Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science 41(1): 47~55, 2021
https://doi.org/10.5333/KGFS.2021.41.1.47

ISSN 2287-5824 (Print)
ISSN 2287-5832 (Online)

Research Article

수량예측모델을 통한 Alfalfa 수량에 영향을 미치는 기후요인 및 토양요인의 기여도 평가

김지융[1], 김문주[2], 조현욱[1], 이배훈[3], 조무환[1], 김병완[1], 성경일[1,*]

[1]강원대학교, 동물생명과학대학, 춘천, 24341

[2]강원대학교, 동물자원공동연구소, 춘천, 24341

[3]농촌진흥청, 국립축산과학원, 천안, 31000

Assessment of Contribution of Climate and Soil Factors on Alfalfa Yield by Yield Prediction Model

Ji Yung Kim[1], Moon Ju Kim[2], Hyun Wook Jo[1], Bae Hun Lee[3], Mu Hwan Jo[1], Byong Wan Kim[1] and Kyung Il Sung[1,*]

[1]College of Animal Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Republic of Korea

[2]Institute of Animal Resources, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Republic of Korea

[3]National Institute of Animal Science, RDA, Cheonan, 31000, Republic of Korea

ABSTRACT

The objective of this study was to access the effect of climate and soil factors on alfalfa dry matter yield (DMY) by the contribution through constructing the yield prediction model in a general linear model considering climate and soil physical variables. The processes of constructing the yield prediction model for alfalfa was performed in sequence of data collection of alfalfa yield, meteorological and soil, preparation, statistical analysis, and model construction. The alfalfa yield prediction model used a multiple regression analysis to select the climate variables which are quantitative data and a general linear model considering the selected climate variables and soil physical variables which are qualitative data. As a result, the growth degree days(GDD) and growing days(GD), and the clay content(CC) were selected as the climate and soil physical variables that affect alfalfa DMY, respectively. The contributions of climate and soil factors affecting alfalfa DMY were 32% (GDD, 21%, GD 11%) and 63%, respectively. Therefore, this study indicates that the soil factor more contributes to alfalfa DMY than climate factor. However, for examming the correct contribution, the factors such as other climate and soil factors, and the cultivation technology factors which were not treated in this study should be considered as a factor in the model for future study.

(**Key words**: Alfalfa, Climate, Soil Physical property, Yield prediction model, Assessment)

Ⅰ. 서 론

본 연구실에서는 풀사료의 수량예측을 위하여 다년생목초류인 알팔파(Alfalfa , Kim et al., 2017; Kim et al., 2018; Kim et al., 2019; Kim et al., 2020)에 대한 연구를 하고 있다. 알팔파는 다른 목초류에 비해 단위면적당 건물수량(Dry matter yield: **DMY**)이 많으며 조단백질함량(Crude protein)과 P 및 Ca 함량이 높아(Akbar and Maghsoud, 2012) 재배에 대한 관심이 높아지고 있어 관련 연구도 증가하고 있다. 양질의 알팔파 생산은 기후와 토양요인을 고려한 수량예측모델을 통하여 가능하다.

Kim et al.(2017)은 수원지역에서 기후요인(기온 및 강수를 이용하여 생성한 기상변수 각각 5개 및 4개)을 이용하여 알팔파 수량예측모델을 제시하였다. 또한 기후요인에 토양요인(토성 등 토양의 물리성을 이용하여 생성한 가변수 6개, 토양물리성변수)을 함께 고려한 알팔파 수량예측모델(Kim et al., 2018)연구에서는 수집한 알팔파 자료가 수원지역에 국한되므로 토양요인이 제한되는 문제점이 있었다. 즉, 알팔파 수량예측모델 작성에 토양물리성변수가 DMY에 미치는 효과는 기대할 수 없었다. 알팔파는 배수에 민감하므로 토양의 점토함량(Clay contents: CC)이 증가하면 배수 및 통기가 불량해져 근류균 감소 및 뿌리의 생육저하(Steve, 2007)로 DMY도 감소한다. Kim et al.(2019)은 알팔파의 생육에 미치는 영향이 가장 클 것으로 생각되는 CC의 수준별 수량예측모델을 제시하였다. 한편 Kim et al.(2018; 2019)의 보고는 토양요인 중 질적변수(토성, 배수등급, 경사도)를 양적자료로 사용하여 다중회귀분석으로 수량예측모델을 제시하였다. 그러나 토양요인 중 토성, 배수등급 및 경사도는 질적자료이기 때문에 양적자료에 적합한 다중회귀분석으로 알팔파 DMY에 대한 효과를 설명하는데 한계가

*Corresponding author: Kyung Il Sung, Department of Animal Life Science, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Republic of Korea
Tel: +82-33-250-8635, E-mail: kisung@kangwon.ac.kr

있었다. 따라서 알팔파 수량예측모델 구축 시 질적변수인 토양물리성 변수는 다중회귀분석보다는 일반선형모델을 이용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

알팔파는 기온변화에 대한 적응성이 넓어 -25~50℃ 에서도 생장 가능하며 뿌리가 땅속 깊이 침투하는 심근성으로 가뭄에 강한 편이므로(Park et al., 2005) 재배할 수 있는 범위가 넓다. 반면 알팔파의 생육은 토양의 이화학적 특성 중 토양물리성(배수, 유효토심 및 경사 등)과 토양화학성(pH, 염도 및 붕소함량 등)에 민감하게 반응한다(Steve, 2007). 즉 알팔파 재배 시 토양요인은 생육에 영향을 주는 효과가 기후요인보다 큰 것으로 알려져 있지만 실제 기후와 토양요인이 DMY에 어느 정도 영향을 주는지에 대한 연구결과는 전무한 실정이다. 그러므로 알팔파의 DMY에 기후요인 및 토양요인이 주는 영향을 수량예측모델을 작성하여 각각의 요인에 DMY에 영향을 주는지를 기여도로 확인할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 알팔파 DMY에 기후요인과 토양요인 중 어느 요인이 어느 정도 영향을 미치는지를 수량예측모델을 통해 기여도를 이용하여 평가하였다. 수량예측모델은 양적자료인 기후변수과 질적자료인 토양물리성변수을 모두 고려할 수 있는 일반선형분석방법을 이용하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 자료 수집 및 가공

알팔파 수량예측모델 구축의 흐름도는 Fig. 1과 같았다. 알팔파 자료는 1983년부터 2008년까지 25년간 국립축산과학원의 축산시험연구보고서 192점, 농협중앙회의 목초 및 사료작물 품종수입적응성 시험인증품종자료 69점, 한국초지조사료회지 18점 및 한국축산학회지 1점으로 총 280점을 이용하였다. 알팔파 자료의 지역별 분포는 수원 148점, 평창 61점, 남원 36, 이천 25점, 나주 6점 및 천안 4점 이었다. 알팔파 자료의 수집항목은 실험지역, 품종, 실험연도, 파종연도, 파종일, 파종량, 파종방법, 시비량(N-P-K-석회-붕소), 수확일, 수확횟수, 건물수량 및 조성년차 였다. 기후요인 자료는 기상청의 기상자료개방포털(KMA, Weather data service - Open MET data portal, data.kma.go.kr)로부터 알팔파의 재배연도와 실험지역을 기준으로 수집하였으며 실험지역에 기상대가 있다면 실험지역의 기상대자료를, 실험지역에 기상대가 없다면 실험지역에서 직선거리로 가장 가까운 기상대자료를 수집하였다. 기후요인으로는 일평균기온, 일최저기온, 일최고기온, 일강수량, 강수일수 및 일조시간을 수집하였다. 토양요인 자료는 흙토람(KSIS, Korea Soil Information System, soil.rda.go.kr)에서 알팔파 재배지의 주소지를 기준으로 수집하였다. 토양요인으로는 토성, 배수등급, 경사도, 유효토심, 자갈함량 및 표토암반노출을 수집하였다.

알팔파의 수량예측모델 구축을 위한 dataset은 다음과 같은 가공절차를 거쳐서 작성하였다. 1차 가공은 수집한 알팔파, 기후요인 및 토양요인 자료를 각각 엑셀에 입력하는 과정이었다. 2차 가공은 수집한 각 자료의 오류를 확인하는 과정으로 중복(10점), 오기(0점) 및 오산(0점)자료 였다.

3차 가공은 알팔파, 기후요인 및 토양요인 자료를 병합하고 이 자료를 다시 기상변수와 토양물리성변수로 생성하는 과정으로 반응변수인 DMY(kg/ha)과 설명변수인 기상변수 및 토양물리성변수를 나타냈다(Table 1). 생육일수 0(Growing Days 0: **GD 0**, day)은 0~25℃의 일평균기온을 기록한 일의 합이며 생육일수 5(Growing

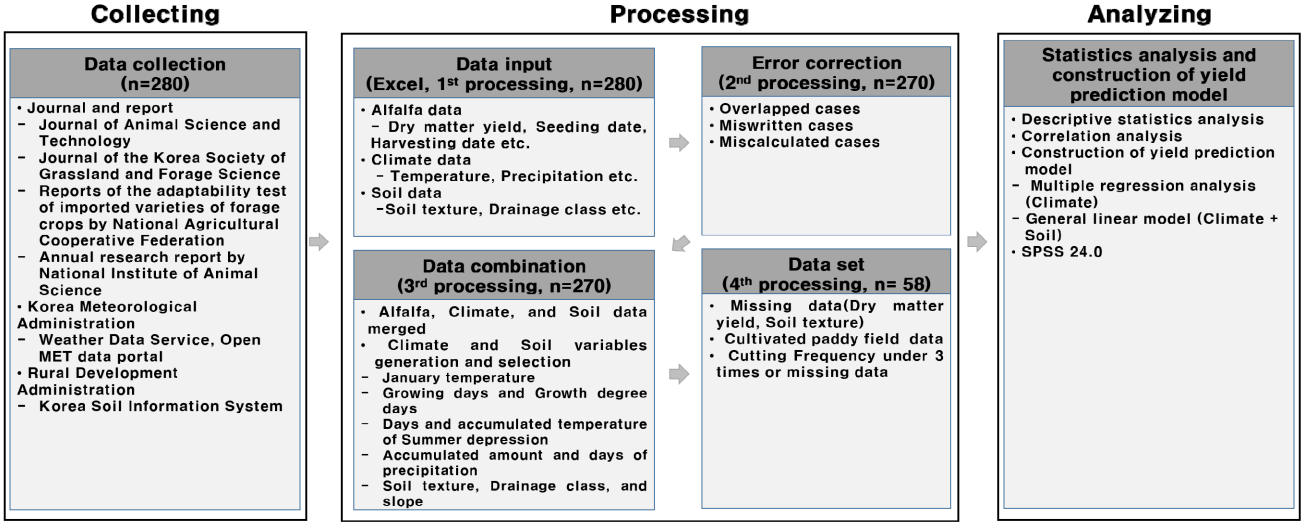

Fig. 1. Flowchart of yield prediction procedure in this study.

Table 1. The definition of variables contains unit, abbreviation, and name in the alfalfa dataset

Contents	Category	Abbreviation	Unit	Variable name
Alfalfa	Yield	DMY	kg/ha	Dry Matter Yield
Climate	Temperature	GD 0, 5	day	Growing Days 0, 25
	Accumulated temperature	GDD 0, 0~25, 0~30, 5, 5~25, 5~30, 10, 10~25, 10~30	℃	Growing Degree Days 0, 0~25, 0~30, 5, 5~25, 5~30, 10, 10~25, 10~30
	Precipitation	NDP 0, 5	day	Number of Days with Precipitation 0, 5
		AAP 0, 5	mm	Accumulated Amount of Precipitation 0, 5
	Accumulated duration of sunshine	ADS 0, 0~25, 0~30, 5, 5~25, 5~30, 10	hr	Accumulated Duration of Sunshine 0, 0~25, 0~30, 5, 5~25, 5~30, 10,
Soil	Soil physical properties	ST	Nomial	Soil Texture
		DC	Class	Drainage Class
		Sl	%	Slope
		ESD	cm	Effective Soil Depth
		GC	%	Grave Contents
		RRS	%	Red Rock on Surface

Days 5: **GD 5**, day)는 0~25℃의 일평균기온을 기록한 일의 합이다. 생육도일 0(Growing Degree Days 0: **GDD 0**, day)은 일평균기온이 0℃일 때 알팔파 GDD의 합이며 생육도일 0~25(Growing Degree Days 0~25: **GDD 0~25**, day)는 일평균기온이 0~25℃일 때 알팔파 GDD의 합이다. 나머지 생육도일과 관련 변수(**GDD 0~30, 5, 5~25, 5~30, 10, 10~25** 및 **10~30**, ℃)는 위의 표기방법과 동일하였다. 상기와 같이 알팔파의 생육도일을 구분한 이유는 알팔파의 생육 Base 온도를 5℃로 정하고(Sharratt et al., 1989) 있지만, 알팔파를 생장상에서 재배한 경우 기온이 5℃ 이하에서 잎의 성장이 하였다고하여(Wolf and Blaser, 1971) 알팔파 DMY에 영향을 미치는 다양한 생육 Base 온도 기준을 0, 5 및 10℃로 하였다. 또한 북방형 목초인 알팔파는 25℃ 이상에서 하고현상이 발생하므로 알팔파의 생육이 가능한 온도를 25 와 30℃로 하였다.

강수일수 0 및 5(Number of Days with Precipitation 0 및 5 mm: **NDP 0** 및 **5**, day)은 일평균기온이 0℃ 이상인 일 중 0 및 5 mm 이상의 강수량을 기록한 일의 합이었다. 적산강수량 0 및 5(Accumulated Amount of Precipitation 0 및 5 mm: **AAP 0** 및 **5**, mm)는 일평균기온이 0℃ 이상인 일 중 0 및 5 mm이상의 강수량을 기록한 일의 강수량의 합이었다. Park et al.(2006)은 농업가뭄의 지표 중 무강우지수를 만들기 위해 사용한 무강우일수의 기준이 일강수량 5 mm 이하로 계산하였기 때문에 본 연구에서는 0과 5 mm를 구분하였다.

적산일조시간 0℃(Accumulated Duration of Sunshine 0: **ADS 0**, hr)은 일평균기온이 0일 때 일조시간의 합이며 생육도일 0~25(Accumulated Duration of Sunshine 0~25: **ADS 0~25**, hr)는 일평균기온이 0~25℃일 때 일조시간의 합이다. 나머지 적산일조시간과 관련 변수(**ADS 0~30, 5, 5~25, 5~30, 10, 10~25** 및 **10~30**, hr)는 위의 표기방법과 동일하였다.

토양물리성변수 중 CC는 사양토, 미사질양토 및 양토가 각각 0~20, 0~27 및 7~27%이었으나 본 연구에서는 각각의 평균값인 10, 13.5 및 17%를 사용하였다. 배수등급(Drainage Class: **DC**)은 1(매우불량), 2(불량), 3(약간불량), 4(약간양호), 5(양호) 및 6(매우양호)으로 하였다. 경사도(Slope: **Sl**, %)는 0~2, 2~7, 7~15, 15~30, 30~60 및 60~100%의 범위로 되어있으나 본 연구에서는 각각의 상한값인 2, 7, 15, 30, 60 및 100으로 사용하였다. CC, DC 및 Sl은 배수에 민감하다고 알려져 있는 알팔파의 생육에 영향 줄 수 있는 것으로 생각되어 고려하였다. 유효토심(Effective soil depth: **ESD**), 자갈함량(Grave contents: **GC**), 표토암반노출(Red rock on surface: **RRS**)은 값이 한개이므로 본 연구에서는 사용할 수 없었다.

4차 가공은 알팔파 수량예측모델에 사용할 최종 dataset을 만드는 과정으로 풀사료 전문가와의 회의를 통해서 이상점(Outliers)을 제거하였다. 이상점은 수량이 없는 자료 3점, 토성이 없는 자료 24점, 논에서 재배한 자료 9점, 수확횟수가 3회 미만 자료 9점, 수확횟수가 없는 자료 28점 총 83점을 제거하여 최종 dataset은 총 197점 이었다. 최종 dataset의 지역별 분포는 수원 118점, 평창 37점, 남원 27점 및 이천 15점이 였으며, 파종 시 고려해야 하는 요인으로 토성의 종류 및 시비수준이 제한되어 있고 품종도 대부분 내한성이 강한 것 위주로 되어있어 자료의 다양성이 적었다는 한계가 있었다.

2. 통계분석

알팔파 DMY에 영향을 미치는 기후요인 및 토양요인의 기여도는 기술통계분석, 상관분석, 다중회귀모형분석 및 일반선형모형분석(LM)의 통계분석을 통해서 확인하였다. 기술통계분석은 기후 및 토양요인을 고려한 알팔파의 재배환경 및 DMY를 포함하는 작물

Table 2. The characteristics of variables in the alfalfa dataset(n=197, 1983~2008)

Category	Variables	Mean	Median	Quartile		Standard deviation
				1st	3rd	
Yield	DMY[1]	13,656.7	14,030.0	8,638.5	18,430.0	6,592.6
Temperature	GD[2] 0	275.3	277.0	263.0	290.0	14.9
	GD 5	219.7	219.0	214.0	229.0	11.6
Accumulated temperature	GDD[3] 0	4,386.8	4,536.2	4,346.1	4,718.1	539.8
	GDD 0~25	4,334.4	4,501.6	4,324.3	4,660.1	509.0
	GDD 0~30	4,386.5	4,536.2	4,346.1	4,718.1	539.4
	GDD 5	3,006.0	3,162.0	2,966.3	3,250.6	448.5
	GDD 5~25	2,953.5	3,104.0	2,944.0	3,181.5	417.2
	GDD 5~30	3,005.7	3,162.0	2,966.3	3,250.6	448.1
	GDD 10	1,889.0	2,030.7	1,858.0	2,119.5	366.5
	GDD 10~25	1,836.5	1,969.6	1,836.2	2,021.7	335.2
	GDD 10~30	1,888.7	2,030.7	1,858.0	2,119.5	366.1
Precipitation	NDP[4] 0	102.5	100.0	94.0	106.0	15.7
	NDP 5	47.5	47.0	45.0	50.0	9.6
	AAP[5] 0	1,347.0	1,292.2	1,127.0	1,435.0	364.2
	AAP 5	1,257.4	1,201.3	1,037.0	1,360.0	366.5
Accumulated duration of sunshine	ADS[6] 0	1,746.5	1,748.9	1,580.3	1,883.6	208.7
	ADS 0~25	1,586.2	1,643.6	1,459.1	1,726.4	167.6
	ADS 0~30	1,743.4	1,748.9	1,580.3	1,870.3	206.3
	ADS 5	1,451.0	1,477.2	1,275.3	1,615.4	192.8
	ADS 5~25	1,290.7	1,334.7	1,160.0	1,414.6	150.9
	ADS 5~30	1,448.0	1,465.7	1,275.3	1,551.0	191.3
	ADS 10	1,178.1	1,256.0	1,045.0	1,287.4	184.7

[1]Dry Matter Yield, [2]Growing Days from 0 to 30, [3]Growing Degree Days from 0 to 30, [4]Number of Days with Precipitation from 0 to 30, [5]Accumulated Amount of Precipitation from 0 to 30, [6]Accumulated Duration of Sunshine 0 to 30

정보를 검토하기 위해서 수행하였으며 중심위치는 평균과 중앙값에 의해, 분포는 사분위수와 표준편차에 의해 각각 설명하였다.

상관분석에서는 알팔파 생육에 영향을 주는 기상변수 중 성격이 같은 항목(예를 들어 GD 0과 GD 5는 수준이 다를 뿐 생육일수라는 성격은 같음)은 그 중에서 연관성이 가장 높은 것 하나만 선택하였다. 나머지 기상변수도 위의 동일한 방법으로 선택하였으며 항목이 하나인 경우에는 그것을 선택하였다. 토양물리성변수는 상관분석을 통해서 알팔파 DMY와 연관성이 높은 것을 선택하였다. 연관성의 경우 양적자료인 기상변수는 피어슨 상관계수(Pearson correlation)로 질적자료인 토양물리성변수는 스피어만 상관계수(Spearman correlation)로 평가하였다.

알팔파 DMY에 영향을 주는 기상변수는 다중회귀모형분석(Multiple regression analysis)의 단계적 선택법(Stepwise)을 사용하여 선택하였다. 단계적 선택법에 의한 최적의 알팔파 수량예측모형은 해석력(R^2)과 다중공선성(Multicollinearity)을 확인하는 분산확대인자(Variance Inflation Factor: VIF)를 사용함으로 본 연구에서도 가장 높은 해석력(R^2)과 선택된 기상변수의 VIF가 4 미만인 것을 선택하였다. 여기서 다중공선성은 선택된 기상변수들 중에서 알팔파 DMY에 주는 영향이 중복되어 기상변수의 효과가 과대 또는 과소평가 되는 것으로 이를 확인하기 위해서 VIF를 사용하였다.

알팔파 DMY에 영향을 주는 기상변수와 토양물리성변수의 기여도는 일반선형모형분석(General Linear Model: LM)의 부분에타제곱(Partial eta-squared, η^2)으로 확인하였다. 본 연구에 사용된 통계분석은 SPSS 24.0(IBM Corp.)를 사용하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 기후요인 및 토양요인을 고려한 알팔파의 작물정보 및 재배환경

기상변수 및 토양물리성변수를 고려한 수량예측모델을 구축하기에 위해서는 1983년부터 2008년까지의 알팔파 DMY(양적자료), 기상변수(양적자료) 및 토양물리성변수(질적자료)가 정규분포를 이루는지 확인할 필요가 있었다. 알팔파 DMY와 기상변수의 분포는 Table 2에 제시하였다. 알팔파 DMY (kg/ha)의 평균과 중앙값은 각각 13,657 및 14,030로 비슷한 수준이었다. 기온, 적산온도, 강수량 및 적산일조시간의 각 기상변수도 평균과 중앙

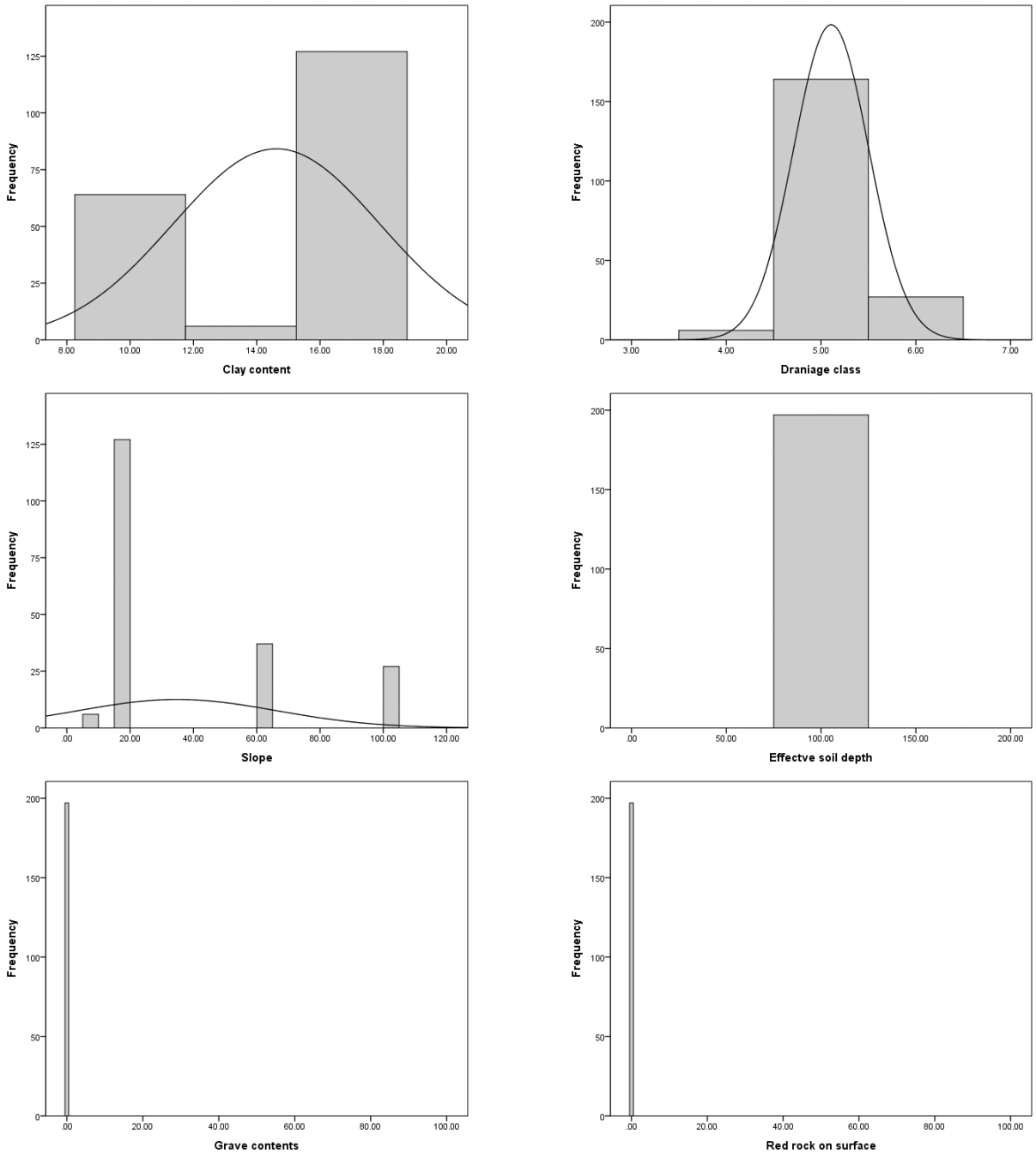

Fig. 2. Histograms showing distribution of soil variables in alfalfa dataset(n=197, 1983~2008).

값이 거의 비슷하였다. 또한 알팔파 DMY 와 기상변수 모두 평균과 제 1 및 3 사분위수 간의 차이가 비슷하게 나타나났다. GD 0 (일)과 GD 5 (일) 평균의 차이가 55.6이 이었다. GDD (℃)의 경우 생육 Base 온도기준으로 0, 5 및 10에서 범위가 각각 약 4,300, 3,000 및 1,800으로 차이가 있었다. AAP 0 와 AAP 5의 평균은 변수간 차이가 없었다. ADS 0~25 평균은 ADS 0 또는 ADS 0~30 간에, ADS 5~25 평균은 ADS 5 또는 ADS 5~30 평균 간에 차이가 있었다.

토양물리성변수의 분포는 Fig. 2에 제시하였다. CC가 DC와 Sl보다 빈도가 고루 분포하고 있었다.

Table 3. Association between climatic variables for selection by using correlation coefficient in the alfalfa dataset

	DMY[1)]	GD 0[2)]	NDP 5[3)]	AAP 0[4)]	GDD 0~25[5)]	ADS 10[6)]
DMY	1.00	0.58**	-0.13	-0.02	0.70**	0.53**
GD 0	0.58**	1.00	0.13	0.04	0.47**	0.39**
NDP 5	-0.13	0.13	1.00	0.87**	-0.20**	-0.59**
AAP 0	-0.02	0.04	0.87**	1.00	-0.18*	-0.25**
GDD 0~25	0.70**	0.47**	-0.20**	-0.18*	1.00	0.81**
ADS 10	0.53**	0.39**	-0.59**	-0.25**	0.81**	1.00

*: $p<0.05$, **: $p<0.01$

[1)]Dry Matter Yield, [2)]Growing Days 0, [3)]Number of Days with Precipitation 5, [4)]Accumulated Amount of Precipitation 5, [85)]Growing Degree Days 0~25, [6)]Accumulated Duration of Sunshine 10

Table 4. Association between soil physical properties variables for selection by using correlation coefficient in the alfalfa dataset

	DMY[1)]	CC[2)]	DC[3)]	Sl[4)]
DMY	1.00	0.62**	-0.15	-0.46**
CC	0.62**	1.00	-0.45**	-0.87**
DC	-0.15	-0.45**	1.00	0.76**
Sl	-0.46**	-0.87**	0.76**	1.00

**: $p<0.01$

[1)]Dry Matter Yield, [2)]Clay contents, [3)]Drainage class, [4)]Slope

Table 5. Selection the effective climatic variables on dry matter yield of alfalfa by using multiple regression analysis

Variable	Coefficient	Beta	*t*	*p*-Value	VIF	Adjusted R^2
Constant	-55,641.9		-9.6	<0.01		
GDD 0~25[1)]	7.1	0.56	10.1	<0.01	1.3	0.56
GD 0[2)]	140.4	0.32	5.9	<0.01	1.3	

[1)]Growing Degree Days 0~25, [2)]Growing Days 5

2. 알팔파의 DMY에 대한 기후요인 및 토양요인의 연관성

본 연구(재료 및 방법의 통계분석)에서 서술한 바와 같이 상관분석에서는 알팔파 생육에 영향을 주는 기상변수 중 성격이 같은 항목은 그 중에서 연관성이 가장 높은 것 하나만 선택하였다(Table 3). 그 결과 알팔파 DMY와 기상변수로는 GD 0, GDD 0~25, NDP 5, AAP 0 및 ADS 10을 선택하였다

토양물리성변수는 알팔파 DMY와 연관성이 가장 큰 CC를 선택하였다(Table 4).

3. 알팔파 건물수량에 영향을 주는 기상변수의 선택

알팔파 수량예측모델에 사용할 기상변수는 GDD 0~25 와 GD 0이 선택되었다(Table 5). DMY에 미치는 효과(beta)는 GDD 0~25가 0.56으로 GD 0 0.32 보다 약 1.8배 크게 나타났다. 반면 상관분석을 통해서 나타난 알팔파 DMY와 기상변수 간 연관성과 회귀분석에서 변수의 NDP 5 및 AAP 0 계수의 부호가 반대로 나타나 변수로 선택되지 않았다. ADS 10은 알팔파 DMY에 영향을 주지 않아($p>0.01$) 변수로 선택되지 않았다.

4. 알팔파 건물수량에 영향을 주는 기후요인 및 토양요인의 기여도 평가

일반선형모형에 사용한 기상변수는 다중회귀분석을 통해서 선발된 GDD 0~25와 GD 0이였고 토양물리성변수는 상관분석을 통해서 선발된 CC 였다(Table 6). 부분에타제곱을 통한 기여도 평가 시 GDD 0~25, GD 0 및 CC는 각각 0.21, 0.11 및 0.63으로 CC가 가장 높았다. 요인별 기여도의 부분에타제곱은 기후요인(적산온도, 0.21와 생육일수, 0.11)이 0.32, 토양요인(점토함량)이 0.63으로 나타나 토양요인이 기후요인보다 높았다. 알팔파 수량예측모델에서 기후요인과 토양요인의 부분에타제곱의 합은 0.95였고 모델에 의해 설명되지 않는 부분에타제곱은 0.5이었다.

Table 6. Assessment on the contribution ratio of climatic and soil physical properties variables for alfalfa dry matter yield by using general linear model (Adjusted R^2 = 0.93)

Variable	Coefficient	Standard Error	*t*	*p*-Value	Partial eta squared
GD 0[1)]	113.4	23.3	4.9	<0.01	0.11
GDD 0~25[2)]	5.5	0.8	7.2	<0.01	0.21
CC[3)]= 10.0[4)]	-43,759.1	5,866.1	-7.5	<0.01	0.23
CC= 13.5[5)]	-44,305.0	5,967.9	-7.4	<0.01	0.22
CC= 17.0[6)]	-39,806.5	6,158.4	-6.5	<0.01	0.18

[1)]Growing Days 0, [2)]Growing Degree Days 0~25, [3)]Clay contents, [4)]Sandy loam, [5)]Silty loam, [6)]Loam

Ⅳ. 고 찰

본 연구에서 알팔파 DMY는 평균과 중앙값이 비슷하고 평균과 제 1 및 3 사분위수 간의 차이가 비슷하여 정규분포를 만족하는 것으로 판단된다. 또한 모든 기상변수도 정규분포를 만족하는 것으로 나타나 수량예측모델에 사용하는 것은 문제가 없는 것으로 판단된다. GD 0(일)과 GD 5(일)의 평균의 차이가 55.6이라는 것은 Calendar법으로 알팔파를 수확 할 때 1차 수확이후 수량, 품질 및 지속성 등 이용목적에 따라 수확간격이 28~55 일(Dan et al., 2011)임을 고려할 때, DMY에 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다. GDD (℃)의 경우 생육 Base 온도기준으로 0, 5 및 10에서 범위가 각각 약 4,300, 3,000 및 1,800으로 차이가 있어 선택되는 GDD 변수에 따라 DMY에 미치는 영향이 클 것으로 판단된다. AAP 0 와 AAP 5의 평균은 변수 간 차이가 없다는 것은 알팔파 DMY에 미치는 영향이 비슷하여 변수로 반영되지 않을 수 있다. ADS 0~25 평균은 ADS 0 또는 ADS 0~30 간에, ADS 5~25 평균은 ADS 5 또는 ADS 5~30 평균 간에 차이가 있어 알팔파 DMY에 영향을 줄 수 있는 변수로 선택될 가능성이 있는 것으로 판단된다.

Fig. 2에서 CC의 빈도가 DC와 Sl보다 골고루 분포한다는 것은 배수가 양호한 곳과 경사가 없는 곳에서 알팔파를 재배하고 있어 토양의 다양한 특성을 나타낼 수 없음으로 알팔파 수량예측모델 구축 시 DC와 Sl은 변수로 반영되지 않을 수 있음을 시사한다.

상관분석을 통해서 선택된 알팔파 DMY와 기상변수로는 GD 0, GDD 0~25, NDP 5, AAP 0 및 ADS 10이었다. DMY와 연관성이 높은 변수로 GDD 0~25와 GD 0가 선택되었는데 두 변수 모두 생육 Base 온도가 0℃인 것이 선택되어 기존에 알려진 Alfalfa의 생육 Base 온도가 5℃인 것(Sharratt et al., 1989.)과는 다르게 나타났다. 이것은 Wolf and Blaser(1971)가 생장상에서 알팔파가 기온 5℃ 이하에서도 잎이 성장한다는 보고와 일치한다. 한편 NDP 5와 AAP 0는 알팔파 DMY와의 연관성이 다른 기상변수 보다 낮았는데 이는 알팔파가 심근을 가지고 있어 긴 생육기간 동안 가뭄에 저항성이 강한 것(Park et al., 2005)을 고려하면 강수에 민감하지 않은 변수일 수 있다. 알팔파는 연간 1,000 mm이상의 강수량을 요구한다고(John, 1998) 알려져 있는데 국내 평년강수량이 1,349.7 mm (KMA, 2011)임을 고려한다면 강수변수가 알팔파의 DMY에 미치는 영향은 적은 것으로 생각된다.

알팔파는 배수에 민감하다고 알려져 있어(Park et al., 2005), 알팔파 DMY에 영향을 주는 변수로 DC가 선택될 것으로 생각하였지만 실제 선택된 변수는 CC였다. 그 이유는 CC이 높을 수록 보비력과 보수력은 크지만 물빠짐이 나쁜 특성이 있어(Jung and Ha, 2013), 오히려 근류균 형성에 악영향을 주어 알팔파 생육에 직접적인 양향을 주는 변수로 반영될 가능성이 있다.

DMY에 미치는 효과는 GDD 0~25가 GD 0보다 크게 나타나 적산온도가 생육일수에 비해 더 중요한 변수임을 확인하였다(Christian, 1977). 선택되지 않은 기상변수인 강수일수, 적산강수량 및 적산일조시간은 적산온도나 생육일수 보다 알팔파 DMY에 미치는 효과가 적은 것으로 생각된다(Christian, 1977).

알팔파 DMY에 미치는 기상요인 및 토양요인의 기여도는 각각 32와 63%로 토양요인이 더 높았다. 기상의 경우 알팔파는 -64℃ 이하의 저온부터 49℃의 고온까지도 생존할 수 있어 온도에 대한 적응폭이 넓으므로(Kim et al., 1995) 토양보다 기상에 민감하지 않은 것으로 생각된다. 한편 알팔파는 토양에 대해서 중성~미알카리성의 토양산도(Kim et al., 1995), 점질토나 모래에서는 재배가 부적합하고 배수가 잘되는 토양(Lee et al., 2014) 등 민감하게 반응을 한다. 이는 알팔파가 기온보다 토양에 민감하게 반응하는 것으로 생각되며 본 연구에서 토양의 기여도가 기상의 기여도보다 높은 것과 일치하고 있다.

이상에서 수량예측모델을 통한 알팔파 건물수량에 영향을 주는 기후요인 및 토양요인으로는 각각 적산온도와 생육일수 및 점토함량이었다. 알팔파 건물수량에 영향을 미치는 요인별 기여도는 기후요인(적산온도, 21%와 생육일수, 11%)이 32%, 토양요인(점토함량)이 63%로 나타나 토양요인이 기후요인보다 높은 것으로 평가하였다. 다만, 본 연구에서 이용한 알팔파 자료는 토성, 시비수준 및 품종이 제한되어 있어 앞으로 이들 요인을 고려한 다양한 조건의 재배실험을 통하여 보다 많은 자료축적이 요구된다.

Ⅴ. 요 약

본 연구는 기후요인과 토양요인이 알팔파 건물수량에 어느 정도 영향을 미치는지를 기여도로 평가할 목적으로, 기상변수와 토양물리성변수를 고려하여 일반선형모형으로 수량예측모델을 구축하였다. 알팔파 수량예측모델 구축과정은 알팔파, 기상 및 토양자료수집, 가공, 통계분석 및 모델구축 순이었다. 수량예측모델은 알팔파와 양적자료인 기상변수를 선택하기 위한 다중회귀분석과 질적자료인 토양물리성변수도 고려하기 위해서 일반선형모형을 사용하였다. 그 결과 DMY에 영향을 미치는 기상변수는 적산온도와 생육일수이었으며, 토양물리성변수는 점토함량이 선택되었다. DMY에 영향을 미치는 변수별 기여도는 점토함량(63%), 적산온도(21%) 및 생육일수(11%)순 이었으며 요인별 기여도는 기후요인(적산온도, 21%와 생육일수, 11%)이 32%, 토양요인(점토함량)이 63%로 나타나 토양요인이 기후요인보다 알팔파 건물수량에 더 기여하는 것으로 평가하였다. 본 연구에서 이용한 알팔파 자료는 토성, 시비수준 및 품종이 제한되어 있어 앞으로 이들 요인을 고려한 다양한 조건의 재배실험을 통하여 보다 많은 자료축적이 요구된다.

Ⅵ. 사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업의 과제번호: PJ01499604의 지원에 의해 이루어졌습니다.

Ⅶ. REFERENCES

Akbar, T. and Maghsoud, B. 2012. Alfalfa properties and livestock nutrition. In F. Jakub and P. David (Eds.), Alfalfa and clovers-properties, medicinal uses and health benefits (pp. 53-74). Botanical Research and Practices, Nova Science Publisher, New York.

Christian, K.R. 1977. Effects of the environment on the growth of alfalfa. Advances in Agronomy. 29:183-227.

Dan, U., Dennis, C., Eileen, C., Craig, G., Marlin, E.R., Mark, R., Craig, S., Glen, S. and Mark, S. 2011. Alfalfa management guide. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, U.S.A. pp. 52-53.

John, D.F. 1998. Alfalfa production handbook. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, Manhattan, Kansas, U.S.A. pp. 12-16.

Jung, Y.S. and Ha, S.K. 2013. Fundamental and application of soil science for agriculture and environmental. KUN Press, Chuncheon, Republic of Korea. pp. 31-61.

Kim, C.J., Kim, H.K., Park, G.J., Shin, C.N., Lee, S.K., Lee, I.D., Lee, J.S., Jeon, B.T., Jung, Y.K., Jo, I.H. and Han, H.J. 1995. An introduction to grassland science. Hyangmunsa, Seoul, Republic of Korea. pp. 143-179.

Kim, J.Y., Kim, M.J., Oh, S.M., Peng, J.L., Lee, B.H., Kim, S.C., Befekadu, C., Jalil, G.N., Kim, B.W. and Sung, K.I. 2017. Prediction modeling with climate factors within effective range of the alfalfa yield in Suwan area. Proceedings of 2017 Symposium and Conference of Korean Society of Grassland and Forage Science-Activation Plan of Whole Crop Rice for Enhancing the Forage Production and Utilization, The Korean Society of Grassland and Forage Science. pp. 132-133.

Kim, J.Y., Kim, M.J., Peng, J.L., Lee, B.H., Kim, S.C., Befekadu, C., Jo, M.H., Kim, B.W. and Sung, K.I. 2018. Prediction modeling using climate and soil factors within effective range of the alfalfa yield in Suwan area. Proceedings of 2018 Joint Symposium and Conference of Korean Society of Grassland and Forage Science & Korean Society of Animal Environmental Science and Technology-Grassland Revitalization by Utilization of Animal Waste for Recycling Agriculture, The Korean Society of Grassland and Forage Science. pp. 134-135.

Kim, J.Y., Kim, M.J., Peng, J.L., Lee, B.H., Kim, S.C., Befekadu, C., Jo, M.H., Kim, B.W. and Sung, K.I. 2019. Detecting the improved climatic variables and screening soil variables through alfalfa yield prediction modeling in Suwan. Proceedings of 2019 Joint Symposium and Conference of Korean Society of Grassland and Forage Science & Korean Society of Animal Environmental Science and Technology-Harmonious Coexistence between Animal Waste Recirculation and Activation of Forage Cultivation for the Production of Foods, The Korean Society of Grassland and Forage Science. pp. 80-81.

Kim, J.Y., Jo, H.W., Kim, M.J., Jo, M.H., Kim, B.W. and Sung, K.I. 2020. Effects on dry matter yield and stand persistence of alfalfa by cutting frequency using big-data. Proceedings of 2020 Symposium and Conference of Korean Society of Grassland and Forage Science-The Direction of the Korean Forage Industry for Preparation of the Import Opening, The Korean Society of Grassland and Forage Science. pp. 140-141.

KMA. 2011. Climatological normals of Korea-1981~2010. Korea Meteorological Administration, Seoul, Republic of Korea. pp. 663-664.

KMA. (2021. 1. 20). URL: https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do

KSIS. (2021.01.17). URL:http://soil.rda.go.kr/soil/index.jsp

Lee, H.J.. Chae, J.C., Lee, S.S., Guh, J.O. and Cheo, Z.R. 2014. Forage crop science. Hyangmunsa, Seoul, Republic of Korea. pp. 311-332.

Park, B.H., Kim, S.D., Kim, T.H., Sung, K.I., Lee, B.H., Lee, J.S., Jung, B.T. and Jo, I.H. 2005. Forage resource science. Hyangmunsa, Seoul, Republic of Korea. pp. 137-143.

Park, K.W., Kim, J.T., Ju, U.J. and Lee, Y.J. 2006. Application of drought indices for agricultural drought evaluation. Korean National Committee on Irrigation and Drainage. 13(1):72-81.

Sharratt, B.S., Sheaffer, C.C. and Baker, D.G. 1989. Base temperature for the application of the growing-degree-dat model to field-grown alfalfa. Field Crops Research. 21:95-102.

SPSS. 2019. IBM SPSS statistics ver. 24.0. IBM Corp., Somers, New York, U.S.A.

Steve, B.O. 2007. Choosing appropriate sites for alfalfa production. In H.P. Daniel and R. Peter (Eds.), Irrigated alfalfa management for mediterranean and desert zones (pp. 19-29). University of California Alfalfa & Forage Systems Workgroup, Oakland, California, U.S.A.

Wolf, D.D. and Blaser, R.E. 1971. Leaf development of alfalfa at several temperatures. Crop Science. 11:479-492.

(Received : March 3, 2021 | Revised : March 19, 2021 | Accepted : March 24, 2021)