested on the latter two dates being significantly increased by 83% and 91%, respectively, compared with that in late May. Similarly, the FY of spring oats harvested in late October and early and mid-November was 7.1, 12.5, and 12.1 ton ha⁻¹, respectively, with that of oats harvested on the latter two dates being significantly increased by 75% and 71%, respectively, compared with that in late October. Taking into consideration forage yield and quality (not less than 8% CP), it would be profitable to plant spring oats in the mountainous areas of southern Korea until March 15 and harvest around June 10, whereas summer oats could be beneficially planted until August 25 and harvested from early November.

Keywords : *Avena sativa*, crude protein, forage, spring oats, summer oats, TDN

우리나라 조사료 소요량은 6,050천톤(2019년) 정도이고 국산 조사료 공급량은 4,872천톤으로 자급률은 80.5% 정도이다(2020년 농림축산식품부 조사료 수급통계). 우리나라 농림축산식품부에서는 1997년부터 조사료 자급률을 높

이기 위하여 조사료생산기반확충사업을 추진하고 있으나 자급률은 80% 정도에서 정체하고 있다. 이는 알팔파와 귀리 등 고품질 수입 조사료에 대한 수요가 여전히 높고, 중·북부 지역이나 산간지역에서 가축사육두수에 비해 조사료 생

¹농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물과 농업연구관 (Senior Scientist, Central Area Crop Breeding Division, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 16429, Rep. of Korea)

²장수군 농업기술센터 농업연구사 (Junior Scientist, Jangsu-gun Agricultural Extension Service, Jangsu 55640, Rep. of Korea)

³농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물과 농업연구사 (Junior Scientist, Central Area Crop Breeding Division, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 16429, Rep. of Korea)

[§]These authors contributed equally to this manuscript.

[†]Corresponding author: Seonghyu Shin; (Phone) +82-31-695-4038; (E-mail) shin2004@korea.kr

<Received 9 November, 2020; Revised 18 March, 2021; Accepted 26 March, 2021>

Table 1. Planting and harvest time for spring-and summer-planted forage oats.

Season	Planting time (date, mm/dd)	Harvest time (date, mm/dd)							
		2015y	2016y	2015y	2016y	2015y	2016y	2015y	2016y
				---Late May---		---Early June---		---Mid June---	
Spring	Late Feb.	2/27	2/20						
	Early Mar.	3/8	3/1	5/22	6/1	6/4	6/10	6/15	6/20
	Mid-Mar.	3/17	3/10						
				---Late Oct.---		---Early Nov.---		---Mid Nov.---	
Summer	Early Aug.	-	8/5						
	Mid-Aug.	8/18	8/16						
	Late Aug.	8/28	8/25	10/26	10/26	11/6	11/6	11/16	11/16
	Early Sept.	9/7	-						

산이 적기 때문이다. 따라서, 자급률을 높이기 위해서는 조사료 생산이 부족한 중·북부 지역이나 산간지역에 적합한 조사료 작물을 개발하여 보급하는 것이 필요하다.

조사료 귀리(*Avena sativa* L.)는 옥수수 재배하기에는 생육기간이 짧거나 추운 지역에서 중요한 조사료 작물이다(Burgess *et al.*, 1972). 귀리는 단백질 함량이 높고 반추가축의 기호성이 우수하여 우리나라에서는 1980년부터 양질의 조사료 작물로 재배되어 왔다(Thompson & Day, 1959; Soon & Oh, 2017). 귀리는 내한성이 약하여 1월 중 최저평균기온이 -5°C 이상인 지역에서 월동이 가능하다(Ju *et al.*, 2011). 미국 북중부 지역에서 조사료 귀리는 일반적으로 봄에 파종하여 초여름 출수기에 사일리지로 수확한다(Contrera-Govea & Albrecht, 2006). 우리나라 중·북부 지역이나 산간지역에서는 봄이나 여름에 파종하여 귀리 조사료를 생산할 수 있다. 이에 따라 농촌진흥청 국립식량과학원에서는 하파귀리 품종으로 ‘다크호스’와 ‘하이스피드’를 개발하여 보급하고 있다.

귀리의 조사료 건물수량은 출수기 이후 직선적으로 증가하여 호숙기까지 2배정도 증가하지만 조단백 함량은 급격히 감소한다(Cherney & Marten, 1982; Hesel & Thomas, 1987; Johnston, 1998). 조사료 귀리는 생육 기간의 온도에 의해 수량과 품질이 영향을 받을 수 있다. 귀리 생육 기온이 낮으면 줄기의 비율이 높아지고 숙기가 늦어지지만, 반대 경우에는 숙기가 빨라진다(Smith, 1974). 또한 출수기 이후 고온에서 저온으로 변하는 조건에서 자란 귀리는 그 반대 조건 보다 조사료 소화율이 높았는데 이는 섬유질과 총비구조탄수화물 함량이 감소하였기 때문이다(Smith, 1975). 이처럼 귀리의 생육 환경에 따라 귀리의 수량과 품질이 달라질 수 있다.

우리나라 영남 남부내륙지역(경남 산청) 과 영남 북부내륙 지역(경북 영주)에서 재배한 귀리의 조사료 수량과 품질 변화에 대한 연구 결과가 보고되었다(Han *et al.*, 2018; Soon & Oh, 2017). 하지만 남부산간지에서 재배한 귀리의 조사료 수량과 품질에 대한 연구결과는 보고되지 않았다. 본 연구에서는 남부산간지에서 조사료 자급 생산체계 구축을 위해 봄과 여름에 파종하여 재배한 조사료 귀리의 수량과 품질 변화를 밝히고 남부 산간지역에서 봄과 여름 재배 조사료 귀리의 적정 파종시기와 수확시기를 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

재배시기별 조사료 귀리의 파종과 수확 시기

조사료 귀리를 봄과 여름에 각각 재배하였다. 시험품종은 국립식량과학원에서 개발한 하이스피드와 다크호스이었다. 봄 재배 조사료 귀리는 2월 하순, 3월 상순, 3월 중순에 파종하였고 파종기별로 귀리 지상부 식물체를 5월 하순, 6월 상순, 6월 중순에 각각 수확하였다(Table 1).

여름 파종 조사료 귀리는 8월 상순(2016년), 8월 중순, 8월 하순, 9월 상순(2015년)에 파종하였고 파종기별로 귀리 지상부 식물체를 10월 하순, 11월 상순, 11월 중순에 각각 수확하였다(Table 1).

재배방법

귀리 파종량은 200 kg/ha이었고 파종방법은 휴림광산파이었다. 시비는 N - P₂O₅ - K₂O = 120 - 50 - 40 kg/ha를 사용하였으며 인산과 칼리는 전량 기비로 사용하였고, 질소는 기비로 50%, 귀리 식물체가 20 cm 정도 자랐을 때 추비로 50% 분시하였다. 시험구 배치는 품종별 분할집구법

Table 2. Soil pH, organic material, available phosphorus content, cation exchange capacity (CEC), and total nitrogen (T-N) in the experimental field.

pH	Organic matter (g/kg)	Available phosphorus (mg/kg)	CEC (cmolc/kg)			T-N (%)
			K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
6.0	30	120	0.3	3.2	1.0	0.18

으로 3반복이었다. 처리당 시험구 크기는 20 m²이었다. 이 시험은 2015년부터 2016년까지 2년간 수행하였다. 시험장소는 현장 농가 논 포장(전북 장수군 장계면 송천리 900, 35°44'06"N 127°35'30"E)이었다. 시험포장 토양은 양토이었고 이화학적 특성으로 보아 조사료 귀리 재배에 적합하였다(Table 2).

수량과 조단백 및 TDN 함량

시험구 가운데 부분 6 m²에서 조사료 귀리의 지상부를 채취하여 70°C에서 4일간 건조하여 시료의 건물중을 구하여 단위면적당 건물수량으로 환산하였다. TDN 수량은 단위면적당 건물수량에 TDN 함량을 곱하여 계산하였다.

건물수량을 측정한 뒤 각각 3개의 샘플에서 일부를 취하여 마쇄하고 1 mm 채로 친 시료를 분석에 사용하였다. 조단백 함량은 A.O.A.C. (1990) 분석법에 따라서 Kjeldahl (B-324, 412, 435 and 719 Titrino, BUCHI, Essen, Germany) 장치를 이용하여 총질소 함량을 분석하고 단백질계수 6.25를 적용하여 환산한 값을 조단백 함량으로 구하였다. TDN 함량은 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2012)에 다음과 같이 구하였다.

$$\text{TDN 함량(\%)} = 88.9 - (0.79 \times \% \text{ADF})$$

적산온도와 누적 강수량

적산온도는 해당 기간 0°C 이상 일평균기온을 합하였고 누적 강수량은 해당 기간 1일 강수량을 합하여 구하였다. 장수군의 2015년과 2016년 일평균기온과 1일 강수량, 평년 일평균기온과 1일 강수량은 기상청의 기상자료개방포털(data.kma.go.kr/cmmn/main.do)에서 수집하였다. 기상청에서 제공하는 평년 기상자료는 1980년~2010년 평균값이었다.

분산분석 등 통계처리

모든 통계처리는 SAS 프로그램(ver. 9.4, SAS Institute Inc., NC, USA)을 이용하였다. 분산분석(ANOVA)을 통해 조사료 귀리의 수량과 품질에 대한 처리요인(품종, 파종기,

수확시기)과 요인간 상호작용의 유의성을 검정하였다. 처리 평균간 차이는 유의수준 0.05%에서 DMRT (Duncan's Multiple Range Test)로 검정하였다.

결과 및 고찰

생육기간 적산온도와 누적 강수량

봄 조사료 귀리 재배시 파종에서 출수까지(이하 파종~출수) 적산온도를 보면, 2월 하순, 3월 상순과 중순에 파종한 귀리는 파종~출수 적산온도가 각각 690°C, 724°C, 743°C 이었다(Fig. 1). 이는 평년(1980~2010) 기준 적산온도에 비하여 96~101°C 정도 높은 것이다(Fig. 1 & Table S1). 그리고 봄 조사료 귀리 재배시 수확시기를 5월 하순부터 10월 정도씩 늦출수록 출수에서 수확까지(이하 출수~수확) 적산온도는 직선적으로 증가하였다. 출수~수확 일수와 적산온도 관계를 보면 출수~수확 일수 1일 당 적산온도가 19.6°C 증가하는 것으로 나타났는데, 평년과 비교하면 1.2°C 더 높게 증가한 것이다(Fig. S1).

2월 하순과 3월 상순에 파종한 봄 조사료 귀리 생육기간 동안 누적 강수량은 300~320 mm 정도로 비슷하였고 3월 중순 파종한 귀리는 30~40 mm 정도 적었다. 3월 중순 파종한 조사료 귀리 생육기간 누적 강수량이 적은 것은 파종~출수 강수량이 적었기 때문이었다(Fig. S2 & Table S2). 평년 기준 2월 하순, 3월 상순, 3월 중순 파종 귀리의 파종~출수 누적 강수량은 190~208 mm로 2015~2016년 누적 강수량이 평년 보다 56~73 mm 정도 적었다. 한편 평년 기준 2월 하순, 3월 상순, 3월 중순 파종 귀리의 출수~수확 누적

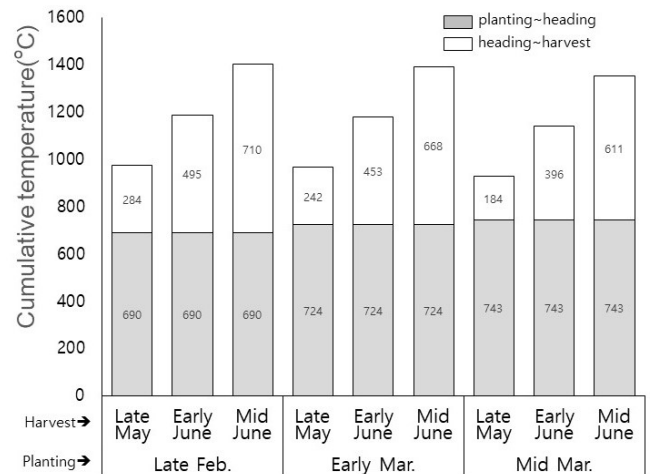


Fig. 1. Cumulative temperature (2-year mean) from planting to harvest for spring oats grown in 2015 and 2016.

강수량은 각각 57~138 mm, 47~136 mm, 37~118 mm이었는데, 2015년과 2016년 누적 강수량은 평년 보다 20~100 mm 정도 많았다(Fig. S2 & Table S2).

여름 조사료 귀리 재배시 파종~출수 적산온도를 보면, 8월 상순, 중순, 하순에 파종한 귀리는 그 적산온도가 각각 1,449°C, 1,091°C, 888°C이었고 9월 상순 파종한 귀리는 출수하지 않았다(Fig. 2). 2015년과 2016년 8월 상순 파종 귀리의 파종~출수 적산온도는 평년 보다 108°C 정도 높았고 그 이후 파종 귀리의 적산온도는 평년과 비슷하였다(Table S1). 그리고 여름 조사료 귀리 재배시 수확시기를 10월 하순부터 10일 정도씩 늦출수록 출수~수확 적산온도는 직선적으로 증가하였고, 출수~수확 일수와 적산온도 관계를 보면 출수~수확 일수 1일 당 적산온도가 7.8°C 정도 증가하는 것으로 나타났고, 평년과 비교하면 0.5°C 정도 높게 증가한 것이다(Fig. S3).

귀리 전 재배기간 동안 누적 강수량으로 보면 8월 중순과 하순 파종한 조사료 귀리는 누적 강수량이 320~360 mm로 비슷하였고 그 보다 빨리 파종한 8월 상순 파종 귀리는 이보다 130~170 mm 정도 많았고 늦게 파종한 9월 상순 파종 귀리는 누적 강수량이 이 만큼 더 적었다(Fig. S4 & Table S2). 이는 대체로 평년 누적 강수량과 비슷하였지만 8월 하순 파종한 귀리의 누적 강수량은 평년 보다 57~82 mm 정도 더 많았다(Fig. S4 & Table S2).

8월 상순에 파종한 귀리의 파종~출수 기간 누적 강수량은 431 mm, 출수~수확 기간 누적 강수량은 60 mm이었다. 8월 중순과 하순 파종한 귀리의 파종~출수 기간 누적 강수량은 각각 305 mm와 287 mm이었고 출수~수확 기간 누적 강수량은 각각 평균 51 mm와 33 mm이었다. 그리고 9월

상순에 파종한 귀리는 파종~출수 기간 누적강수량이 평균 192 mm이었다. 이는 여름 파종 귀리의 전 재배기간 누적 강수량과 비슷하게 대부분 평년과 비슷하였지만 8월 하순 파종한 귀리의 파종~출수 누적 강수량은 평년보다 64 mm 정도 많았다. 이처럼 여름 귀리 재배시 파종기에 따른 누적 강수량 차이는 파종~출수 강수량 차이에 기인하였다(Fig. S4 & Table S2).

파종기에 따른 귀리의 출수기 변화

봄 조사료 귀리를 2월 하순부터 9일 간격으로 파종하였을 때, 2월 하순, 3월 상순과 중순에 파종한 귀리는 2개년 평균 각각 5월 10일, 5월 13일, 5월 16일경에 출수하였다. 즉, 봄에 조사료 귀리를 9일 간격으로 늦게 심어도 출수기는 평균 3일 정도만 늦는 것으로 나타났다. 또한 2015년에 비하여 2016년에 7일 정도 빨리 파종하였으나 출수기는 1~3일 정도 밖에 빠르지 않았다(Table 3). 여름 조사료 귀리를 8월 상순부터 10일 간격으로 파종하였을 때, 8월 상순, 중순, 하순에 파종한 귀리는 2개년 평균 각각 10월 13일, 10월 14일, 10월 15일이었고, 9월 상순에 파종한 귀리는 출수하지 않았다(Table 3). 즉, 여름에 조사료 귀리를 10일 간격으로 늦게 심어도 출수기는 평균 1~2일 정도만 늦는 것으로 나타났다.

봄과 여름 재배 조사료 귀리 품종(하이스피드, 다크호스)을 조기에 파종하여 출수기 단축 효과를 분석한 결과, 봄(2월~3월 중순)과 여름(8월)에 조사료 귀리 파종을 1일 앞당길 경우 출수는 각각 0.33일과 0.16일 정도 빨라지는 것

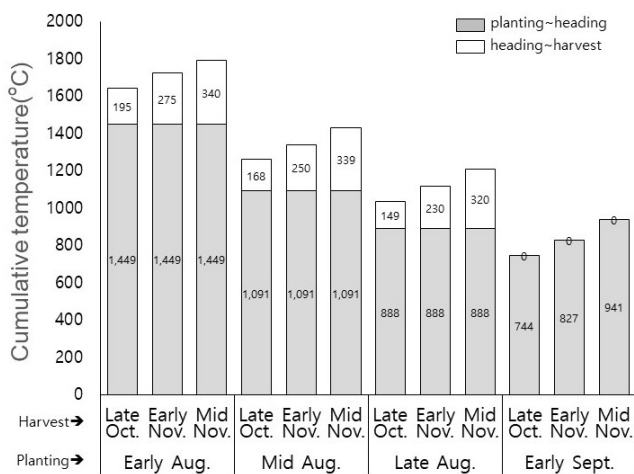


Fig. 2. Cumulative temperature (2-year mean) from planting to harvest for summer oats grown in 2015 and 2016.

Table 3. Heading date of forage oats planted in spring and summer.

Season	Year	Planting date (mm/dd)	Heading date (mm/dd)	Days to heading
Spring	2015	2/27	5/11	73
		3/8	5/14	67
		3/17	5/18	62
	2016	2/20	5/10	80
		3/1	5/12	72
		3/10	5/15	66
Summer	2015	8/18	10/13	56
		8/28	10/15	48
		9/7	no heading	-
	2016	8/5	10/13	69
		8/16	10/15	60
		8/25	10/16	52

로 나타났다. 이로 보아 봄과 여름에 조사료 귀리를 빨리 파종하여도 출수는 그만큼 빨라지지 않으며 특히 여름에는 그 단축효과가 반감하였다.

봄(2월 하순~3월 중순)에 파종한 조사료 귀리의 출수일수는 평균 70일이었고, 여름(8월)에 파종한 것은 평균 57일이었다(Table 3). Han *et al.* (2012)은 9개 귀리 품종을 3월~5월, 8월~11월까지 12회 파종한 결과, 귀리의 출수소요일수는 춘파에서 하파로 갈수록 짧아지다가 하파에서 추파로 갈수록 길어지는 경향이었다고 하였다. 이와 같은 결과는 기존 연구보고(Fulton, 1968; Peterson & Schrader, 1974; Smith, 1974)와 일치하였는데, 이들도 귀리 생육 온도가 높을수록 출수일수는 감소한다고 보고하였다. 일반적으로 기온이 작물의 발육 단계별 기간을 결정하고(Craufurd & Wheeler, 2009) 정상적인 생육 조건이라면 기온이 높으면 발육 속도는 빨라지는 방향으로 반응한다(Olesen *et al.*, 2012). Yan & Wallace (1998)는 이와 같은 기온과 발육 속도의 관계를 적용하여 유전자형-온도-일장의 상호작용으로 분석하는 작물의 출수일수 또는 발육 속도 예측모델을 만들었고, 이 모델을 적용하여 귀리 6품종에 대한 출수일수를 성공적으로 예측할 수 있다고 보고하였다. 따라서 이 연구에서 여름에 파종한 ‘다크호스’와 ‘하이스피드’가 봄에 파종한 것보다 출수일수가 짧은 것은 파종~출수까지 기온이 봄보다 여름 조사료 귀리에서 높았기 때문인 것으로 보인다.

8월에 파종한 조사료 귀리와 달리 9월 상순에 파종한 것은 출수하지 않았는데 적산온도는 744~941°C로 봄 조사료 귀리의 적산온도(690~743°C)보다 많았다(Figs. 1 & 2). 귀리는 품종에 따라 다르기는 하지만 일반적으로 장일 식물이다. 귀리의 개화는 온도, 일장, 저온춘화처리의 상호작용에 따라 달라진다. 특히 봄 파종 귀리는 저온춘화처리 보다는 일장에 더 반응하는 것으로 보고되었다(Holland *et al.*, 2002; Locatelli *et al.*, 2008). 또한, 이 연구에 사용된 품종인 ‘다크호스’와 ‘하이스피드’는 하파 전용품종으로 개발되어 저온춘화처리 요구도가 거의 없다(Han *et al.*, 2012). 2015년에 우리나라 낮의 길이가 12시간 이하로 짧아지기 시작하는 추분은 9월 23일이었는데 파종일은 9월 7일이었다. 따라서 2015년 9월 7일에 파종한 귀리가 출수하지 않는 것은 생육초기부터 12시간 보다 짧은 일장에서 생육함으로써 출수할 만큼 충분히 장일 감응이 되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

결과를 종합하면, 이 연구에서 사용된 ‘다크호스’와 ‘하이스피드’는 12시간 이상 일장 조건에서는 파종부터 생육 기간 온도가 높을수록 출수가 빨리 되는 특성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

봄과 여름 재배 귀리 조사료의 조단백과 TDN 함량 변화

귀리의 봄 재배 시험에서 조사료 품질의 주요 지표인 조단백과 TDN 함량에 대한 처리요인(품종, 파종시기, 수확시기)의 효과와 처리요인간 상호작용의 유의성을 검정하기 위하여 분산분석을 실시하였다(Table S3). 봄 재배 귀리의 수확 시기에 따른 조단백 함량과 TDN 함량의 유의적인 차이는 있었지만 품종과 파종시기에 따른 유의적 차이는 없었다. 그리고 처리요인간 상호작용은 통계적으로 없었다(Table S3).

2월 하순 이후 9일 간격으로 파종한 조사료 귀리의 조단백 함량은 7.8~9.6%, TDN 함량은 60% 정도 이었고, 수확 시기에 관계 없이 봄 재배 조사료 귀리의 조단백과 TDN 함량은 파종기에 따른 유의한 차이는 없었다(Fig. 3).

봄 재배 조사료 귀리는 파종시기에 관계 없이 5월 하순에 수확한 조사료 귀리의 조단백 함량이 12.0%로 가장 높았고 그 이후 수확시기가 10일씩 늦을수록 감소하였다. 특히 6월 중순에 수확한 조사료 귀리의 조단백 함량은 5월 하순에 수확한 것보다 5.5%p 정도 크게 감소하였다(Fig. 3). 이와 같은 결과는 중부 산간지(충남 청양), 영남 남부내륙 지역(경남 산청), 영남 북부내륙지역(경북 영주)에서 봄에 파종한 조사료 귀리도 수확기가 늦을수록 단백질 함량이 감소하였다는 연구보고(Heo *et al.*, 2005; Han *et al.*, 2018; Soon & Oh, 2017)와 일치하였다.

봄 재배 조사료 귀리의 TDN 함량은 59~62% 정도이었고,

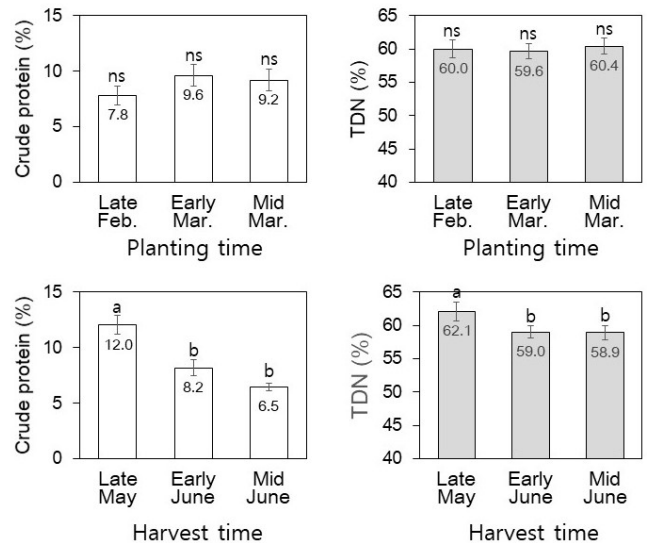


Fig. 3. Crude protein and total digestible nutrient (TDN) contents of forage oats planted in spring. Error bars represent the standard error of the mean ($n = 12$). Means were separated by DMRT and denoted by different letters are significantly different at the 0.05 level of significance.

조단백 함량과 비슷하게 수확시기가 늦을수록 감소하는 경향이었지만 그 감소폭은 최대 3.2%p 정도로 조단백 함량보다 작은 편이었다(Fig. 3). 이와 같은 결과는 영남 북부내륙 지역(경북 영주)에서 봄에 파종한 조사료 귀리도 수확시기가 늦을수록 TDN 함량이 감소하였다는 연구보고(Soon & Oh, 2017)와 일치하였다.

조사료 귀리의 여름 재배 시험에서 조사료 품질의 주요 지표인 조단백과 TDN 함량에 대한 처리요인(품종, 파종시기, 수확시기)의 효과와 처리요인간 상호작용의 유의성을 검정하기 위하여 분산분석을 실시하였다(Table S5). 여름 재배 조사료 귀리의 품종, 파종시기, 그리고 수확시기에 따른 조사료 조단백 함량과 TDN 함량의 유의적인 차이는 없었고 처리요인간 상호작용도 통계적으로 없었다(Table S5).

8월 상순 이후 10일 간격으로 파종한 조사료 귀리의 조단백과 TDN 함량은 수확시기에 관계없이 파종시기가 늦을수록 증가하는 경향이었지만 통계적 유의성은 없었다(Fig. 4).

한편, 9월초에 파종한 여름 재배 조사료 귀리는 조단백 함량이 10.9%로 높았는데 이는 조사료 귀리가 출수하지 않았기 때문인 것으로 보인다. 이와 같은 결과는 영남 남부내륙 지역(경남 산청)에서 여름에 파종한 조사료 귀리도 파종시기가 늦을수록 단백질 함량이 증가하였다는 연구보고(Han *et al.*, 2018)와 일치하였다.

10월 하순부터 11월 중순까지 10일간격으로 수확한 여

름 재배 조사료 귀리는 조단백 함량이 8.4~8.7%, TDN 함량이 59.0~60.1% 정도이었고 수확시기에 따른 유의한 차이는 없었다(Fig. 4).

봄과 여름 재배 귀리의 조사료 수량 변화

조사료 귀리의 봄 재배 시험에서 조사료 수량에 대한 처리요인(품종, 파종시기, 수확시기)의 효과와 처리요인간 상호작용의 유의성을 검정하기 위하여 분산분석을 실시하였다(Table S4). 봄 재배 조사료 귀리의 수확시기에 따른 조사료 건물수량과 TDN 수량의 유의적인 차이는 있었지만 품종과 파종시기에 따른 유의적 차이는 없었다. 그리고 처리요인간 상호작용은 통계적으로 없었다(Table S4).

2월 하순 이후 9일 간격으로 파종한 조사료 귀리의 조사료 건물수량은 2월 하순에 파종한 귀리 조사료 건물수량이 17.0톤/ha로 가장 높았고 그 이후 파종시기에서는 15.7톤/ha로 감소하였지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Fig. 5). 파종시기에 따라 TDN 수량도 건물수량과 비슷한 경향으로 2월 하순 파종한 귀리 조사료 TDN 수량이 10.1톤/ha 가장 높았고 그 이후 파종시기에서는 9.3~9.4톤/ha 정도로 감소하였지만 통계적 유의성은 없었다(Fig. 5).

봄 재배 조사료 귀리는 파종시기에 관계 없이 6월 상순과 6월 하순에 수확한 조사료 건물수량이 각각 18.7톤/ha와 19.5톤/ha으로 5월 하순에 수확한 것보다 각각 83%와 91%

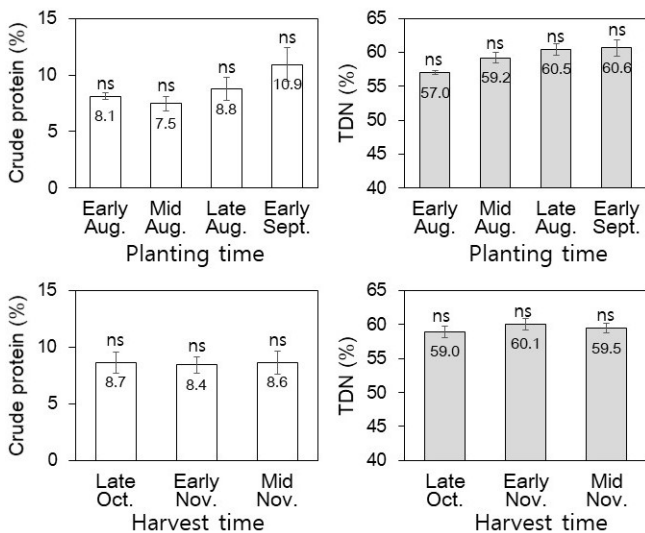


Fig. 4. Crude protein and total digestible nutrient (TDN) contents of forage oats planted in summer. Error bars represent the standard error of the mean ($n = 12$). Means were separated by DMRT and denoted by different letters are significantly different at the 0.05 level of significance.

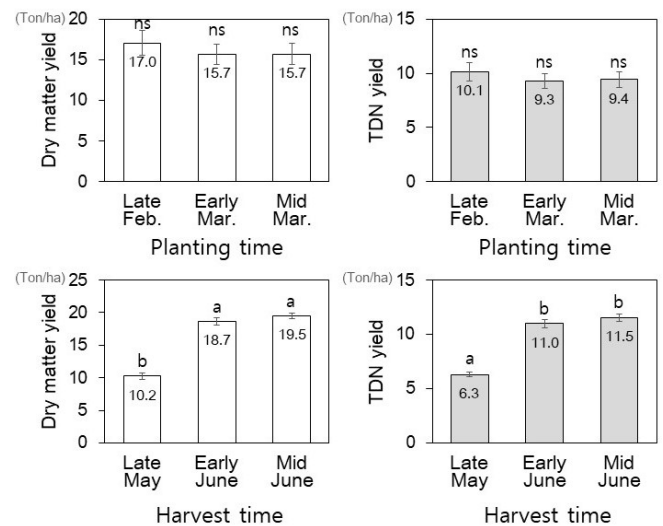


Fig. 5. Dry matter yield and total digestible nutrient (TDN) yield of forage oats planted in spring. Error bars represent the standard error of the mean ($n = 12$). Means were separated by DMRT and denoted by different letters are significantly different at the 0.05 level of significance.

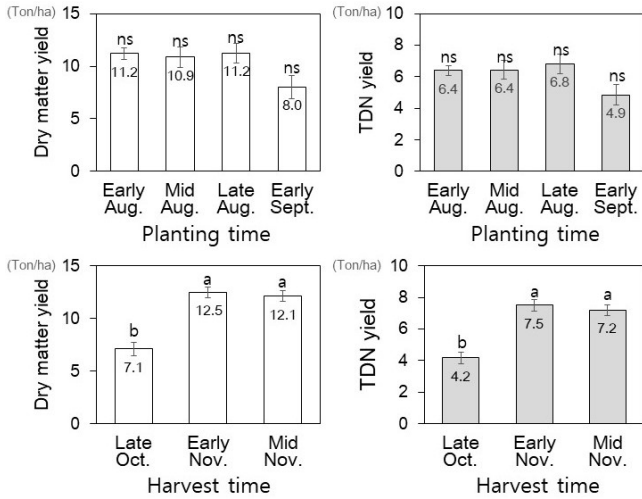


Fig. 6. Dry matter yield and total digestible nutrient (TDN) yield of forage oats planted in summer. Error bars represent the standard error of the mean ($n = 12$). Means were separated by DMRT and denoted by different letters are significantly different at the 0.05 level of significance.

정도 높았다(Fig. 5). 수확시기에 따른 봄 재배 조사료 귀리의 TDN 수량도 건물수량과 비슷한 반응을 나타내었는데, 5월 하순 수확한 조사료 귀리의 TDN 수량이 6.3톤/ha 그리고 6월 상순과 중순에 수확한 것이 각각 11.0톤/ha과 11.5톤/ha이었다(Fig. 5).

따라서 남부 산간지에서는 조사료 귀리를 봄에 재배할 경우에 3월 15일경까지 조사료 귀리를 파종하고 6월 10일 경에 수확하면 단백질 함량이 8% 이상인 고품질 조사료의 최대 수량을 얻을 수 있는 것으로 판단되었다. Han *et al.* (2018)은 영남 남부내륙지역(경남 산청)에서 봄 조사료 귀리를 3월 3일까지는 파종하고 6월 6일 이전에 수확하는 것을 추천하였는데, 이는 본 연구결과 보다 빨리 파종하고 수확하는 것이다. 일반적으로 맥류를 봄 재배할 경우에 적정 파종시기는 2~3월 기온에 따라 결정되는데, 남부지방보다 중북부지역이 늦다(Park, 2019). 본 연구시험지역인 남부산간지역(전북 장수)이 영남 남부내륙지역(경남 산청)보다 적정 파종시기가 늦은 것은 2월과 3월 평균기온 각각 3.1°C와 2.6°C 정도 낮은 지역이기 때문인 것으로 보인다.

조사료 귀리의 여름 재배 시험에서 조사료 수량에 대한 처리요인(품종, 파종시기, 수확시기)의 효과와 처리요인간 상호작용의 유의성을 검정하기 위하여 분산분석을 실시하였다(Table S6). 여름 재배 조사료 귀리의 수확시기에 따른 조사료 건물수량과 TDN 수량의 유의적인 차이는 있었지만 품종과 파종시기에 따른 유의적 차이는 없었다. 그리고

처리요인간 상호작용도 통계적으로 없었다(Table S5).

8월 상순부터 8월 하순까지 10일 간격으로 파종한 조사료 귀리의 건물수량은 10.9~11.2톤/ha 정도로 비슷하였고 9월 상순 파종시기에서는 8.0톤/ha로 26~29% 정도 비교적 크게 감소하였으나 통계적으로 유의성은 없었다(Fig. 6). 여름 재배 조사료 귀리의 파종시기에 따른 TDN 수량도 건물수량과 비슷하였다(Fig. 6). 9월 상순에 파종한 조사료 귀리의 건물수량과 TDN 수량이 감소한 것은 이 시기에 파종한 조사료 귀리가 출수하지 않았기 때문인 것으로 보인다(Table 3).

여름 재배 조사료 귀리는 파종시기에 관계 없이 11월 상순과 하순에 조사료 건물수량이 각각 12.5톤/ha와 12.1톤/ha으로 10월 하순에 수확한 것보다 각각 75%와 71% 정도 높았다(Fig. 6). 수확시기에 따른 여름 재배 조사료 귀리의 TDN 수량도 건물수량과 비슷한 반응을 나타내었는데, 10월 하순 수확한 조사료 귀리의 TDN 수량이 4.2톤/ha 그리고 11월 상순과 중순에 수확한 것이 각각 7.5톤/ha과 7.2톤/ha이었다(Fig. 6).

따라서 남부 산간지에서는 조사료 귀리를 여름에 재배할 경우에는 8월 25일경까지 조사료 귀리를 파종하고 11월 상순부터 수확하면 단백질 함량이 8% 이상인 고품질 조사료의 최대 수량을 얻을 수 있는 것으로 판단되었다. Han *et al.* (2018)은 영남 남부내륙지역(경남 산청)에서 여름 조사료 귀리를 9월 4일까지는 파종하고 10월 25일 이전에 수확하는 것을 추천하였다.

봄과 여름 재배 조사료 귀리를 각각 5월 하순과 10월 하순에 수확할 경우 출수 후 수확까지 생육기간이 각각 4~14일과 10~14일 정도로 짧았고 이로 인해 건물수량이 감소한 것으로 판단되었다(Table 1 & 3). 이는 귀리는 출수 후 생장량과 건물축적이 급격히 증가하기 때문이다. Barnhart (2011)는 귀리 건물수량이 출수기에 3.5톤/ha, 유숙기에는 7.2톤/ha으로 출수기 이후 유숙기까지 2배 이상 증가한다고 하였다.

봄과 여름 재배 귀리의 조사료 수량과 기상요인 관계

봄과 여름에 파종한 조사료 귀리의 재배기간 동안 적산온도와 누적 강수량과 조사료 건물수량과의 상관관계를 분석하였다. 상관관계를 분석한 기상요인은 파종~출수, 출수~수확, 그리고 파종~수확 기간동안 적산온도와 누적강수량이었다(Table 4).

봄 조사료 귀리의 출수~수확 기간 적산온도가 건물수량과 가장 높은 정의 상관관계($r=0.81^{**}$)를 나타내었고, 파종~수확 기간 적산온도도 높은 정의 상관관계($r=0.80^{**}$)를 나타내었다. 다른 기상요인은 건물수량과 유의미한 상관관

Table 4. Relationship between dry matter yield of forage oats planted in spring and summer.

Cumulative temperature and rainfall	Pearson correlation coefficients between dry matter yield and cumulative temperature and rainfall	
	Spring-planted oats	Summer-planted oats
Cumulative temperature from planting to harvest (T_all)	0.80** ^J	0.41 ^{ns}
Cumulative temperature from heading to harvest (T_rip)	0.81**	0.74**
Cumulative temperature from planting to heading (T_veg)	-0.12 ^{ns}	-0.12 ^{ns}
Cumulative rainfall from planting to harvest (R_all)	0.15 ^{ns}	0.34 ^{ns}
Cumulative rainfall from heading to harvest (R_rip)	0.32 ^{ns}	0.64**
Cumulative rainfall from planting to heading (R_veg)	0.07 ^{ns}	-0.02 ^{ns}

^J* and ** denote significance at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively and 'ns' indicates no significant difference ($p > 0.05$).

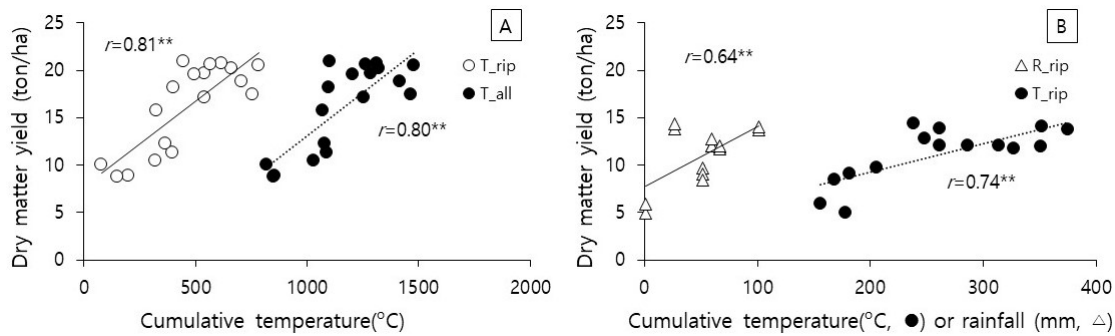


Fig. 7. Relationship between dry matter yield and cumulative temperature from planting to harvest (T_all) and from heading to harvest (T_rip) for spring-planted oats (A) and cumulative rainfall (R_rip) and temperature (T_rip) from heading to harvest for summer-planted oats (B).

계를 나타내지 않았다(Table 4 & Fig. 7A.).

여름 조사료 귀리의 출수~수확 기간 적산온도가 건물수량과 가장 높은 정의 상관관계($r=0.74^{**}$)를 나타내었고, 출수~수확 기간 누적 강우량도 정의 상관관계($r=0.64^{**}$)를 나타내었다. 다른 기상요인은 건물수량과 유의미한 상관관계를 나타내지 않았다(Table 4 & Fig. 7B.).

Hughes *et al.* (1984)은 조사료 귀리 건물수량이 적산온도와 직선적으로 증가하고 이를 이용한 건물수량 예측모델을 보고하였다. Doehlert *et al.* (2001)는 봄 재배 귀리의 종실수량이 4월과 5월의 기온과 정의 상관관계를 나타내었다고 보고하였다. 이와 같은 결과로 보아 봄과 여름에 재배하는 조사료 귀리의 건물수량은 출수 이후 수확까지 적산온도가 가장 큰 영향을 끼치고, 여름 조사료 귀리의 건물수량에는 출수 후 누적강수량도 중요한 요인으로 작용한다는 것을 의미한다.

적 요

본 연구는 조사료 연중생산이 불리한 남부산간지역(전북

장수군)에서 봄과 여름에 재배하는 조사료 귀리의 적정 파종과 수확시기를 구명하고자 하였다. 시험품종은 여름 재배용 국산 조사료 귀리 품종 ‘하이스피드’와 ‘다크호스’이었다. 남부산간지에서 봄과 여름 조사료 귀리의 적정 파종기와 수확시기를 구명하기 위하여 파종과 수확시기를 달리 하여 각각 재배하고 조사료 수량과 품질 변화 양상을 분석하였다. 시험장소는 전북 장수군 소재 농가 논 포장이었다. 2015년과 2016년에 2년간 수행한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 조사료 귀리를 2월 하순, 3월 상순과 중순에 파종하였을 때, 출수까지 적산온도가 각각 690°C, 724°C, 743°C이었고, 8월 상순, 중순, 하순에 파종하였을 때, 출수까지 적산온도는 각각 1,449°C, 1,091°C, 888°C이었다.
2. 조사료 귀리 품종(하이스피드, 다크호스)을 2월 하순부터 9일 간격으로 3월 중순까지 파종하면 출수기는 모두 5월 10일~5월 16일이었고 평균 3일 정도만 늦었고, 8월 상순부터 10일 간격으로 8월 하순까지 파종하면 출수기는 모두 10월 13일~10월 15일이었고 평균 1~2일 정도

- 만 늦어지는 것으로 나타났다. 특히 9월 상순에 파종한 조사료 귀리는 출수하지 않았다.
3. 봄과 여름 조사료 귀리의 건물수량과 품질은 모두 파종 시기에 유의미한 영향을 받지 않았다.
 4. 봄 조사료 귀리의 조단백 함량은 5월 하순에 수확한 것이 12.0%로 가장 높았고 그 이후 수확시기가 10일씩 늦을수록 급격히 감소하여 6월 상순에는 8.2%, 6월 중순에는 단백질 함량이 6.5%까지 감소하였고, TDN 함량(59~62%)도 비슷한 경향이었지만 감소폭은 작았다.
 5. 여름 조사료 귀리는 파종시기가 늦을수록 단백질과 TDN 함량이 증가하는 경향이었고, 10월 하순부터 11월 중순까지 10일 간격으로 수확한 조사료 귀리의 조단백 함량이 8.4~8.7%, TDN 함량이 59.0~60.1% 정도이었다.
 6. 봄 조사료 귀리는 6월 상순과 6월 중순에 수확한 건물수량이 각각 18.7톤/ha와 19.5톤/ha으로 5월 하순에 수확한 것보다 각각 83%와 91% 정도 높았다.
 7. 여름 조사료 귀리는 11월 상순과 중순에 수확한 건물수량이 각각 12.5톤/ha와 12.1톤/ha으로 10월 하순에 수확한 것보다 각각 75%와 71% 정도 높았다.
 8. 봄과 여름 귀리의 조사료 수량은 출수 이후 수확까지 적산온도와 높은 정의 상관관계를 나타내었다.
 9. 봄과 여름 조사료 귀리의 건물수량과 품질을 고려하였을 때, 남부산간지에서 조사료 귀리를 봄에 재배할 경우에 3월 15일까지 파종하고 6월 10일경에 수확하고, 여름에 재배할 경우에는 8월 25일경까지 파종하고 11월 상순 이후 수확하면 단백질 함량이 8% 이상인 고품질 조사료의 최대 수량을 얻을 수 있는 것으로 판단되었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 작물시험연구사업(PJ0134912021)의 지원으로 수행된 결과입니다.

인용문헌(REFERENCES)

- A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemist, Washington DC.
- Barnhart, S. K. 2011. Oats for Forage. Iowa State University Extension and Outreach. Retrieved from <https://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2011/06/oats-forage> (2020.10.26.).
- Burgess, P. L., E. A. Grant, and J. W. G. Nicholson. 1972. Feeding value of "forage" oats. *Can. J. of Animal Sci.* 52 : 448-450.
- Cherney, J. H. and G. C. Marten. 1982. Small grain crop forage potential: I. Biological and chemical determinants of quality, and yield. *Crop Sci.* 22 : 227-231.
- Contreras-Govea, F. E. and K. A. Albrecht. 2006. Forage production and nutritive value in autumn and early summer. *Crop Sci.* 46 : 2382-2386.
- Craufurd, P. Q. and T. R. Wheeler. 2009. Climate change and the flowering time of annual crops. *J. Experimental Botany* 60 : 2529-2539.
- Doehlert, D. C., M. S. McMullen, and J. J. Hammond. 2001. Genotypic and environmental effects on grain yield and quality of oat grown in North Dakota. *Crop Sci.* 41 : 1066-1072.
- Fulton, J. M. 1968. Growth and yield of oats as influenced by soil temperature, ambient temperature and soil moisture supply. *Can. J. Soil Sci.* 48 : 1-5.
- Han, O. K., J. H. Ku, H. G. Min, H. J. Lee, Y. H. Joo, S. S. Lee, J. S. Oh, K. H. Jung, and S. C. Kim. 2018. Effect of sowing and harvest time on forage yield and feed value of spring and fall oats at Youngnam mountain area. *J. Kor. Soc. Grassland Forage Sci.* 38 : 126-134.
- Han, O. K., T. I. Park, H. H. Park, T. H. Song, J. J. Hwang, S. B. Baek, D. W. Kim, and Y. W. Kwon. 2012. Effect of Seeding Dates on Yield and Quality of Various Oat Cultivars for Year-Around Forage Production. *J. Kor. Soc. Grassland Forage Sci.* 32 : 209-220.
- Helsel, Z. R. and J. W. Thomas. 1987. Small grains for forage. *J. Dairy Sci.* 70 : 2330-2338.
- Heo, J. M., S. K. Lee, I. D. Lee, B. D. Lee, and H. C. Bae. 2005. Effect of different growing stages of winter cereal crops on the quality of silage materials and silages. *J. Animal Science and Technology* 47 : 877-890.
- Holland, J. B., V. A. Portyanko, and D. L. Hoffman. 2002. Genomic regions controlling vernalization and photoperiod responses in oat. *Theor. Appl. Genet.* 105 : 113-126.
- Hughes, K. A., A. J. Hall, P. W. Gandar, J. P. Kerr, and N. J. Withers. 1984. The prediction of cool-season forage oat yield using temperature and solar radiation data. *Proceedings Agronomy Society of N. Z.* 14 : 65-69.
- Johnston, J. 1998. Forage production from spring cereals and cereal-pea mixtures. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Ontario, Canada. Retrieved from <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/98-041.htm>.
- Ju, J. I., D. H. Lee, O. K. Han, T. H. Song, C. H. Kim, and H. B. Lee. 2011. Comparisons of characteristics, yield and feed quality of oat varieties sown in spring and autumn. *J. Kor. Grassland Forage Sci.* 31 : 25-32.
- Locatelli, A. B. L. C. Federizzi, S. C. K. Milach, and A. R. McElroy. 2008. Flowering time in oat : Genotype characterization for photoperiod and vernalization response. *Field Crop Research* 106 : 242-247.
- Olesen, J. E., C.D. Børgesen, L. Elsgaard, T. Palosuo, R. P. Rötter, A.O. Skjelvåg, P. Peltonen-Sainio, T. Börjesson, M. Trnka, F. Ewert, S. Siebert, N. Brisson, J. Eitzinger, E. D. van

- Asselt, M. Oberforster, and H. J. van der Fels-Klerx. 2012. Changes in time of sowing, flowering and maturity of cereals in Europe under climate change, *Food Additives & Contaminants: Part A*, 29:10, 1527-1542, DOI: 10.1080/19440049.2012.712060.
- Park, H. H. 2019. Barley and wheat is to be planted at right time in spring. This Month Agricultural Technology. Rural Development Administration. Retrieved from http://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psv/psvr/psvre/curationDtl.ps;jsessionid=saHyVOXkPFiK1kznlSe6ciRXxPh1WAq0da4I50Rc8Nr6X21tU12kkWmarTb716dt.nongsaro-web_servlet_engine1?menuId=PS03352&srchCurationNo=1372
- Peterson, D. M. and L. E. Schrader. 1974. Growth and nitrate assimilation in oats as influenced by temperature. *Crop Science* 14 : 857-861.
- RDA. 2012. Agricultural Science Technology Research Analysis Standard Reference (the 5th ed.). Sambo Printing Co. Seoul.
- Smith, D. 1974. Influence of temperature on growth of Froker oats for forage. I. Dry matter yields and growth rates. *Can. J. Plant Sci.* 54 : 725-730.
- Smith, D. 1975. Influence of temperature on growth of Froker oats for forage. II. Concentrations and yields of chemical constituents. *Can. J. Plant Sci.* 55 : 897-901.
- Soon, H. B. and M. G. Oh. 2017. Effects of seeding harvest dates on the productivity, nutritive values, and livestock carrying capacity of spring-seeded oats (*Avena sativa* L.) in the northern Gyeongbuk province. *Kor. J. Agricultural Science* 44 : 400-408.
- Thompson, R. K. and A. D. Day. 1959. Spring oats for winter forage southwest. *American Society of Agronomy* 51 : 9-11.
- Yan, W. and D. H. Wallace. 1998. Simulation and prediction of plant phenology for five crops based on photoperiod x temperature interaction. *Annals of Botany* 81 : 705-716.

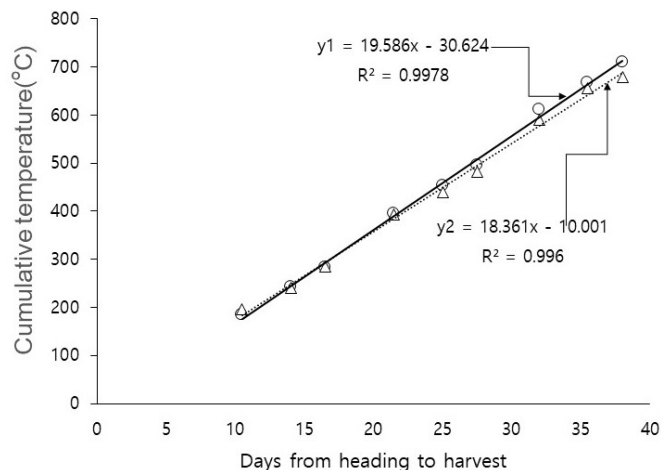


Fig. S1. Relationship between days from heading to harvest and cumulative temperature for the spring oats during the experimental years 2015 and 2016 (circles, solid line) and the 30-year period from 1980 to 2010 (triangles, dotted line).

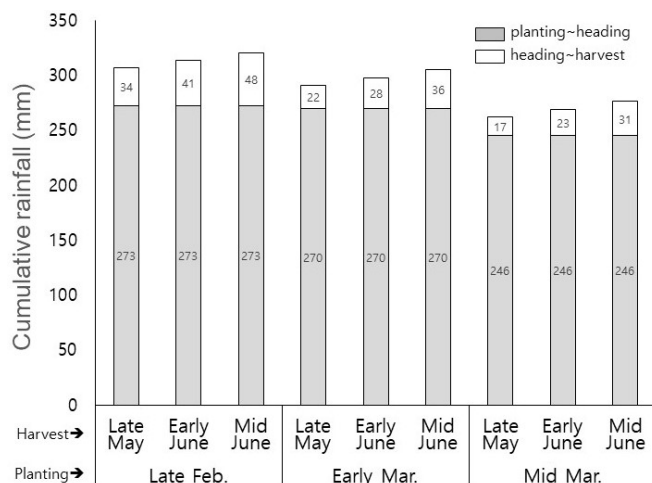


Fig. S2. Cumulative rainfall (2-year mean) from planting to harvest for summer oats grown in 2015 and 2016.

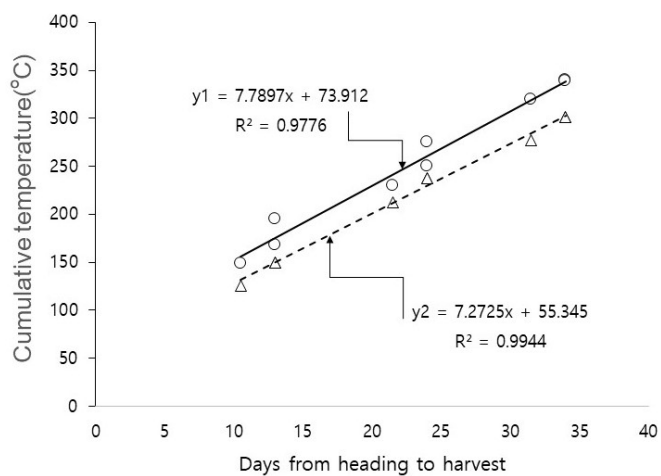


Fig. S3. Relationship between days from heading to harvest and cumulative temperature for the summer oats during the experimental years 2015 and 2016 (circles, solid line) and the 30-year period from 1980 to 2010 (triangles, dotted line).

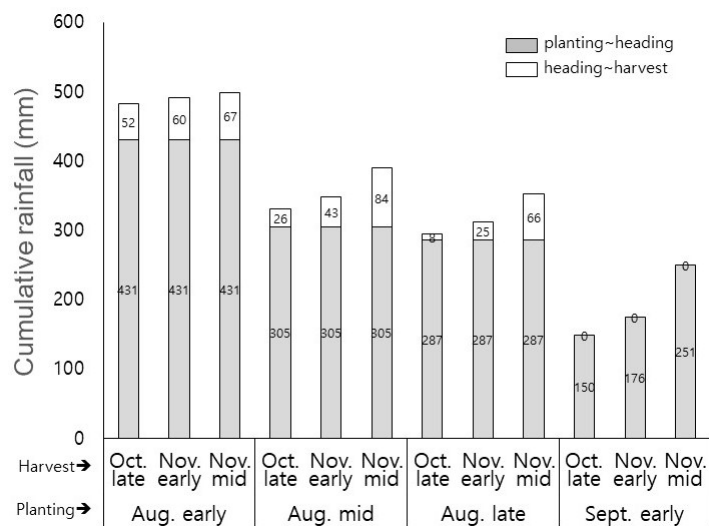


Fig. S4. Cumulative rainfall (2-year mean) from planting to harvest for summer oats grown in 2015 and 2016.

Table S1. Cumulative daily mean air temperature for spring and the summer oats during the two experimental years 2015 and 2016 and over the 30-year period from 1981 to 2010.

Planting time	Harvest time	Cumulative daily mean air temperature (°C)					
		Planting to heading		Heading to harvest		Planting to harvest	
		'15~'16	30-year	'15~'16	30-year	'15~'16	30-year
<Spring oats>							
	Late May	690	590	284	270	974	859
Late Feb.	Early June	690	590	495	468	1,185	1,058
	Mid-June	690	590	710	664	1,400	1,254
Early Mar.	Late May	724	623	242	226	966	849
	Early June	724	623	453	424	1,177	1,047
	Mid-June	724	623	668	640	1,392	1,263
Mid-Mar.	Late May	743	647	184	180	927	827
	Early June	743	647	396	378	1,138	1,025
	Mid-June	743	647	611	574	1,353	1,221
<Summer oats>							
	Late Oct.	1,449	1,341	195	138	1,643	1,478
Early Aug.	Early Nov.	1,449	1,341	275	225	1,723	1,565
	Mid-Nov.	1,449	1,341	340	289	1,789	1,630
Mid-Aug.	Late Oct.	1,091	1,056	168	138	1,259	1,193
	Early Nov.	1,091	1,056	250	225	1,341	1,281
	Mid-Nov.	1,091	1,056	339	289	1,430	1,345
Late Aug.	Late Oct.	888	875	149	114	1,037	989
	Early Nov.	888	875	230	201	1,119	1,077
	Mid-Nov.	888	875	320	265	1,208	1,141
Early Sept.	Late Oct.	744	733	No heading		744	733
	Early Nov.	827	821	No heading		827	821
	Mid-Nov.	941	885	No heading		941	885

Table S2. Cumulative rainfall for spring and summer oats during the two experimental years 2015 and 2016 and over a 30-year period from 1981 to 2010.

Planting time	Harvest time	Cumulative rainfall (mm)					
		Planting to heading		Heading to harvest		Planting to harvest	
		'15~'16	30-year	'15~'16	30-year	'15~'16	30-year
<Spring oats>							
	Late May	273	208	34	57	307	265
Late Feb.	Early June	273	208	41	89	314	298
	Mid-June	273	208	48	138	321	347
Early Mar.	Late May	270	197	22	47	291	243
	Early June	270	197	28	79	298	276
	Mid-June	270	197	36	136	305	332
Mid-Mar.	Late May	246	190	17	37	262	227
	Early June	246	190	23	69	269	259
	Mid-June	246	190	31	118	276	308
<Summer oats>							
	Late Oct.	431	454	52	17	483	472
Early Aug.	Early Nov.	431	454	60	35	491	490
	Mid-Nov.	431	454	67	52	498	506
Mid-Aug.	Late Oct.	305	314	26	17	332	331
	Early Nov.	305	314	43	35	349	349
	Mid-Nov.	305	314	84	52	390	365
Late Aug.	Late Oct.	287	223	8	14	295	237
	Early Nov.	287	223	25	32	312	255
	Mid-Nov.	287	223	66	48	353	271
Early Sept.	Late Oct.	150	150	No heading		150	150
	Early Nov.	176	168	No heading		176	168
	Mid-Nov.	251	185	No heading		251	185

Table S3. Analysis of variance for the contents of crude protein and total digestible nutrients (TDN) in forage oats planted in spring.

Source	df	F-value	p-value
<Crude protein content>			
Planting time (P)	2	1.82	0.1923
Harvest time (H)	2	17.30	<.0001
Variety (V)	1	2.97	0.1031
P×H	4	0.02	0.9991
P×V	2	0.58	0.5729
H×V	2	0.80	0.4663
P×H×V	4	0.52	0.7194
<TDN content>			
Planting time (P)	2	0.43	0.6604
Harvest time (H)	2	9.56	0.0017
Variety (V)	1	1.29	0.2714
P×H	4	1.13	0.3775
P×V	2	0.34	0.7138
H×V	2	0.12	0.8866
P×H×V	4	1.96	0.1470

Table S4. Analysis of variance for dry matter (DM) and total digestible nutrient (TDN) yields of forage oats planted in spring.

Source	df	F-value	p-value
<DM yield>			
Planting time (P)	2	2.38	0.1224
Harvest time (H)	2	108.10	<.0001
Variety (V)	1	0.02	0.8857
P×H	4	1.34	0.2944
P×V	2	0.80	0.4666
H×V	2	0.67	0.5241
P×H×V	4	0.41	0.7999
<TDN yield>			
Planting time (P)	2	2.32	0.1281
Harvest time (H)	2	94.34	<.0001
Variety (V)	1	0.03	0.8673
P×H	4	2.05	0.1332
P×V	2	0.58	0.5711
H×V	2	0.71	0.5046
P×H×V	4	0.23	0.9187

Table S5. Analysis of variance for contents of crude protein and total digestible nutrients (TDN) of forage oats planted in summer.

Source	df	F-value	p-value
<Crude protein content>			
Planting time (P)	3	2.05	0.1656
Harvest time (H)	2	0.03	0.9697
Variety (V)	1	1.30	0.2790
P×H	6	0.13	0.9902
P×V	3	1.21	0.3517
H×V	2	2.36	0.1400
P×H×V	6	1.34	0.3189
<TDN content>			
Planting time (P)	3	0.88	0.4803
Harvest time (H)	2	0.46	0.6415
Variety (V)	1	0.08	0.7861
P×H	6	0.17	0.9789
P×V	3	0.94	0.4564
H×V	2	1.18	0.3447
P×H×V	6	1.02	0.4602

Table S6. Analysis of variance for dry matter (DM) and total digestible nutrient (TDN) yields of forage oats planted in summer.

Source	df	F-value	p-value
<DM yield>			
Planting time (P)	3	3.11	0.0708
Harvest time (H)	2	19.87	0.0002
Variety (V)	1	0.45	0.5162
P×H	6	0.58	0.7407
P×V	3	0.21	0.8885
H×V	2	0.17	0.8428
P×H×V	6	0.15	0.9855
<TDN yield>			
Planting time (P)	3	3.07	0.0728
Harvest time (H)	2	17.46	0.0004
Variety (V)	1	0.35	0.5682
P×H	6	0.55	0.7596
P×V	3	0.21	0.8888
H×V	2	0.07	0.9350
P×H×V	6	0.19	0.9745