

Research Article

정치식 원적외선 건조기를 이용한 이탈리아 라이그라스 건초 조제 기술 연구

김종근^{1,2*}, 유영상¹, 이연분¹, 왕리리¹, 김현래²

¹서울대학교 국제농업기술대학원

²서울대학교 그린바이오과학기술연구원

A Study on Hay Preparation Technology for Italian Ryegrass Using Stationary Far-Infrared Dryer

Jong Geun Kim^{1,2*}, Young Sang Yu¹, Yan Fen Li¹, Li Li Wang¹ and Hyun Rae Kim²

¹Graduate School of International Agricultural Technology, SNU, Pyeongchang 25354, Korea

²Research Institute of Eco-friendly Livestock Science, GBST, SNU, Pyeongchang 25354, Korea

ABSTRACT

This experiment was conducted to confirm the possibility of manufacturing artificial Italian ryegrass hay using far-infrared rays in Korea. The machine used in this experiment was a far-infrared ray dryer capable of adjusting temperature, airflow, and far-infrared radiation, and was conducted on Italian ryegrass harvested in May. Conditions for drying were performed by selecting a total of nine conditions, and each condition was set to emission rate of 42 to 45%, and the internal temperature was set to 65°C. The speed of the air flow in the machine was 40-60 m/s, and the overall drying time was 30 minutes for 42% radiation, 25 minutes for 43% radiation, and 20 minutes for 45% radiation. The final dry matter content according to each drying condition was 88.5% on average, and the dry matter content suitable for hay was shown in the all treatment. Looking at the power consumption according to the drying conditions, the lowest was found in the treatment that dried for 20 minutes at 45% radiation. In the drying rate, there was no difference in drying conditions 1 to 5, but a significantly low tendency was shown in conditions 6 to 7. In terms of feed value, CP and IVDMD were higher than raw materials in most drying conditions, and ADF and NDF contents were low, and tended to be high in drying conditions 4, 7, and 8. Through the above results, it was judged that drying conditions 7 and 8 were the most advantageous when considering drying speed, power consumption, and quality.

(Key words: Dryer, Far-infrared, Hay, Italian ryegrass, Quality)

I. 서론

조사료 분야의 당면한 문제는 2024년부터 시작되는 수입 건초 시장의 개방이다. FTA 협상에 의하여 우리나라는 2024년 캐나다산 건초를 시작으로 2026년 미국산, 그리고 2028년 호주산 건초 시장을 개방한다. 국립축산과학원에서 실시한 의식 조사에 의하면 시장 개방으로 인해 국내산 조사료 사용 비율이 줄어들 것으로 전망을 하고 있어(Jeong, 2021), 향후 이에 대한 대비책이 신속하게 수립되어야 할 것이다.

건초는 식물체내의 높은 수분을 약 20% 이하로 낮추어 저장을 하는 조사료로 수확기의 기상상태가 양호한 지역에서 주로 이용을 하고 있다. 국내 주요 수확시기인 5~6월에는 이동성 저기압의 영향으로 비가 자주 오며, 이로 인해 건초 조제가 어려운 것

로 인식이 되어 왔다. 그러나 최근의 다양한 건초 조제 시스템에 대한 연구는 수입 시장 개방에 대비한 국내산 건초 조제 기술을 확립하여 현장에서의 이용을 확대하려고 노력하고 있다.

국내에서 양질의 건초를 만들기 위한 다양한 연구가 추진되어 왔다. 건조 속도의 개선을 위해 가장 이용되는 방법이 컨디셔닝과 반전작업이다. 이 작업은 포장에서의 건조 속도를 개선시키는 효과가 매우 크다. 우리나라 중부지역에서 이탈리아라이그라스 건초는 컨디셔닝과 반전작업을 통해 3~4일만에 건초 조제가 가능하다고 보고 하였다(Kim et al., 2015). 특히 반전작업은 건조속도를 개선시키고 품질을 향상시키는 효과는 있으나 너무 잦은 반전작업은 잎의 탈락으로 인한 품질저하 및 건물 손실을 일으킨다(Li et al., 2029).

농산물 건조에 있어 원적외선의 사용은 다양한 형태로 활용이

*Corresponding author: Jong Geun Kim, Graduate School of International Agricultural Technology and GBST, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Korea, Tel: +82-33-339-5728, Fax: +82-33-339-5727, E-mail: forage@snu.ac.kr

되어지고 있다. 원적외선 건조기는 작물내로 침투한 복사에너지 를 이용하여 직접적인 건조를 할 수 있는 시스템으로 열풍건조기 보다 제어가 쉽고 빠른 열 응답성을 가지고 있어 다양한 산업부 문에도 활용이 되고 있다(Kim et al., 2008). 최근의 인공건조는 다양한 열원을 활용하여 날씨의 제약을 받지 않고 신속하게 만들 수 있는 장점이 있으며 곰팡이 발생과 건조중의 영양소 보존에도 큰 효과가 있다고 보고하고 있다(Misener et al., 1990; Plue and Bilanski, 1990). 최근 정치식 원적외선 건조기를 활용한 알팔파 건조 조제 연구(Kim et al., 2022)를 통해 30분 내외의 시간으로 양질의 건조 조제 가능성을 연구한 보고도 있다.

따라서 본 연구는 우리나라에서 가장 많이 재배되는 이탈리아 라이그라스를 대상으로 정치식 원적외선 건조 시스템을 활용한 건조 조제 기술을 확립하고자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 원적외선 건조 시스템의 구성

원적외선을 이용하여 조사료를 건조하기 위한 건조 시스템은 Kim et al.(2022)이 사용한 기기와 동일한 조건으로 시스템을 구성 하였다. 즉, 원적외선 발생장치, 원적외선 열량 조절부, 제트기류 발생부, 온도조절장치 및 제어·계측부로 나누어서 구성을 하였다.

원적외선의 발생은 석영히터(500WATT T3 QUARTZ HEATER)를 활용하여 시스템에 적용하였으며 히터에서 발생하는 열량의 조절은 1~99 %범위를 1 %단위로 조절토록 디지털 제어를 할 수 있도록 하였다. 원활한 수분의 건조를 위해 모터를 이용하여 제트기를 발생토 록 하였으며 25 m/sec의 속도를 낼 수 있도록 하였다. 원적외선의 열량은 쪼이는 조사 거리에도 영향을 받을 수 있어 400~640 mm의 범위에서 25 mm단위로 조절이 가능하도록 하였다. 제어·계측부는 원적외선 조사량, 건조시간 및 기류 온도, 조사거리 등을 종합적으로 조절할 수 있도록 하였다. 본 시제품은 (주)한국에너지기술의 협조를 받아 제작을 하였다.

2. 건조를 위한 사료작물의 수확

본 시험을 위한 이탈리아 라이그라스는 서울대학교 평창캠퍼 스의 포장에서 약 2 ha 규모로 재배된(약 2ha) 시료를 활용하였 다. 활용된 이탈리아 라이그라스는 ‘Kowiarly’ 품종으로 2021년

10월 1일에 파종하였으며 파종량은 40 kg/ha로 하였고 시비량은 N-P₂O₅-K₂O 기준으로 100-120-120 kg/ha를 포장 전면에 살포하 였다. 질소질 비료는 기비로 40%를 사용하였고 이듬해 봄에 나 머지 60%를 추비로 주었다. 시험을 위한 이탈리아 라이그라스의 수확은 2022년 5월 15일에 하였으며 수확당시의 생육상태와 수 량은 Table 1과 같다.

3. 이탈리아 라이그라스 시료 건조

수확된 이탈리아라이그라스는 실내에 있는 정치식 원적외선 건조장치로 옮겨 건조 시험을 수행 하였다. 정치식 건조장치에서 의 최적 건조조건 탐색을 위해 원적외선 방사량, 기류온도, 기류 속도 그리고 건조시간을 변경하였다. 원적외선 방사량은 기기를 기준으로 하여 42~45%까지 조절을 하였으며 기류온도는 65℃로 설정하여 고온으로 인한 단백질 변성을 방지하였다. 기류의 속도는 40~60 m/s로 조절토록 하였고 건조시간은 20분, 25분 및 30 분의 단일 조합으로 구성하였다. 각각의 조건에 따른 전력량은 시 중에 판매되는 전력계를 사용하여 측정하였다.

4. 사료가치 분석

건조 전·후의 이탈리아라이그라스에 대한 건물 함량 측정은 열 풍 건조기를 이용하였다. 자체 보유중인 65 ℃ 순환식 송풍건조기 에서 72시간 건조한 후 이탈리아라이그라스의 건물함량을 조사 하였다. 사료가치 분석을 위한 시료는 65 ℃ 순환식 송풍 건조기 내에서 72시간 이상 건조시킨 시료를 전기믹서로 1차 분쇄 후 20 mesh mill로 다시 분쇄한 후 이중마개가 있는 플라스틱 시료통에 넣고 직사광선이 들지 않는 곳에 보관하여 분석에 이용하였다.

조단백질 함량은 Dumas(1831)법에 의거하여 질소함량을 구한 후 단백질 계수 6.25를 곱하여 산정하였고, NDF(neutral detergent fiber) 및 ADF(acid detergent fiber) 함량은 Goering and Van Soest (1970)법에 따랐으며, TDN(total digestible nutrient) 함량은 Holland et al.(1990)에 의거 ADF 함량으로 추정하여 (TDN % = 88.9 - (0.79 × ADF %)) 공식에 의해 계산하였다. 또한 RFV (relative feed value)는 ADF 함량으로 DDM(digestible dry matter)을 추정하였고(% DDM = 88.9 - (ADF % × 0.779)), NDF 함량으로 DMI (dry matter intake)를 산정한 후(% DMI = 120 / NDF %) RFV 값을 산출하였다(RFV = (% DDM × % DMI) / 1.29). *In vitro* 건물소화율(IVDMD)은 Tilley and Terry법(1963)

Table 1. Growth properties of Italian ryegrass for drying

Growth stage	Plant height (cm)	DM content (%)	Yield (kg/ha)	
			Fresh matter	Dry matter
Flowering stage	101	24.6	30,667	7,544

을 Moore(1970)가 수정한 방법을 사용하였다. 시험에 쓰인 위액은 평소 조사료를 자유채식 한 한우에서 아침 사료를 급여하기 전에 채취하여 이용하였다.

기기내의 기류의 속도는 40, 50 및 60 m/s로 조절하여 건조하였다. 전체적인 건조시간은 단일 조건으로 하여 20, 25 및 30분으로 고정하여 차이를 구명토록 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 건조 조건의 설정

이탈리아라이그라스 건조 조제를 위한 정치식 원적외선 건조기의 조건은 Table 2에서 보는 바와 같다. 부착된 원적외선 발생 장치의 방사율은 건조속도가 빠를 것으로 예상하여 단일 조건으로 42, 43 및 45% 내외로 조절하였다. 내부 온도는 식물체 내부의 당과 단백질의 Malliard 반응으로 인한 단백질 이용성 저하를 막기 위하여(AFIA, 2011) 65°C로 온도를 고정하여 설정하였으며,

2. 조건에 따른 건조 및 전력량

이탈리아라이그라스의 건조 조건에 따른 건조 후의 건물함량은 Table 3에서 보는 바와 같다. 모든 건조 조건에서 평균 건물함량이 88.50%이었으며 건물함량 범위는 84.03~91.40%로 건조로서의 적절한 수준(수분함량 20% 이하)에 도달하는 것으로 나타났다. Pitt (1991)은 일반적으로 건물함량 80% 이상을 건조로 분류하고 있다. 1, 2, 3, 4 및 7번 건조 조건에서는 건물함량이 90% 이상으로 나타났으며 5, 6, 8 및 9번 건조조건에서는 84~87%의 건물함량을 나타내었다. 이런 차이는 방사율, 풍량 및 건조 시간에 따라 차이가 나타났으며 방사율이 높고 풍량이 빠르며 건조시간이 길어질수록 높은 건물함량을 나타내었다.

Table 2. Drying conditions of far-infrared dryer

Treatment	Drying condition			
	Emission rate (%)	Temperature (°C)	Wind speed (m/s)	Rum time (min.)
1	42	65	60	30
2	42	65	50	30
3	42	65	40	30
4	43	65	60	25
5	43	65	50	25
6	43	65	40	25
7	45	65	60	20
8	45	65	50	20
9	45	65	40	20

Table 3. Initial and final dry matter(DM) content and wattage by drying condition of Italian ryegrass

Treatment	Initial DM (%)	Final DM (%)	Electricity (kw/h)
1	40.40	90.25	2.6
2	46.15	90.27	2.4
3	41.40	91.40	2.3
4	45.43	90.38	2.3
5	47.65	87.26	2.1
6	47.11	84.03	2.0
7	41.65	91.05	1.9
8	44.50	87.08	1.7
9	40.22	84.78	1.6
Mean	43.8	88.50	2.1
LSD($p < 0.05$)	NS	3.24	0.61

한편 6번과 7번 그리고 8번과 9번 건조 조건에서의 최종 건물함량이 약 3% 정도 차이가 있었는데 이는 시작시의 건물함량과 풍량(40 vs 50 m/s)에 의한 차이로 판단이 되며, 따라서 보다 빠른 건조를 위해서는 가급적 포장에서 예건을 통해 수분함량을 낮춘 후에 건조를 하는 것이 유리한 것으로 판단이 되었다.

원적외선 건조기는 전기를 동력원으로 하여 운영되는 특성상 건조시에 소요되는 전력량이 중요한 요인이 된다. 특히 전력량은 건조의 생산비와도 직결되기 때문에 전력 소요량을 고려해야 하는데 9개의 처리 조건중에서 7번, 8번 및 9번 조건에서 전력량이 1.9, 1.7 및 1.6 Kw/h로 가장 낮게 나타났으며 1번 처리는 2.6Kw/h로 가장 높은 전력량을 나타내었다. Kim et al. (2022)은 원적외선을 활용한 알팔파 건조시험에서 전력량이 4.7 Kw/h로 나타났다고 하여 본 시험보다는 많은 전력량을 보고한 바 있는데 이는 알팔파와 이탈리아라이그라스의 줄기 구조와 시작 건물함량의 차이에 의한 것으로 판단된다. Kim et al. (2007)은 원적외선 건조기를 이용한 표고버섯의 건조 특성 조사에서 건조 온도가 높아질수록 건조 시간이 줄어들었고 열풍건조보다는 원적외선 건조기가 건조속도가 더 빠르게 나타났다고 보고하였다. 그러나 온도를 높이면 건조 중의 단백질과 당의 결합에 의한 변성(Maillard reaction)이 일어나므로 건조 온도를 65°C 이상 높이기 어렵다.

건조를 위한 조건별 이탈리아라이그라스의 건조율은 Figure 1에서 보는 바와 같다. 1~5번 건조 조건에서는 유의적인 차이가 없었으며, 6번과 8번 건조 조건도 상호간에 유의성이 없었고 건조 시간이 짧았던 7번 및 9번이 유의적으로 건조율이 낮게 나타났($p < 0.001$). 비록 6번 및 7번 건조 조건에서 건조율이 1~5번 건조 조건보다 건조율이 낮지만 최종 건물함량에서 80% 이상으로 나타나 건조 조제에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 한편 건조율에

가장 큰 영향을 주는 것은 건조시간이었다. Zhu and Pan (2009)는 높은 방사량에서 더 빠른 수분제거 효과가 있다고 하였는데 본 시험에서는 방사량 보다는 건조시간과 풍량에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

3. 조건에 따른 건조 품질

건조 조건에 따른 건조의 사료가치는 Table 4에서 보는 바와 같다. 조단백질 함량은 평균 6.97%이었고, 평균 ADF, NDF, IVDMD, TDN 및 RFV값은 40.48%, 58.88%, 66.81%, 56.92% 및 91로 나타났다. 건조조건에 따른 조단백질 함량은 4, 7 및 8번 처리에서 7.12~7.24%로 높았고 2 및 3번 처리에서 6.71~6.84%로 낮았다. ADF 함량은 건조 전 및 열풍건조구에서 43.84 및 42.66%로 높았으며 원적외선 건조 처리구에서는 4, 7 및 8번 처리구에서 낮게 나타났다. NDF 함량에 있어서도 ADF와 비슷한 경향을 보여주었으며 소화율은 원적외선 건조로 높게 나타났다. TDN함량 및 RFV 값은 ADF 및 NDF값으로 계산되는 수치로 4, 7 및 8번 건조 조건에서 높은 값을 나타내었다. 따라서 방사량 43~45% 그리고 바람속도는 50~60 m/s, 전체 운영시간은 20~25 분 건조 조건에서 건조 품질이 가장 우수한 것으로 나타났다. Kim et al. (2022)의 원적외선 건조기를 이용한 알팔파 건조 조제 시험에서 원적외선 건조시 원물 및 열풍건조보다 사료가치가 개선된다고 하여 본 시험결과와 일치하였다. 그러나 Seo et al. (2001)은 봄철 자연 건조된 알팔파 및 연맥 건조의 품질이 조제 전에 비해 CP 함량은 낮아졌으며 ADF 및 NDF 함량은 증가되었다고 보고하였는데 이는 자연 건조로 인해 탈립 등에 의한 품질 손실이 발생한 것으로 보여지며 원적외선 건조시에는 품질적인

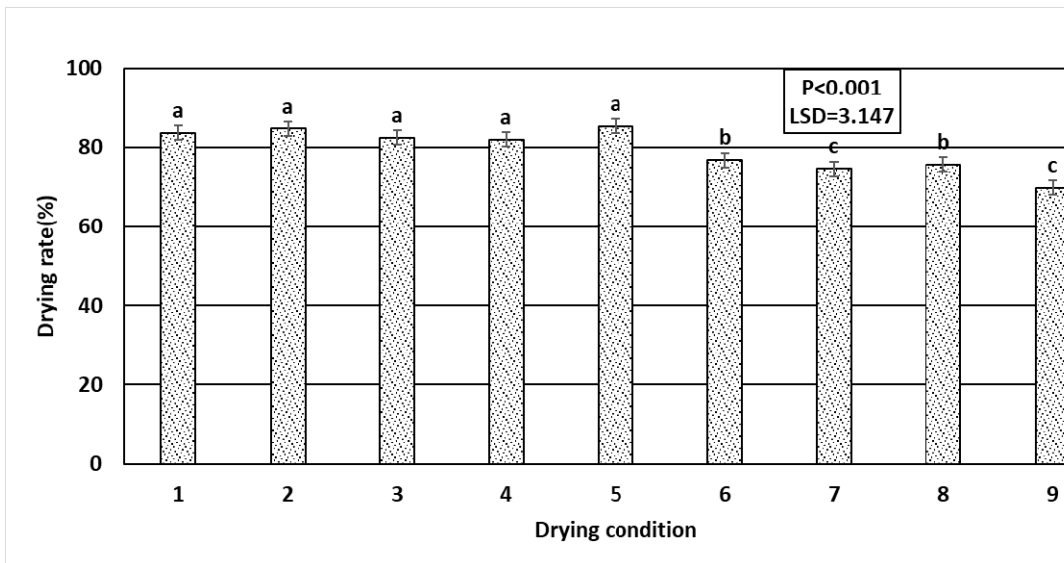


Fig. 1. Drying rate according to drying conditions of Italian ryegrass.

Table 4. Forage quality according to drying conditions of Italian ryegrass

Treatment	CP (%)	ADF (%)	NDF (%)	IVDMD (%)	TDN (%)	RFV
Before drying	6.47	43.84	63.07	63.14	54.27	81
Hot air drying	6.91	42.66	62.27	64.47	55.20	83
1	7.04	40.08	58.07	67.59	57.24	92
2	6.84	40.97	58.67	66.37	56.53	90
3	6.71	41.07	59.14	66.04	56.45	90
4	7.12	38.14	57.16	68.07	58.77	96
5	7.08	40.07	58.23	67.50	57.24	92
6	7.03	40.27	58.67	67.08	57.09	91
7	7.24	38.07	57.08	68.94	58.82	97
8	7.18	39.27	57.39	68.07	57.88	95
9	7.07	40.83	57.94	67.59	56.64	92
Mean	6.97	40.48	58.88	66.81	56.92	91
P(0.05)	0.207	2.838	3.018	2.148	2.243	5.2

변화가 낮음을 보여주는 결과이다.

한편 건조된 IRG 건초의 RFV 값이 90 내외로 다소 낮은 경향을 보였는데 이는 수확시기가 지연되어 원물의 품질이 낮았기 때문으로 판단된다.

IV. 요약

본 시험은 우리나라에서 원격외선을 이용한 이탈리아 라이그라스 인공건조 조제 가능성을 확인하기 위해 수행되었다. 본 시험에 사용된 기계는 온도, 송풍량, 원격외선 방사량을 조절할 수 있는 원격외선 건조기로 5월에 수확한 이탈리아 라이그라스를 대상으로 실시하였다. 건조를 위한 조건은 전체 9개의 조건을 선택하여 수행하였으며 각각의 조건은 방사율 42~45 %로 설정을 하였으며 내부 온도는 65℃로 설정하였다. 기기내의 기류의 속도는 40~60m/s로 하였으며, 전체적인 건조시간은 방사량 42%는 30분, 43%는 25분 그리고 45%는 20분으로 하여 수행하였다. 각각의 건조조건에 따른 최종 건물함량은 평균 88.5%로 나타났으며 전 처리에서 건초에 적합한 건물함량을 나타내었다. 건조 조건에 따른 전력 소비량을 보면 45% 방사량에서 20분간을 건조한 처리구에서 가장 낮게 나타났다. 건조율에 있어서는 1~5번 건조 조건에서는 차이가 없었으나 6~7조건에서는 유의적으로 낮은 경향을 보였다. 사료가치에 있어서는 대부분의 건조조건에서 원물보다 CP, IVDMD는 높았고 ADF, NDF 함량은 낮게 나타났으며 대체적으로 4, 7 및 8번 건조 조건에서 높은 경향을 보였다. 이상의 결과를 통하여 건조속도, 전력량, 품질 등을 고려할 때 7 및 8번 건조조건이 가장 유리한 것으로 판단되었다.

V. 사 사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원 (축산현안대응산업화 기술개발사업)의 지원을 받아 연구되었음(No. 121036-02-1-SB010)

VI. REFERENCES

- AFIA. 2011. Laboratory methods manual Volume 7. Australian Fodder Industry Association.
- Dumas, J.B.A. 1831. Procédes de l'analyse organique: Annales de chimie et de physique. Annals of Chemistry and of Physics. 247:198-213.
- Goering, H.K. and Van Soest, P.J. 1970. Forage fiber analysis. Agric. U.S. Government Print Office. Washington. D.C.
- Holland, C., Kezar, W., Kautz, W.P., Lazowski, E.J., Mahanna, W.C. and Reinhart, R. 1990. The pioneer forage manual; A nutritional guide. Pioneer Hi-Bred International, INC, Desmoines, IA. pp. 1-55.
- Jeong, J.S. 2021. The current status and problems of domestic forage production and distribution. Proceedings of 2021 Symposium and Conference of Korean Society of Grassland and Forage Science. pp. 23-42.
- Kim, C.F., Li, H., Han, C.S., Park, J.S., Lee, H.C. and Cho, S.C. 2007. Drying characteristics of Oak mushroom using stationary Far-infrared dryer. Journal of Agricultural Machinery. 32(1):6-12.
- Kim, J.G., Kim, H.R., Jeong, E.C., Ahmadi, F. and Chang, T.K. 2022. Study on hay preparation technology for alfalfa using stationary far-infrared dryer. Journal of the Korean Society of Grassland and

Italian Ryegrass Hay Drying Using Far-Infrared Ray

- Forage Science. 42(2):73-78.
- Kim, J.G., Kim, M.J., Kim, H.R., Kim, H.J., Jeong, S.I., Li, Y.W. and Chung, E.S. 2015. Demonstration study on the hay-making for Italian ryegrass in middle area of Korea. Proceedings of 2015 Annual Congress of Korean Society of Grassland and Forage Science. pp. 232-233.
- Kim, S.I., Park, K.H., Chun, W.P. and Hur, D.R. 2008. Surface temperature characteristics of drying materials by infrared heating. Proceeding of the Korea Society of Mechanical Engineers. pp. 314-317.
- Li, Y.W., Zhao, G.Q., Liu, C., Wei, S.N., Kim, H.J. and Kim, J.G. 2019. Effect of tedding time and frequency on the feed value and drying rate of rye (*Secale cereale* L.) hay. Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science. 39(3):171-177. doi: 10.5333/KGFS.2019.39.3.171
- Misener, G.C., McCloed, C.D., Esau, C.A. and Gerber, W.A. 1990. Drying of large round haybales. Canadian Agricultural Engineering. 32(2):263-268.
- Moore, J.E. 1970. Procedure for the two-stage *in vitro* digestion of forage. University of Florida, Department of Animal Science.
- Pitt, R.E. 1991. Hay preservation and hay additive products. In Fieldguide for hay and silage management. In: K.K. Bolsen, J.E. Baylor and M.E. McCullough (Eds.), National Feed Ingredients Association.
- Plue, P.S. and Bilanski, W.K. 1990. On-farm drying of large round bales. Applied Engineering in Agriculture. 6(4):419-421.
- Seo, S., Kim, J.G., Chung, E.S., Lee, J.K., Kim, W.H. and Shin, D.E. 2001. Effect of drying methods on the field drying rate and quality of alfalfa and spring oats hay. Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science. 21(2):67-74.
- Tilley, J.M.A. and Terry, R.A. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. Journal of British Grassland and Forage Science. 18(2):104-111. doi:10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x
- Zhu, Y. and Pan, Z. 2009. Processing and quality characteristics of apple slices under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with continuous heating. Journal Food Engineering. 90:441-452. doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.07.015

(Received : December 02, 2022 | Revised : December 28, 2022 | Accepted : December 28, 2022)