

Research Article

오차드그라스의 생산량에 영향을 미치는 기후 및 재배관리의 기여도 분석

김문주¹, 김지웅², 조무환², 성경일^{2*}

¹강원대학교 동물생명과학연구소, ²강원대학교 동물생명과학대학

Analysis of Contribution of Climate and Cultivation Management Variables Affecting Orchardgrass Production

Moonju Kim¹, Ji Yung Kim², Mu-Hwan Jo³ and Kyungil Sung^{4*}

¹Institute of Animal Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Department of Animal Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

ABSTRACT

This study aimed to confirm the importance ratio of climate and management variables on production of orchardgrass in Korea (1982–2014). For the climate, the mean temperature in January (MTJ, °C), lowest temperature in January (LTJ, °C), growing days 0 to 5 (GD 1, day), growing days 5 to 25 (GD 2, day), Summer depression days (SSD, day), rainfall days (RD, day), accumulated rainfall (AR, mm), and sunshine duration (SD, hr) were considered. For the management, the establishment period (EP, 0–6 years) and number of cutting (NC, 2nd–5th) were measured. The importance ratio on production of orchardgrass was estimated using the neural network model with the perceptron method. It was performed by SPSS 26.0 (IBM Corp., Chicago). As a result, EP was the most important variable (100%), followed by RD (82.0%), AR (79.1%), NC (69.2%), LTJ (66.2%), GD 2 (63.3%), GD 1 (61.6%), SD (58.1%), SSD (50.8%) and MTJ (41.8%). It implies that EP, RD, AR, and NC were more important than others. Since the annual rainfall in Korea is exceed the required amount for the growth and development of orchardgrass, the damage caused by heavy rainfall exceeding the appropriate level could be reduced through drainage management. It means that, when cultivating orchardgrass, factors that can be controlled were relatively important. Although it is difficult to interpret the specific effect of climates on production due to neural networking modeling, in the future, this study is expected to be useful in production prediction and damage estimation by climate change by selecting major factors.

(Key words: Climate, Cultivation management, Importance ratio, Orchardgrass, Production)

I. 서론

우리나라에서 오차드그라스(*Dactylis glomerata* L.)는 툴페스큐(*Festuca arundinacea* Schreb.)와 함께 초지를 조성하는 주요 초종으로 1970년대부터 30가지 이상의 품종이 개발되고 있는 실정이다(Ji et al., 2020; RDA, 2017; Rim et al., 2003). 오차드그라스는 북방형 목초이며 재생력과 내한성이 강하여(Hannaway et al., 1998) 음지에 대한 적응성이 높은 초종이다(Baker and Jung, 1968; Henning and Risner, 1993; RDA, 2017). 이러한 특징 때문에 오차드그라스는 우리나라의 산지초지를 조성할 때 혼파초지의 주초종으로 이용되고 있다(RDA, 2017). 한편 우리나라의 장마와 무더위는 오차드그라스의 생장 및 발육에 부정적인 기후요인으로 알려져 있으며(Ji et al., 2016), 특히 여름철에는 오차드그

라스에서 하고현상이 빈번하게 발생한다. 위의 특징을 고려하였을 때 오차드그라스는 화분과 목초 중에서 더위에는 취약하지만 추위와 음지에서 생육이 양호하여 산지에서 많이 이용하는 초종이다.

IPCC(2015)은 우리나라의 기온이 지구온난화에 의해 점차 증가하고 있으며 이로 인한 이상기후는 재해 발생의 빈도 증가의 원인으로 보고하였다. 특히 2005년 이후 장마철 폭우의 빈도 및 강도는 증가하는 경향이 두드러졌다(Kim et al., 2019a). 하계 사료작물에 대한 장마철 강수량뿐 아니라(Kim et al., 2021a; 2022), 동계작물에 대해 봄 가뭄 및 가을장마에 의한 피해도 연구되고 있다(Kim and Sung, 2021a; 2022). 최근 기후온난화로 인해서 여름철 하고현상이 빈번하게 발생하고, 이로 인해 오차드그라스의 생육이 억제되기 때문에 적절한 관리기술이 필요하다

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

(RDA, 2017). 특히 여름철의 하고현상 및 장마철에 대비하기 위한 재배기술은 목초의 수확과 관련하여 예취높이와 예취기간 및 예취시기를 조절하는 것이다. 그러므로 오차드그라스의 성장 및 발육에 영향을 미치는 온도, 강우, 월동, 하고 및 일조와 같은 기후요인과 조성 및 예취와 같은 재배관리요인에 대한 평가 및 비교가 필요하다.

국내에서 북방형 목초에 대한 연구는 대부분 90년 후반부터 내한성, 다수성, 내하고 및 내습성을 육성 목표로 적응성을 확인하기 위해 수행되었다(Ji et al., 2016). Oh et al. (2017)은 혼파초지에 대해 평년 기후환경에서 수량예측을 위한 연구도 수행하여 강수일수, 하고일수, 질소시비량 및 파종밀도의 중요성을 확인하였다. 북방형 목초 중 하나인 알팔파의 수량에 대한 기후 및 토양요인의 중요도를 회귀모형을 통해 평가한 결과, 점토함량과 적산온도, 생육일수의 중요도가 높게 나타났다(Kim et al., 2021b). 우리나라에서 재배하는 대표적인 화본과 목초인 오차드그라스를 대상으로 생산량 예측 및 효과 추정에 대한 연구는 전무한 실정이다.

목초에 비해 동계 및 하계 사료작물에 대한 생산량에 영향을 미치는 기후 및 토양에 대한 수량예측 및 중요도 추정 연구는 다양하게 수행되고 있다. 동계사료작물인 청보리와 호밀은 월동준비를 위한 가을 성장기의 온도의 중요도가 높았고(Kim et al., 2016; 2020; 2021c), 남부지역을 중심으로 재배되는 이탈리아 라이그라스는 봄 성장기의 온도가 중요하여 월동 후 성장도 충분히 가능하다는 것을 확인하였다(Kim et al., 2014). 특히 이탈리아 라이그라스는 밭과 논 재배에 따른 온도와 강수의 중요성도 다르게 나타났다(Kim et al., 2019b; Kim and Sung, 2019). 또한 이탈리아 라이그라스의 생산량에 미치는 기후요인의 지역별 맵핑도 수행하였다(Kim et al., 2017). 대표적인 하계작물인 사료용 옥수수의 생산량에 영향을 미치는 기후요인 중에서는 생장 및 발육에 요구되는 적정수준을 넘는 강우량과 GDD의 중요도가 높게 평가되었다(Peng et al., 2015). 우리나라의 강우량은 수수수단그라스 교잡종의 생산량에도 부정적인 영향을 미치는 것으로 확인하였다(Peng et al., 2020). 특히 여러 번 수확하는 특성상 장마철에 집중되는 강우량보다는 토양온도 및 일조시간이 파종 및 수확 적기 결정에 중요한 요인이었다(Kim et al., 2021d). 그러나 이와 같은 대부분의 사료작물에 대한 생산량 예측 및 효과 추정을 위한 연구는 대부분 통계 모델에 의해 수행하였다. 신경망 모델은 구축과정이 블랙박스 되어 효과에 대한 해석이 어려운 단점은 있지만 기계학습을 통한 신속한 계산이 가능하고 연산의 가중치를 통해 중요도를 가늠하는데 효과적이다(Jo et al., 2021). 그러므로 본 연구는 효과에 대한 해석보다는 신경망 모형을 이용하여 어떤 요인이 연산에 상대적으로 크게 관여하는지를 중요도로 평가하였다.

그러므로 본 연구 목적은 오차드그라스의 생산량에 대한 온도, 강우, 월동, 하고 및 일조 관련 기후요인 및 조성 및 예취 관련 재배관리 요인의 중요도를 연산 가능성을 계산하여 평가 및 비교이다.

II. 재료 및 방법

1. 자료 수집 및 변수생성

오차드그라스의 원자료(n = 743)는 1982년부터 2014년까지 축산시험연구보고서(국립축산과학원, n = 188), 목초 및 사료 품종수입적응성 실험보고서(농협, n = 100), 한국초지조사료학회(n = 158), 한국축산학회(n = 297)로부터 파종일, 수확일, 조성 연차 (establishment period; EP, 0–6 year), 예취 횟수(number of cutting; NC, 2nd–5th), 건물수량(dry matter yield; DMY, kg/ha)을 수집하였다. 오차드그라스 자료의 재배지역 구성은 Fig. 1과 같다. 여기서 조성 4–6년차는 3년의 연구 종료 후 재조성 3년으로 기상 자료는, 기상청으로부터 기온, 강우 및 일조를 포함한 일일 기상 정보를 수집하였다. 기상자료는 오차드그라스의 재배연도와 재배 지역을 기반으로 매칭하였다.



Fig. 1. The sample size and production of cultivation location in the orchardgrass data (1982–2014). DMY: dry matter yield.

본 연구에서 오차드그라스의 생산량에 대한 기후요인의 중요도를 평가할 변수는 월동기와 관련된 1월 평균기온(mean temperature in January; MTJ, °C) 및 1월 최저기온(lowest temperature in January; LTJ, °C), 성장기와 관련된 0–5°C의 생장일수(growing days 0 to 5; GD 1, day) 및 5–25°C의 생장일수(growing days 5 to 25; GD 2, day), 하고일수(summer slump days; SSD, day) 강우와 관련된 강우일수(rainfall days; RD, day) 및 강우량(accumulated rainfall; AR, mm), 일조시간(sunshine duration; SD, hr)이었다.

2. 통계분석 방법

본 연구에서 통계분석은 Fig. 2과 같은 과정을 통해 수행하였다. 수집한 오차드그라스의 원자료와 기상정보로부터 오차드그라스-기후 데이터베이스를 구축하였다. 1) 기후 및 재배관리 변수를 생성하였고, 2) 오기, 오산 및 중복 기록된 오류를 수정하였으며, 3) 오차드그라스 원자료의 재배연도와 지역을 기준으로 기후변수를 매칭하여 오차드그라스 및 기상자료를 통합하였고, 4) 매칭이 불가능한 결측값과 왜곡을 야기하는 이상점(n = 8)을 제거하였

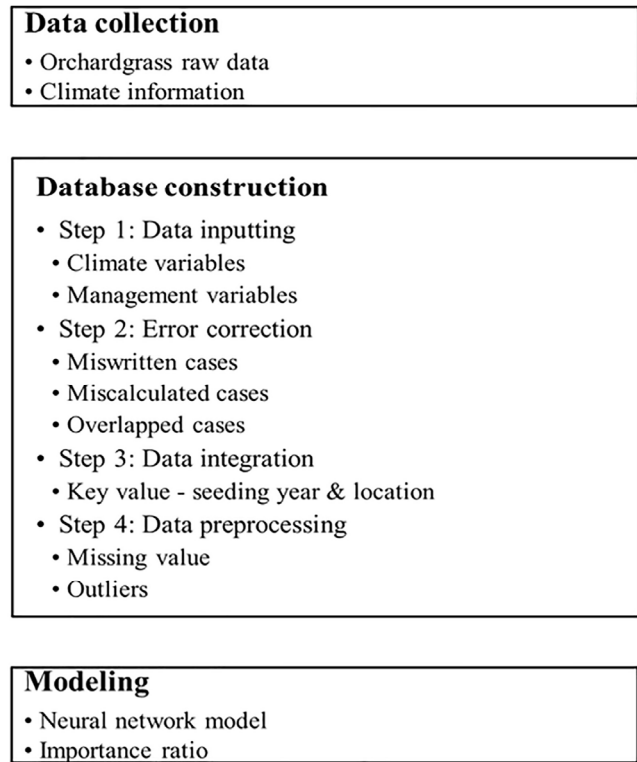


Fig. 2. The flowchart of data procedure to calculate the importance ratio of climate and management variables on production of orchardgrass by neural network modeling.

다. 이 과정을 통해 기후 및 재배관리 변수가 오차드그라스의 생산량에 미치는 효과의 중요도를 추정하기 위해 687점을 분석에 사용하였다. 중요도는 가장 중요한 변수의 영향을 100%로 계산하여 다른 변수의 중요도를 계산하였다.

본 연구에서 기후 및 재배관리 변수가 오차드그라스의 생산량에 미치는 중요도를 계산하기 위해 다음과 같은 퍼셉트론 방식의 신경망 모형을 사용하였다(Pal and Mitra, 1992):

$$X_j^{h+1} = \sum_i Y_i^h W_{ij}^h - \theta_j^{h+1}$$

여기서, X_j^{h+1} 은 $h+1$ 번째 은닉층의 j 번째 뉴런의 입력변수로 MTJ, LTJ, GD 1, GD 2, SSD, RD, AR 및 SD는 연속형 공변량으로, EP 및 NC은 고정요인이다. Y_i^h 은 h 번째 은닉층의 i 번째 뉴런의 출력변수로 최종 출력변수는 DMY이다. W_{ij}^h 은 h 번째 은닉층에서 i 번째 뉴런에서 j 번째 뉴런까지 스냅스 연결로 연산의 가중치를 의미한다. θ_j^{h+1} 은 $h+1$ 번째 은닉층의 j 번째 뉴런의 가중치 총합에 대한 임계값(threshold)이다. 신경망 모델을 생성하기 위한 학습 및 검정은 각각 70% 및 30%로 설정하였다.

통계분석 및 시각화는 SPSS 26.0 (IBM Corp., Chicago)를 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 오차드그라스에 대한 생산량, 기후 및 재배관리 변수

1982년부터 2014년까지 우리나라에서 수행한 재배실험에서 오차드그라스의 평균 DMY는 12,244 kg/ha로 나타났다(Table 1). 또한 산포를 살펴보면 DMY의 봉우리는 약 9,000 kg/ha에서 단봉의 형태를 보였고(Fig. 3A), 중요도를 계산하는데 왜곡을 야기하는 이상점도 없는 것을 확인하였다(Fig. 3B).

먼저 기상변수를 살펴보면, 우리나라에서 최한월인 1월의 평균 및 최저기온은 각각 -0.94 ± 3.25 및 -5.38 ± 3.99 로 나타났다. 특히 최저온도의 최소값은 -15.37°C 로 냉해가 발생하는 -10°C (Han et al., 1987)보다 낮게 나타났다. 그러므로 LTJ의 중요도는 MTJ보다 높을 것으로 예상하였다. 일반적으로 오차드그라스에 대한 GDD의 기본온도는 5°C 로 알려져 있다(Buxton and Marten, 1989). 오차드그라스 및 툴페스큐(*Fetuca arundinaceum* Schr.)의 잎 성장을 연구(Errecart et al., 2012)에서 GDD의 기본온도는 4°C 로 설정하기도 하였다. 또한 알팔파(*Medicago sativa* L.)의

Table 1. The characteristics of production and climate variables in the mixture pasture data (1982–2014)

| Variables (unit) | Mean | Standard deviation | Minimum | Maximum |
|------------------------------------|-----------|--------------------|----------|-----------|
| Dry matter yield (kg/ha) | 12,243.89 | 4,257.57 | 1,320.10 | 23,560.00 |
| Mean temperature in January (°C) | -0.94 | 3.25 | -9.95 | 7.70 |
| Lowest temperature in January (°C) | -5.38 | 3.99 | -15.37 | 5.26 |
| Growing days 0 to 5 (days) | 50.46 | 15.01 | 2.00 | 73.00 |
| Growing days 5 to 25 (days) | 234.81 | 30.46 | 193.00 | 313.00 |
| Summer slump days (day) | 37.45 | 15.85 | 0.00 | 73.00 |
| Rainfall days (day) | 89.75 | 15.27 | 57.00 | 141.00 |
| Accumulated rainfall (mm) | 1,276.35 | 311.01 | 665.50 | 2,301.30 |
| Sunshine duration (hr) | 327.02 | 78.07 | 102.60 | 453.20 |

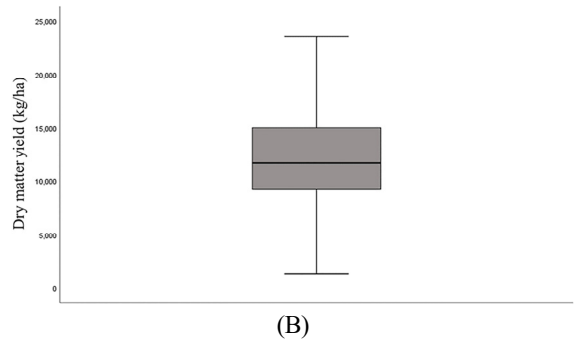
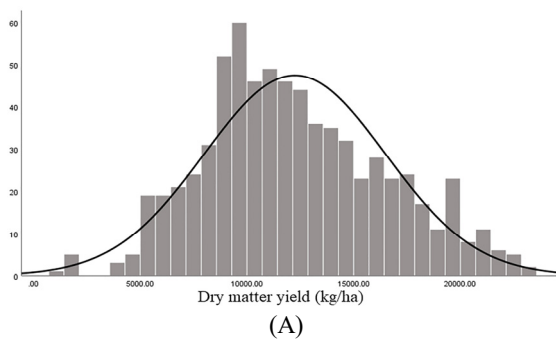


Fig. 3. The production of orchardgrass in Korea (1982–2014): (A) Histogram, (B) Box-plot to detect the outliers.

뿌리에 탄수화물과 아미노산 축적을 확인하기 위한 연구(Dhont et al., 2004)에서 GDD는 7가지 수준으로 달리하였다. 그러므로 GD 1의 중요도는 본격적인 생장 및 발육을 준비하는 기간의 중요도를 평가할 수 있을 것으로 기대하였다. GD 1은 평균 50일이었고, 최소와 최대는 각각 2일과 73일로 나타났다. 생장 및 발육

에 해당하는 GD 2는 평균 235일로 나타났다. 북방형 목초인 오차드그라스에 대한 SSD는 평균 37일로 나타났고, 가장 오래 지속된 하고현상은 73일이었다. 하고에 대한 저항성이 약한 오차드그라스 특성을 고려할 때, SSD는 생산량에 영향력이 클 것으로 예상하였다. RD와 RA의 평균은 각각 90일과 1,276.35mm로 나

Table 2. The production by management variables in the orchardgrass data (1982–2014)

| Variables | N ¹ | Dry matter yield (kg/ha) |
|-----------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Number of cutting | 2 | 7,952.63 ^a ± 386.46 |
| | 3 | 11,015.06 ^b ± 194.28 |
| | 4 | 14,369.59 ^c ± 235.12 |
| | 5 | 15,263.47 ^c ± 1,159.19 |
| Establishment period (year) | 0 ² | 8,320.82 ^a ± 599.84 |
| | 1 | 12,898.91 ^b ± 320.12 |
| | 2 | 12,168.56 ^b ± 313.76 |
| | 3 | 11,269.44 ^c ± 242.69 |
| | 4(1) | 11,614.05 ^d ± 448.22 |
| | 5(2) | 15,389.28 ^e ± 720.37 |
| | 6(3) | 16,474.41 ^e ± 403.31 |

^{a,b,c,d,e}Different letters within columns significant differences ($p < 0.05$).

¹N: sample size, ²0: planting at spring.

타났다. 우리나라의 연평균 강우량은 장마철에 집중되어 있을 뿐 아니라 오차드그라스의 성장 및 발육에 요구되는 적정 수준(최소 600 mm)을 초과하였다(Hannaway et al., 1998). 적정 수준을 초과하는 강우량은 목초뿐 아니라 하계 사료작물에도 높은 생산량을 확보하는데 치명적인 것으로 보고되고 있다(Kim et al., 2019a; Kim and Sung, 2021b). SD (hr)의 평균은 327.02였고, 최대 및 최소는 각각 102.60 및 453.20였다. 일조는 기온 및 강우와 연관이 커 순수 SD의 중요도는 크지 않을 것으로 예상하였다.

재배관리 변수를 살펴보면(Table 2), NC의 2회, 3회 및 4회 까지 생산량(kg/ha)은 7,953, 11,015 및 14,370로 나타났고 ($p < 0.05$) 4회 이후는 생산량 차이가 없었다. 그러므로 예측에

소모되는 비용과 노력을 감안하면 4회 예측이 가장 효과적인 것으로 생각하였다. EP는 봄 파종에 해당하는 0년차 생산량이 8,321 kg/ha로 가장 낮게 나타났다($p < 0.05$). 1년차 생산량이 12,898.91 kg/ha로 가장 높고 연차가 진행할수록 오차드그라스의 생산량(kg/ha)은 감소하였다. 한편 4-6(재조성 1-3)년차에서 생산량은 점차 증가하는 것으로 나타나($p < 0.05$) 재조성 1-3년차와 1-3년차 간 생산량 추세는 다른 것으로 나타났다. 그러므로 오차드그라스 생산량은 처음 초지를 조성 후 연차가 지날수록 생산량은 감소하지만, 보파 등 재조성을 통해 생산량은 증가할 수 있을 것으로 판단하였다.

Table 3. The node parameters of climate variables on production of orchardgrass in the neural network

| Layers | Hidden | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| | H(1) | H(2) | H(3) | H(4) | H(5) | H(6) | H(7) | H(8) | H(9) | Bias | |
| Bias | 0.33 | -0.55 | 0.57 | -0.26 | 0.21 | 0.08 | -0.05 | 0.10 | -0.76 | | |
| Mean temperature in January (°C) | -0.29 | -0.48 | -0.27 | -0.33 | 1.19 | 0.31 | -0.50 | -0.86 | -0.01 | | |
| Lowest temperature in January (°C) | -0.05 | -0.61 | -0.43 | -0.33 | 1.87 | 0.59 | -0.07 | -0.75 | 0.59 | | |
| Growing days 0 to 5 (days) | -0.94 | -0.31 | -1.24 | 0.57 | 0.01 | 0.84 | 0.67 | -1.77 | 0.57 | | |
| Growing days 5 to 25 (days) | -0.24 | -0.26 | 1.27 | -0.92 | 0.65 | -0.54 | 0.24 | -0.20 | -0.48 | | |
| Summer slump days (day) | -1.32 | -0.47 | -0.26 | -1.44 | -0.85 | 1.85 | 0.15 | 1.04 | 0.61 | | |
| Rainfall days (day) | -0.11 | -0.19 | 0.49 | -0.25 | -0.34 | 0.12 | -1.09 | -0.66 | -0.42 | | |
| Accumulated rainfall (mm) | 0.69 | -0.36 | 1.28 | 0.00 | -0.47 | 1.77 | -0.89 | 0.54 | 1.70 | | |
| Sunshine duration (hr) | -0.98 | 0.19 | 0.05 | -0.23 | -1.24 | 0.38 | 0.49 | 0.35 | -0.91 | | |
| Output | Dry matter yield (kg/ha) | -1.04 | -0.77 | 1.47 | -1.19 | -1.31 | -1.77 | 1.36 | -1.15 | 1.14 | -0.31 |

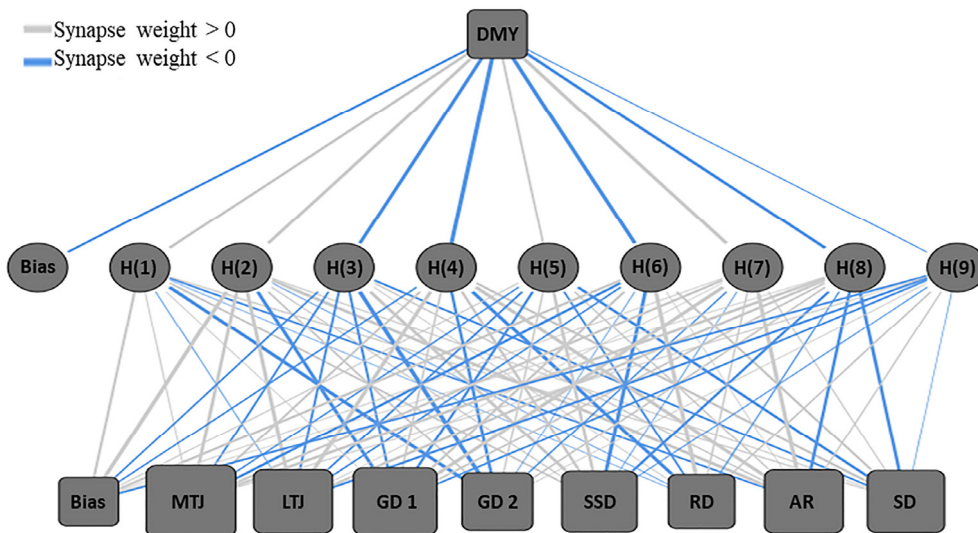


Fig. 4. The diagram of neural network with node from climate and management variables to production of orchardgrass through hidden layers (line: thicker, the higher the weight). MTJ: mean temperature in January, LTJ: lowest temperature in January, GD 1: growing days 0 to 5, GD 2: growing days 5 to 25, SSD: summer slump days, RD: rainfall days, AR: accumulated rainfall, SD: sunshine duration.

2. 오차드그라스의 생산량에 대한 기후 및 재배관리 변수의 중요도 평가

재배관리 변수는 가변수로 처리하기 때문에 양적 변수인 기후 변수만 고려하여 기후변수의 중요도를 신경망 모형을 통해 계산하였다(Table 3). 신경망 모형은 8가지 기상변수로부터 9가지 은닉층 변수(H(1)-(9))를 통해 DMY를 예측할 수 있는 모형이었다. 입력층에서 노드의 크기가 1보다 큰 연결을 살펴보면, H(1), H(2) 및 H(7)은 모든 변수와 연결이 약하고, H(3)은 GD 1과 (-)의 연결, GD 2과 (+)의 연결 및 AR과 (+)의 연결이, H(4)은 SSD와 (-)의 연결이, H(5)은 (+)의 MTJ와 연결, (+)의 LTJ와 연결 및 SD와 (-)의 연결이, H(6)은 SSD와 (+)의 연결 및 AR과 (+)의 연결이, H(8)은 GD 1과 (-)의 연결 및 SSD와 (+)의 연결이, H(9)은 AR과 (+)의 연결이 두드러졌다. 출력층에서 DMY는 H(6), H(3), H(7), H(5), H(4), H(8), H(9), H(1), H(2) 순으로 연결이 강하게 나타났다. 또한 신경망 모형에서 노드의 개수가 많고 복잡할 뿐 아니라 모형이 블랙박스로 되어 Fig. 4과 같이 형태만 확인할 수 있었다.

기후변수를 고려한 신경망 모형에 재배관리 변수인 EP 및 NC를 추가한 결과, 기후 및 재배관리 변수가 오차드그라스의 생산량에 미치는 중요도는 Fig. 5와 같이 계산되었다. 중요도는 가장 중요하게 나타난 EP (100%)를 기준으로 RA (82.0%), AR (79.1%), NC (69.2%), LTJ (66.2%), GD 2 (63.3%), GD 1 (61.6%), SD (58.1%), SSD (50.8%), MTJ (41.8%) 순으로 나타났다. EP와 NC가 각각 1순위와 4순위로 나타났는데, 이는 조성연차 및 예취횟수가 오차드그라스의 생산량에 상대적으로 중요한 것을 의미한다. 기후변수 내에서는 강우의 중요도가 크게 계산되었다. 이는 우리나라의 연간 강우량이 1,200 mm가 넘는데, 오차드그라스의 요구 강우량

이 연간 600 mm임 (Hannaway et al., 1998)을 고려하면 적정수준보다 2배나 높음을 의미한다. 게다가 오차드그라스의 내습성이 강한 초종이 아니므로, 우리나라의 장마와 관련된 강우일수와 강우량은 생장 및 발육에 치명적인 요인인 것으로 생각하였다. 또한 급격한 기후변화 속에서 우리나라의 장마철 호우는 2005년 이후로 빈도 및 강도가 뚜렷하게 증가하고 있으며(Kim et al., 2019a), 농업 분야에 미치는 피해도 심각한 것으로 보고하였다(IPCC, 2007). 다행히도 적정수준을 초과하는 강우에 의해 피해는 배수관리를 통해 경감시킬 수 있을 것으로 생각하였다. 특히 배수관리는 토양 물리성과 함께 수분 이동 및 저장에 영향을 미치므로 (Drewry et al., 2021), 배수에 불리한 재배지일수록 곡물의 생산량의 감소에 원인이 되었다(Lu et al., 2000). 월동 관련 변수인 LTJ는 순위가 높은 데 반해, MTJ는 순위가 낮게 나타났다. 따라서 월동의 효과를 잘 반영하는 것은 LTJ로 판단하였다. 다음으로 GD 1과 GD 2가 중요하게 나타났다. 여기서 GD 1이 북방형 목초의 발아 및 생장의 시발점인 5°C (Buxton and Marten, 1989)보다 낮은 온도임을 고려하면 오차드그라스로 구성된 목초지에서 본격적인 성장을 위한 생장 초기 단계도 월동만큼 중요한 것을 확인하였다. 한편, 본격적인 성장기를 대표하는 GD 2의 중요도가 예상한 것보다 낮게 나타났다. 안타깝게도 생장일수를 이용한 오차드그라스의 발육 및 생장의 효과 계산은 온도의 강도를 반영하지 못하는 한계가 있는 것으로 생각하였다. Buxton and Marten (1989)에 따르면, 일수보다는 평균온도 및 GDD의 측정값이 작물의 생장 및 발육을 측정하는데 더 효과적인 것으로 보고하였다. 그러므로 오차드그라스의 생산량에 대한 생장기 관련 변수의 중요도를 더욱 정교하게 계산하기 위해서는 평균온도 및 GDD의 측정이 요구된다. 일반적으로 일조는 강우 및 온도 등 다양한 기후

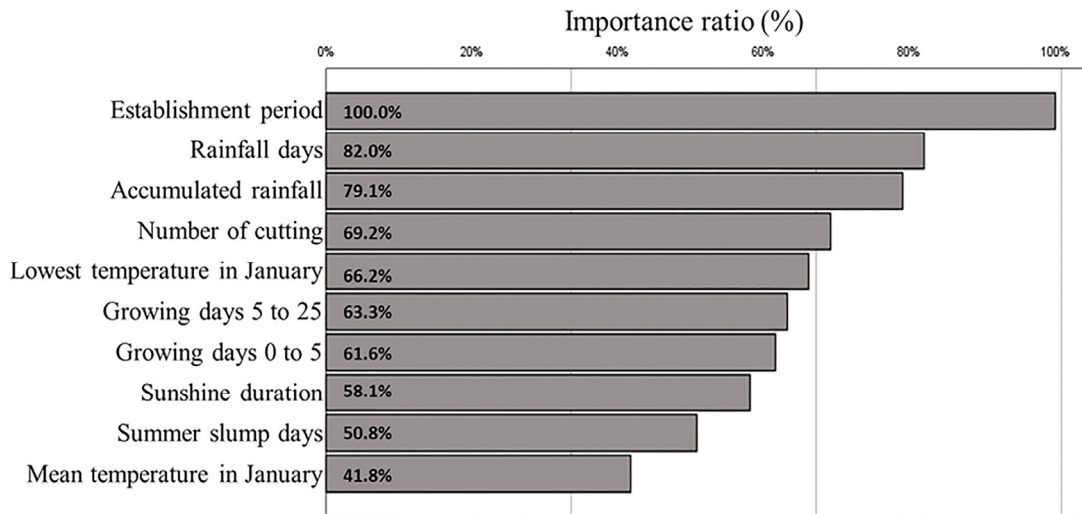


Fig. 5. The importance ratio of climate and management variables on production of orchardgrass.

변수와 연관이 있다. 특히 일조가 생산량에 미치는 효과는 온도의 효과와 중첩되는 경향이 존재한다(Chemere et al., 2019). 상대적으로 낮은 SD의 중요도는 타 작물에 대한 생산량 예측 연구에서도 유사하게 나타났다. 마지막으로 하고현상은 북방형 목초의 물질 합성과정의 부진 및 저장 양분의 분해량 증가와 연관된 생육장애 요인이다(La, 2010). 그러므로 SSD의 낮은 중요도(50.8%)는 예상치 못한 결과였다. 이는 재배실험 자료가 하고에 의한 피해를 반영하지 못한 것으로 생각하였다. 왜냐하면 SSD의 평균이 37일로 한 달 넘게 25°C가 지속됨에도 생산량은 하고가 예상되는 남부 지역을 중심으로 작지 않아(Fig. 1) 하고에 의한 피해가 발생하지 않은 재배환경인 것으로 사료된다. 또한 하고현상은 오차드그라스를 고사시키기보다는 성장 및 분얼을 저조케 하는 현상이기 때문에(Henning and Risner, 1993; Jones et al., 2017) 피해가 생존을 위협하는 기후 이벤트보다는 생산량에 치명적이지 않을 것으로 생각하였다. 또한 국내에서는 하고에 의한 특성을 극복하기 위해 HSP (heat shock protein) 유전자를 분리한 육종 품종(Kim et al., 2004)도 자료에 포함되어 있다.

기후 및 재배관리 요인의 중요도를 계산하기 위한 모형의 적합도는 0.84였다. 또한 관측 DMY와 예측 DMY의 관계를 살펴보면(Fig. 6), 관측 DMY에 비해 예측 DMY가 다소 높아 모델이 과대 추정하는 경향을 보였다. 그러나 대부분의 관측값이 95% 신뢰구간에 포함되므로 중요도 계산이 양호한 수준으로 수행된 것으로 판단하였다. 그러나 본 연구는 생장기 관련 기후변수가 일수로만 계산되고, 계절 혹은 생육단계에 따른 구분이 없는 한계가 있었다. 그러므로 향후 중요도 평가 및 수량예측 연구에 계절 혹은

생육단계를 구분한 GDD 및 평균온도와 같은 측도를 적용할 계획이다. 또한 재배관리 요인에도 시비량 및 품종과 같은 정보를 추가할 예정이다.

IV. 결론

본 연구는 오차드그라스의 생산량에 영향을 미치는 기후(월동 온도, 생장일수, 하고일수, 강우 및 일조) 및 재배관리(예취횟수 및 조성연도) 요인의 중요도를 계산하였다. 그 결과 재배관리 요인의 중요도가 상대적으로 기후요인보다 크게 나타났고, 기후요인 중에서는 강우의 중요도가 두드러졌다. 여기서 조성연차의 중요도를 100%로 산정하면 예취횟수, 강우일수 및 강우량의 중요도는 각각 69.2%, 82.0% 및 79.1%로 나타났다. 이는 오차드그라스 재배 시 통제가 가능한 요인들이 상대적으로 중요한 것을 의미한다. 본 연구는 국내에서 처음으로 다양한 기후 및 재배관리 요인의 중요도를 비교한 점에서 의의가 있다.

V. 요약

본 연구는 우리나라(1982–2014년)의 오차드그라스 생산량에 대한 기후 및 재배관리 요인의 중요도를 확인하는 것을 목적으로 수행하였다. 기후는 1월 평균기온(MTJ, °C), 1월 최저기온(LTJ, °C), 생육일수 0-5일(GD 1, 일), 생육일수 5-25일(GD 2, 일), 하

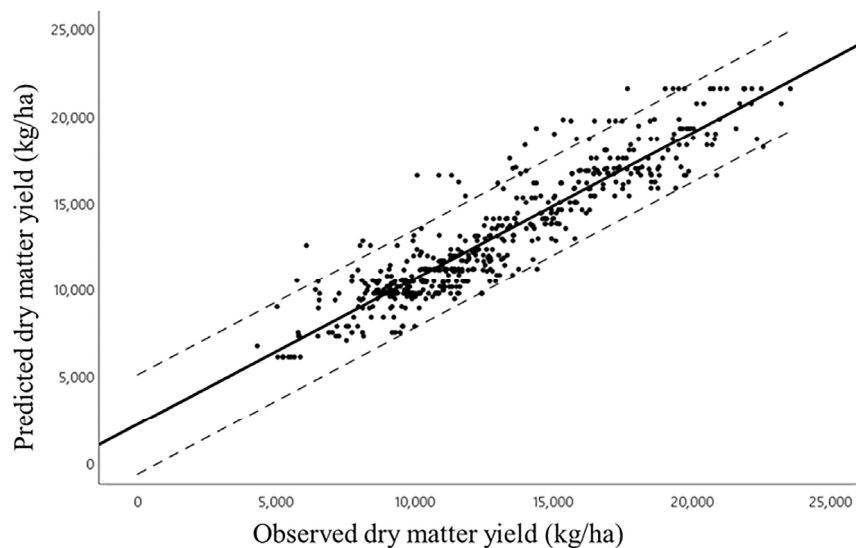


Fig. 6. The scatter plot of production of orchardgrass between observation and prediction by neural network modeling ($R^2 = 0.84$).

고일수(SSD, day), 강우일(RD, day), 누적강우량(AR, mm), 일조 시간(SD, hr)을 고려하였다. 관리는 조성연차(EP, 0-6년)과 예취 횟수(NC, 2-5년)를 측정하였다. 퍼셉트론 방법을 사용한 신경망 모델을 사용하여 오차드그라스의 생산량에 대한 중요도를 추정하였다. 그 결과 EP가 가장 중요한 변수(100%)였으며, RD(82.0%), AR(79.1%), NC(69.2%), LTJ(66.2%), GD 2(63.3%), GD 1 순이었다. (61.6%), SD(58.1%), SSD(50.8%) 및 MTJ(41.8%). 이는 EP, RD, AR, NC가 다른 것보다 중요하다는 것을 의미한다. 우리나라의 연간 강수량은 과수원의 생육에 필요한 양을 초과하므로 배수관리를 통해 적정량 이상의 호우로 인한 피해를 줄일 수 있다. 이는 과수원을 재배할 때 통제 가능한 요인이 상대적으로 중요하다는 것을 의미한다. 비록 본 연구가 신경망 모델에 의해 기후가 생산량에 미치는 구체적인 영향을 해석하는데 한계가 있지만, 주요 요인 선정을 통해 향후 수량 예측 및 기후변화에 의한 피해 추정 연구에 도움이 될 것으로 기대된다.

VI. 사사

본 논문은 과학기술정보통신부가 지원하는 한국연구재단을 통한 신진연구 프로그램의 지원에 의해 이루어졌습니다(NRF-2023 R1C1C1004618).

VII. REFERENCES

- Baker, B.S. and Jung, G.A. 1968. Effect of environmental conditions on the growth of four perennial grasses. I. Response to controlled temperature I. *Agronomy Journal*. 60(2):155-158. doi:10.2134/agronj.1968.00021962006000020003x
- Buxton, D.R. and Marten, G.C. 1989. Forage quality of plant parts of perennial grasses and relationship to phenology. *Crop Science*. 29(2):429-435. doi:10.2135/cropsci1989.0011183X002900020039x
- Chemere, B., Kim, M., Peng, J., Kim, B. and Sung, K. 2019. Detecting dry matter yield trend of whole crop maize considering the climatic factors in the Republic of Korea. *Grassland Science*. 65(2):116-124. doi:10.1111/grs.12220
- Dhont, C., Castonguay, Y., Nadeau, P., Bélanger, G., Drapeau, R. and Chalifour, F.P. 2004. Untimely fall harvest affects dry matter yield and root organic reserves in field-grown alfalfa. *Crop Science*. 44(1):144-157. doi:10.2135/cropsci2004.1440
- Drewry, J.J., Carrick, S., Penny, V., Houlbrooke, D.J., Laurenson, S. and Mesman, N.L. 2021. Effects of irrigation on soil physical properties in predominantly pastoral farming systems: A review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 64(4):483-507. doi:10.1080/00288233.2020.1742745
- Errecart, P.M., Agnusdei, M.G., Lattanzi, F.A. and Marino, M.A. 2012. Leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings as predictors of tall fescue nitrogen nutrition status. *Field Crops Resource*. 129:46-58. doi:10.1016/j.fcr.2012.01.008
- Han, Y.C., Lee, J.K., Park, M.S., Seo, S. and Lee, B.S. 1987. Effect of final cutting time and cutting height on the winter survival, regrowth and early spring yield of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) dominated pasture. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 7(1):18-24.
- Hannaway, D., Fransen, S.C., Cropper, J., Teel, M., Chaney, M., Griggs, T., Hart, R.H., Cheeke, P., Hansen, D., Klinger, R. and Lane, W. 1998. Orchardgrass. OSU Extension Publications. Corvallis, Oregon.
- Henning, J.C. and Risner, N. 1993. Orchardgrass. University Extension. Columbia, Missouri.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate change 2007: Synthesis report. In: R.K. Pachauri and A. Reisinger (Eds.), Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of intergovernmental panel on climate change. Geneva, Switzerland.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2015. Climate change 2015: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Geneva, Switzerland.
- Ji, H.C., Che, H.S., Lee, S.T., Hwang, T.Y., Kim, K.Y. and Lee, S.H. 2016. Growth characteristics and forage productivity of new orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) variety, 'Onnuri 2ho'. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 36(1):15-18. doi:10.5333/KGFS.2016.36.1.15
- Ji, H.C., Woo, J.H., Lee, S.T., Hwang, T.Y., Kim, K.Y., Lee, S.H. and Lee, K.W. 2020. Growth characteristics and productivity of new orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) cultivar, 'Luckyone 2ho'. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 40(1):15-18. doi:10.5333/KGFS.2020.40.1.15
- Jo, H.W., Kim, M.K., Kim, J.Y., Jo, M.H., Kim, M., Lee, S.A., Kim, K.D., Kim, B.W. and Sung, K.I. 2021. Calculation of dry matter yield damage of whole crop maize in accordance with abnormal climate using machine learning model. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 41(4):287-294. doi:10.5333/KGFS.2021.41.4.287
- Jones, G.B., Alpuerto, J.B., Tracy, B.F. and Fukao, T. 2017. Physiological effect of cutting height and high temperature on regrowth vigor in orchardgrass. *Frontier Plant Science*. 8:805. doi:10.3389/fpls.2017.00805

Importance Ratio of Climate and Cultivation Management on Production of Orchardgrass

- Kim, J.Y., Kim, M., Jo, H.W., Lee, B.H., Jo, M.H., Kim, B.W. and Sung, K.I. 2021. Assessment of contribution of climate and soil factors on alfalfa yield by yield prediction model. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 41(1):47-55. doi:10.5333/KGFS.2021.41.1.47
- Kim, K.Y., Kang, K.M., Rim, Y.W., Park, G.J., Lim, Y.C., Seo, S., Son, D.Y. and Jo, J.K. 2004. Determination of heat killing temperature of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.). *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 24(1):25-28.
- Kim, M. and Sung, K. 2019. Comparison of causality of temperature and precipitation on Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) yield between cultivation fields via multi-group structural equation model analysis in the Republic of Korea. *Agriculture*. 9(12):254. doi:10.3390/agriculture9120254
- Kim, M. and Sung, K. 2021a. Impact of abnormal climate events on the production of Italian ryegrass as a season in Korea. *Journal of Animal and Science and Technology*. 63(1):77. doi:10.5187/jast.2021.e9
- Kim, M. and Sung, K. 2021b. Assessment of causality between climate variables and production for whole crop maize using structural equation modeling. *Journal of Animal and Science and Technology*. 63(2):339. doi:10.5187/jast.2021.e36
- Kim, M. and Sung, K.I. 2022. Yield comparison simulation between seasonal climatic scenarios for Italian ryegrass (*Lolium Multiflorum* Lam.) in southern coastal regions of Korea. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 42(1):1-9. doi:10.5333/KGFS.2022.42.1.1
- Kim, M., Chemere, B. and Sung, K. 2019. Effect of heavy rainfall events on the dry matter yield trend of whole crop maize (*Zea mays* L.). *Agriculture*. 9(4):75. doi:10.3390/agriculture9040075
- Kim, M., Choi, J.S. and Sung, K.I. 2022. Determination of the impacts of extreme weather affecting dry matter yield of silage maize (*Zea mays* L.) in Korea. *Annals of Animal Resource Sciences*. 33(4):140-150. doi:10.12718/AARS.2022.33.4.140
- Kim, M., Jeon, M., Sung, K.I. and Kim, Y.J. 2016. Bayesian structural equation modeling for analysis of climate effect on whole crop barley yield. *The Korean Journal of Applied Statistics*. 29(2):331-344. doi:10.5351/KJAS.2016.29.2.331
- Kim, M., Jo, M.H. and Sung, K.I. 2021. A causality analysis of climates affecting production of whole crop barley (*Hordeum vulgare* L.) under the climate network via structural equation model. *Annals of Animal Resource Sciences*. 32(4):101-111. doi:10.12718/AARS.2021.32.4.101
- Kim, M., Jo, M.H., Chemere, B. and Sung, K.I. 2021. Determination of trend in dry matter yield of sorghum-sudangrass hybrid (*Sorghum bicolor* L.) in central inland of Korea via time series analysis. *Annals of Animal Resource Sciences*. 32(2):1-8. doi:10.12718/AARS.2021.32.2.1
- Kim, M., Kim, J.Y. and Sung, K. 2021. The optimum seeding and harvesting dates of sorghum-sudangrass hybrid (*Sorghum bicolor* L.) via optimum moving response surface methodology. *Grassland Science*. 67(1):3-11. doi:10.1111/grs.12279
- Kim, M., Oh, S.M., Kim, J.Y., Lee, B.H., Peng, J., Kim, S.C., Chemere, B., Nejad, J.G., Kim, K.D., Jo, M.H., Kim, B.W. and Sung, K.I. 2017. Prediction of the Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) yield via climate big data and geographic information system in Republic of Korea. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 37(2):145-153. doi:10.5333/KGFS.2017.37.2.145
- Kim, M., Peng, J.L. and Sung, K. 2019. Causality between climatic and soil factors on Italian ryegrass yield in paddy field via climate and soil big data. *Journal of Animal Science and Technology*. 61(6):324. doi:10.5187/jast.2019.61.6.324
- Kim, M., Peng, J.L. and Sung, K. 2020. Causality of climate and soil factors affecting whole crop rye (*Secale cereale* L.) yield as part of natural ecosystem structure via longitudinal structural equation model in the Republic of Korea. *Grassland Science*. 66(2):110-115. doi:10.1111/grs.12253
- Kim, M., Sung, K.I. and Kim, Y.J. 2014. Analysis of climate effects on Italian ryegrass yield via structural equation model. *The Korean Journal of Applied Statistics*. 27(7):1187-1196. doi:10.5351/KJAS.2014.27.7.1187
- La, S.Y. 2010. Livestock and barn management technologies during high temperature period to overcome heat wave. Rural Development Administration(RDA), Suwon. Korea.
- Lu, J., Ookawa, T. and Hirasawa, T. 2000. The effects of irrigation regimes on the water use, dry matter production and physiological responses of paddy rice. *Plant and Soil*. 223(1-2):209-218. doi:10.1023/A:1004898504550
- Oh, S.M., Kim, M., Peng, J.L., Lee, B.H., Kim, J.Y., Kim, B.W., Jo, M.H. and Sung, K.I. 2017. A research on yield prediction of mixed pastures in Korea via model construction in stages. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 37(1):80-91. doi:10.5333/KGFS.2017.37.1.80
- Pal, S.K. and Mitra, S. 1992. Multilayer perceptron, fuzzy sets, and classification. *IEEE Transactions on neural networks*. 3(5):683-697. doi:10.1109/72.159058
- Peng, J., Kim, M. and Sung, K. 2020. Yield prediction modeling for sorghum-sudangrass hybrid based on climatic, soil, and cultivar data in the Republic of Korea. *Agriculture*. 10(4):137. doi:10.3390/agriculture10040137
- Peng, J.L., Kim, M., Kim, Y.J., Jo, M.H., Nejad, J.G., Lee, B.H. Ji, D.H.,

Importance Ratio of Climate and Cultivation Management on Production of Orchardgrass

- Kim, J.Y., Oh, S.M., Kim, B.W., Kim, K.D., So, M.J., Park, H.S. and Sung, K.I. 2015. Detecting the climate factors related to dry matter yield of whole crop maize. *Korean Journal of Agriculture Forest Meteorology*. 17(3):261-269. doi:10.5532/KJAFM.2015.17.3.261
- Rim, Y.W., Choi, G.J., Sung, B.R., Lim, Y.C., Kim, M.J., Park, G.J., Kim, K.Y, Chung, J.W. and Go, S.B. 2004. Growth characteristics and productivity of new orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) variety 'Kordi'. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 24(3):261-264.
- Rural Development Administration(RDA). 2017. Forage-Agriculture Technology Guide. National Institute of Animal Science, Wanju, Korea. pp. 225-236.
- (Received : February 14, 2023 | Revised : March 09, 2023 | Accepted : March 13, 2023)