

Research Article

# 조사료의 세절과 베일러 내 교반이 총체벼 헤일리지의 영양소 함량, 발효특성 및 호기적 안전성에 미치는 영향

서명지<sup>1</sup>, 주영호<sup>2</sup>, 이성신<sup>3</sup>, 김지윤<sup>1</sup>, 백창현<sup>1</sup>, 정승민<sup>4</sup>, 최기춘<sup>4</sup>, 김삼철<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>경상국립대학교 응용생명과학부(BK21Four), <sup>2</sup>경상국립대학교 농업생명과학연구원, <sup>3</sup>농촌진흥청 국립축산과학원 영양생리과, <sup>4</sup>농촌진흥청 국립축산과학원 초지사료과

## Effects of Forage Cutting and Baler Mixing on Chemical Compositions, Fermentation Indices, and Aerobic Stability of Whole Crop Rice Haylage

Myeong Ji Seo<sup>1</sup>, Young Ho Joo<sup>2</sup>, Seong Shin Lee<sup>3</sup>, Ji Yoon Kim<sup>1</sup>, Chang Hyun Baeg<sup>1</sup>, Seung Min Jeong<sup>4</sup>, Ki Choon Choi<sup>4</sup>, and Sam Churl Kim<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Applied Life Science (BK21Four.), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

<sup>2</sup>Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

<sup>3</sup>Animal Nutrition and Physiology Division, National Institute of Animal Science, Wanju 55356, Republic of Korea

<sup>4</sup>Department of Grassland and Forage Science, National Institute of Animal Science, Cheonan 31000, Republic of Korea

### ABSTRACT

The present study investigated the effects of forage cutting and baler mixing on the chemical compositions, fermentation indices, and aerobic stability of whole crop rice (WCR) haylage. The WCR (“Youngwoo”) was harvested at 48.4% dry matter and ensiled into a 300 kg bale silo with forage cutting (whole crop without cutting vs. 5 cm of cutting length). The WCR forages were ensiled without baler mixing process (CON) or with (MIX). The concentrations of dry matter, crude protein, ether extract, crude ash, neutral detergent fiber, and acid detergent fiber of whole crop rice before ensiling were 48.4, 9.70, 2.57, 6.11, 41.2, and 23.5%, respectively. The forage cutting did not affect the chemical compositions, fermentation indices, microbes, and aerobic stability of WCR haylage ( $p>0.05$ ). The CON haylages tend to be higher in NDF content ( $p<0.10$ ). The MIX haylages had lower in lactate ( $p=0.019$ ), and lactate:acetate ratio ( $p<0.001$ ). The MIX haylages had higher in lactic acid bacteria (LAB) ( $p=0.010$ ). Therefore, this study concluded that the fermentation quality of WCR haylage improved by baler mixing, but had no effects by forage cutting.

**(Key words):** Baler mixing, Fermentation characteristic, Forage cutting, Haylage, Whole crop rice)

### I. 서론

최근 식생활의 변화로 인해 국내 쌀 소비가 매년 감소하고 있는 반면, 2021년 쌀 생산량은 전년 대비 약 375천톤 증가(약 10.7%) 하였다. 따라서, 적정 생산을 통한 공급과잉을 완화하기 위해서, 농림축산식품부에서는 전락작물직불제, 논 타작물 재배 지원 등의 사업을 적극 추진하고 있다(MAFRA, 2023). 특히 2018년부터 ‘논 타작물 재배 지원 사업’이 시행되고 있는데, 이는 잉여분의 쌀을 가축용 사료로 대체함으로써 논 작물 재배면적 감소를 완화시키기 위한 방안으로 제시되었다(MAFRA, 2020).

한편, 총체벼는 줄기가 lignin과 silica로 구성되어 있어서 견고하며 줄기 내부가 비어 있기 때문에 공기가 존재할 가능성이 매우 높아서 사일리지 발효를 위한 혐기적 상태 유지가 어려운 단점이 있다(Kim et al., 2008). 또한, 총체벼 사일리지는 옥수수과 수단그라스 등 다른 사료작물에 비해서 수용성 탄수화물(WSC) 함량이 낮기 때문에, 유산균에 의한 젖산 발효가 낮아서 사일리지 품질이 떨어지는 경향이 있다(Takahashi et al., 2005). 사일리지는 혐기성 조건에서 젖산균에 의한 발효를 기반으로 제조하는 방법으로(Dunière et al., 2013), 다즙질 조사료의 혐기적 발효과정에서 유산균이 당을 분해하여 lactate를 생산하며, 이렇게 생산된

\*Corresponding author: Sam Churl Kim, Division of Applied Life Science (BK21Four.), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea  
Tel: +82-55-772-1947, E-mail: kimsc@gnu.ac.kr

lactate는 사일리지의 pH를 저하시켜 유해균의 성장을 억제함으로써 조사료의 저장성을 개선시킨다(McDonald et al., 1991). 일반적으로, 사일리지 발효품질은 조사료의 수확시기, 수분함량, 세절 길이, 충전과 압입, 첨가제 등에 의해 영향을 받게 된다(McDonald et al., 1991).

세절은 사일리지 발효 품질을 개선하기 위한 중요한 요소 중 하나이다. 사일리지 제작 시 조사료를 세절하면, 사일리지 내의 공기배출이 촉진되고, 단위면적당 충전량을 증가시키며 저장 중의 양분 손실을 줄일 수 있는 등 발효조건을 개선시킬 수 있다(Lim et al., 2014). 또한, 유기산 생산 및 성장을 위한 수용성 탄수화물 용출이 용이하게 되어 당 분해에 의한 유기산 생산량을 높일 수 있다. 교반은 작물의 줄기와 잎, 이삭을 적절히 섞어서 사일로 내의 빈 공간을 최소화시켜 사일로 내 혐기적 상태를 촉진함으로써, 사일리지의 발효 품질을 개선시키게 된다(McDonald et al., 1991).

따라서 본 연구에서는 총체벼 세절과 베일러 내 교반 여부에 따른 총체벼 곤포 헤일리지의 영양소 함량, 발효특성 및 호기적 안정성에 미치는 영향을 조사하기 위해 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 헤일리지 제조

총체벼(“영우” 품종)를 생산하기 위해 2021년 6월 1일에 경상남도 진주시 소재 벼 재배 포장지에서 모내기를 실시하였으며, 기타 관리는 농장의 관행에 준하여 재배하였다. 자주시 사료작물 수확기(Livemac Co. Ltd., Gimje, Korea)를 이용하여 9월 29일(호숙기, 48.4% DM)에 수확하고 곤포 헤일리지를 제조하였다. 시험구는 세절하지 않은 시험구(NCU)와 5 cm 길이로 세절한 시험구(CUT)를 두었으며, 교반은 교반용 로터를 이용하여(유압모터; 회전수=53 RPM), 교반하지 않은 시험구(CON)와 교반한 시험구(MIX)로 설정하였다. 사료 작물 수확기를 이용하여 각 시험구마다 약 300 kg의 총체벼 곤포 헤일리지를 4개씩 총 16개를 제조하여 제조하여 150일간 발효시켰다. 헤일리지 제조 직전과 사일로 개봉 직후 시료를 채취하여 영양소 함량(2 kg), 발효특성(20 g), 미생물 성장(1 g) 및 호기적 안정성(1 kg) 분석에 이용하였다.

### 2. 영양소 함량

총체벼의 영양소 함량을 분석하기 위해 채취된 시료는 65°C 송풍 건조기에서 48시간 건조시킨 후 cutting mill 분쇄기(Shinmyung Electric Co., Ltd., Gimpo, Korea)를 이용하여 분쇄하고, 1 mm screen을 통과한 시료를 분석용으로 이용하였다. 건

물 함량은 105°C 건조기(OF-22GW, JEIO TECH, Korea)에서 24 시간 동안 건조 후 무게를 측정하여 분석하였다. 조단백질과 조회분 함량은 AOAC법(2005)에 준하여, Kjeldahl (B-324, 412, 435 and 719Titrino, BUCHI, Germany)과 회화로(Muffle furnace, Nabertherm, Liliental, Germany)를 이용하여 분석하였다. Neutral detergent fiber (NDF)와 acid detergent fiber (ADF) 함량은 Ankom<sup>200</sup> fiber analyzer (Ankom Technology, Macedon, NY, USA)를 이용하여 Van Soest et al. (1991)법에 준하여 분석하였다.

### 3. 발효 특성

채취한 총체벼 20 g과 증류수 180 mL를 믹서기에서 30초간 혼합한 후 거르로 걸러서 헤일리지 추출물을 제조하였다. 제조된 추출물은 pH meter (SevenEasy, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)를 이용하여 pH를 분석하였다. Volatile fatty acid (VFA) 함량은 auto sampler (L-2200, Hitachi, Tokyo, Japan), UV detector (L-2400, Hitachi, Tokyo, Japan) 및 column (MetaCarb 87H, Varian, CA, USA)이 설치된 HPLC를 이용하여 분석하였으며(Adesogan et al., 2004), 암모니아태 질소(Ammonia-N) 함량은 비색법에 준하여 분석하였다(Chaney and Marbach, 1962).

### 4. 미생물 성장과 호기적 안정성

미생물은 채취한 총체벼 1 g과 멸균 희석액(0.84% NaCl)으로 10진 희석법에 따라 희석 후 균수 측정을 위하여 각 희석 단계의 희석액을 사용하였다. 유산균(Lactic acid bacteria, LAB)은 Lactobacilli MRS agar media (MRS, Difco, Detroit, MI, USA)에 희석액 100 uL를 도말하여 30°C에서 48시간 배양 후 균수(log<sub>10</sub> cfu/g)를 측정하였다. 곰팡이(Mold)와 효모(Yeast)는 Potato dextrose agar (PDA, Difco, Detroit, MI, USA)를 이용하여 분석하였다. 분석은 3반복으로 수행하였으며, 반복의 평균값을 통계분석에 이용하였다. 호기적 안정성(Aerobic stability)은 Arriola et al. (2012)의 방법에 준하여, 사일로 개봉 직후 채취한 시료(1 kg)를 용기에 넣고 2개의 온도 센서(MORGANTM TR-60CH, Hongkong, China)를 각 헤일리지 심부에 설치한 후 30분 간격으로 온도를 기록하였다. 추가적인 4개의 온도 센서는 이용하여 실내 온도를 측정하였으며, 헤일리지 심부 온도가 실내 온도보다 2°C 이상 증가하는 시간을 측정하여 분석에 이용하였다.

### 5. 통계처리

본 시험은 2(세절; NCU vs. CUT) x 2(교반; CON vs. MIX) factorial design으로 수행되었으며, 본 시험에서 얻어진 결과는

PROC GLM SAS program (v. 9.4 program, 2013)을 이용하여 세절 및 교반의 상호작용 효과를 분석하였다. 처리구간 유의성 검정은 Tukey test( $p < 0.05$ )로 실시하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 영양소 함량

헤일리지 제조 전 총체벼의 영양소 함량은 Table 1과 같았다. 총체벼의 건물, 조단백질, 조지방, 조회분, NDF 및 ADF 함량은 각각 48.4, 9.70, 2.57, 6.11, 41.2 및 23.5%로 나타났다. 이와 같은 총체벼의 영양소 함량은 선행 연구들에서 이용된 총체벼의 영양소 함량과 유사하였다(Lee, et al., 2021; Joo et al., 2022).

헤일리지 제조 후 150일간 저장한 총체벼 곤포 헤일리지의 영양소 함량은 Table 2와 같았다. 본 연구에서는 세절에 따른 모든 시험구간 유의적인 차이는 나타나지 않았지만( $p > 0.05$ ), 교반을

한 MIX 시험구에서 NDF 함량이 감소한 경향을 나타내었다 ( $p=0.078$ ; CON vs. MIX = 43.6 vs. 40.8%). 일반적으로 조사료의 세절 길이를 짧게 하였을 때, 사일리지의 발효품질을 개선시키고 가축의 사료섭취량과 소화율을 증진시키는 것으로 보고되었다(Randby et al., 2008). 하지만, Lee et al. (2021)과 Einarson et al. (2004)의 연구에 의하면, 세절 길이는 사일리지의 영양소 함량에 영향을 주지 않았다고 하였는데, 이러한 결과는 본 연구에서도 유사한 결과를 나타내었다. 한편, 교반은 총체벼의 줄기와 잎, 이삭을 균일하게 섞어주고 사일로 내 답압과 밀봉 정도를 개선시킴으로써 젖산균에 의한 발효를 촉진시킬 수 있다(McDonald et al., 1991). 하지만, 본 연구에서는 총체벼를 수분 함량(48.4%)이 낮은 등숙기에 수확하여 헤일리지로 제조하였기 때문에, 사일로 내 발효가 미약하게 일어났으며 그로 인해 교반에 의한 효과가 적게 나타난 것으로 사료된다. 또한 이러한 설명은 본 연구에서 낮은 젖산 함량(0.52%~0.78%)에 의해서도 뒷받침될 수 있을 것으로 사료된다.

Table 1. Chemical compositions of whole crop rice before ensiling (% DM)

	Whole crop rice forage	SD <sup>1</sup>
Dry matter	48.4	1.127
Crude protein	9.70	0.518
Ether extract	2.57	0.040
Crude ash	6.11	0.013
Neutral detergent fiber	41.2	1.197
Acid detergent fiber	23.5	0.704

<sup>1</sup>SD, standard deviation.

Table 2. Effects of forage cutting and baler mixing on the chemical compositions of whole crop rice haylage ensiled for 150 day (% DM)

	NCU <sup>1</sup>		CUT		SEM	P-value
	CON	MIX	CON	MIX		
DM	41.3	41.1	40.0	40.2	1.712	0.668
CP	9.15	8.53	8.23	8.35	0.766	0.369
EE	2.39	2.50	2.44	2.41	0.453	0.987
CA	7.62	7.86	7.46	7.30	0.689	0.697
NDF	42.6	42.3	44.5	39.3	2.831	0.133
ADF	25.3	25.2	26.7	24.4	1.905	0.452
Contrast <sup>2</sup>	DM	CP	EE	CA	NDF	ADF
FCUT	0.238	0.313	0.176	0.918	0.704	0.778
BMIX	0.989	0.921	0.526	0.850	0.078	0.241
FCUT x BMIX	0.808	0.568	0.347	0.775	0.112	0.292

DM, dry matter; CP, crude protein; EE, ether extract; CA, crude ash; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber; SEM, standard error of the mean.

<sup>1</sup>NCU, whole crop without cutting; CUT, 5 cm of cutting length; CON, without baler mixing process; MIX, with baler mixing process.

<sup>2</sup>FCUT, effect of forage cutting; BMIX, effect of baler mixing; FCUT x BMIX, interaction effect between forage cutting and baler mixing.

2. 발효특성

헤일리지 제조 후 150일간 저장한 총체벼 곤포 헤일리지의 발효특성을 조사한 결과는 Table 3과 같았다. 헤일리지의 pH, ammonia-N, lactate, acetate, propionate, butyrate 및 lactate:acetate 비율은 세절 및 교반에 의한 효과는 나타나지 않았다 ( $p>0.05$ ). 하지만, lactate 함량은 CON 시험구가 MIX 시험구에 비해 유의적으로 높게 나타났으며( $p=0.019$ ; CON vs. MIX = 0.76 vs. 0.52%), 이로 인해 lactate:acetate 비율이 CON 시험구가 MIX 시험구에 비해 유의적으로 높게 나타났었다( $p<0.001$ ;

CON vs. MIX = 5.45 vs. 3.01). 총체벼를 이용하여 사일리지를 제조한 선행연구에서, 총체벼 사일리지의 pH는 4.58-4.86 수준으로 나타났으며, 이는 본 연구의 결과와 유사한 수준이었다(Joo et al., 2022). McDonald (1982)는 사료작물을 세절하면 사일리지 pH, lactate, ammonia-N 등 발효품질에 영향을 미친다고 보고하였으며, Weise (1968)는 세절 길이가 짧아지면 pH 강하 속도가 빨라지고, 사일로 내 밀도를 증가시켜 발효품질을 개선시킨다고 보고하였다. Sun et al. (2020)은 야생호밀(*Leptocanna chinensis*)을 사일리지로 제조 시, 세절 길이가 작을수록 pH는

Table 3. Effects of forage cutting and baler mixing on fermentation indices of whole crop rice haylage ensiled for 150 day

	NCU <sup>1</sup>		CUT		SEM	P-value
	CON	MIX	CON	MIX		
pH	4.29	4.39	4.30	4.54	0.220	0.370
Ammonia-N, % DM	0.10	0.07	0.08	0.08	0.015	0.146
Lactate, % DM	0.78	0.52	0.73	0.52	0.163	0.108
Acetate, % DM	0.16	0.16	0.17	0.19	0.034	0.605
Propionate, % DM	ND	ND	ND	ND	N/A	N/A
Butyrate, % DM	0.33	0.33	0.30	0.43	0.145	0.616
Lactate:Acetate ratio	5.02 <sup>a</sup>	3.05 <sup>b</sup>	5.88 <sup>a</sup>	2.97 <sup>b</sup>	0.751	0.002

  

Contrast <sup>2</sup>	pH	Ammonia-N	Lactate	Acetate	Propionate	Butyrate	Lactate:Acetate ratio
FCUT	0.460	0.415	0.941	0.294	N/A	0.594	0.671
BMIX	0.141	0.154	0.019	0.524	N/A	0.378	<0.001
FCUT x BMIX	0.555	0.088	0.727	0.613	N/A	0.414	0.289

ND, not detected; SEM, standard error of the mean.

<sup>1</sup>NCU, whole crop without cutting; CUT, 5 cm of cutting length; CON, without baler mixing process; MIX, with baler mixing process.

<sup>2</sup>FCUT, effect of forage cutting; BMIX, effect of baler mixing; FCUT x BMIX, interaction effect between forage cutting and baler mixing.

<sup>a,b</sup>Means in the same row with different superscripts differ significantly ( $p<0.05$ ).

Table 4. Effects of forage cutting and baler mixing on microbial counts and aerobic stability of whole crop rice haylage ensiled for 150 day

	NCU <sup>1</sup>		CUT		SEM	P-value
	CON	MIX	CON	MIX		
LAB, log10 cfu/g	7.79 <sup>ab</sup>	8.09 <sup>a</sup>	7.70 <sup>b</sup>	8.03 <sup>ab</sup>	0.174	0.038
Yeast, log10 cfu/g	7.81	7.52	7.41	7.62	0.500	0.716
Mold, log10 cfu/g	ND	ND	ND	ND	N/A	N/A
Aerobic stability, h	89.8	87.3	88.3	90.3	4.814	0.813

  

Contrast <sup>2</sup>	LAB	Yeast	Mold	Aerobic stability
FCUT	0.147	0.557	N/A	0.717
BMIX	0.010	0.887	N/A	0.857
FCUT x BMIX	0.875	0.340	N/A	0.397

LAB, lactic acid bacteria; SEM, standard error of the mean; ND, not detected; N/A, not applicable.

<sup>1</sup>NCU, whole crop without cutting; CUT, 5 cm of cutting length; CON, without baler mixing process; MIX, with baler mixing process.

<sup>2</sup>FCUT, effect of forage cutting; BMIX, effect of baler mixing; FCUT x BMIX, interaction effect between forage cutting and baler mixing.

<sup>a,b</sup>Means in the same row with different superscripts differ significantly ( $p<0.05$ ).

낮아지고 젖산 함량과 호기적 안정성은 개선되었다고 보고하였으나, 본 연구에서는 총체벼의 세절에 의한 효과는 나타나지 않았다. 한편 교반은 작물의 잎, 줄기, 종실 등이 고르게 혼합되어 밀봉 시, 발효품질을 개선시킬 수 있으나, 본 연구에서는 교반에 의해 lactate 함량과 lactate:acetate 비율은 감소하였으나 발효품질에는 큰 영향을 미치지 않았다. 이는 총체벼의 낮은 수분함량과 자주식 사료 수확기 이용으로 인해 교반 효과가 적게 나타난 것으로 사료된다.

### 3. 미생물 및 호기적 안정성

헤일리지 제조 후 150일간 저장한 총체벼 헤일리지의 미생물 성장과 호기적 안정성을 조사한 결과는 Table 4와 같았다. 총체벼의 세절이 미생물 성장과 호기적 안전성에 영향을 미치지 않았다( $p>0.05$ ). 하지만, 베일러 내 교반 시, LAB는 CON 시험구에 비해 MIX 시험구에서 유의적으로 높게 나타났으며( $p=0.010$ ; 7.75 vs. 8.09 log<sub>10</sub> cfu/g), 곰팡이는 모든 시험구에서 검출되지 않았다. Weise (1968)와 Kibe et al. (1981)은 사일리지의 세절 길이가 짧아지면 발효품질이 개선되어 유산균 수가 증가하며, 호기적 안전성이 개선된다고 보고하였는데 본 연구결과에서는 세절에 따른 효과가 나타나지 않았다. 한편, Wilkinson and Davies (2013)는 사일로 내 작물을 균일하게 교반하였을 때, 사일로 밀도와 온도가 적절히 유지되며, 사일리지 발효품질과 호기적 안전성이 개선된다고 보고하였는데, 본 연구 결과에서는 유산균 수는 증가하였지만 호기적 안전성에 차이가 나타나지 않았다. 이는 앞서 설명된 바와 같이, 총체벼의 낮은 수분함량으로 인해 미생물의 성장이 활발하게 일어나지 못했기 때문인 것으로 사료된다.

## IV. 요약

본 연구에서는 총체벼 세절과 베일러 내 교반이 곤포 헤일리지의 영양소 함량, 발효특성 및 호기적 안전성에 미치는 영향을 규명하고자 수행하였다. 총체벼 세절은 영양소 함량, 발효특성 및 호기적 안정성에 영향을 미치지 않았다. 하지만, 베일러 내 교반 시, 총체벼 곤포 헤일리지의 NDF와 lactate 함량 및 lactate:acetate 비율은 감소하였으나 LAB는 증가하였다. 이상의 결과에서, 베일러 내 교반은 총체벼 곤포 헤일리지의 발효품질 개선에 유리한 것으로 확인되었다.

## V. 사사

본 연구는 농림식품축산기술기획평가원의 연구사업(과제번호: 319039-03-3-HD020)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

## VI. REFERENCES

- Adesogan, A.T., Krueger, N., Salawu, M.B., Dean, D.B. and Staples, C.R. 2004. The influence of treatment with dual purpose bacterial inoculants or soluble carbohydrates on the fermentation and aerobic stability of bermudagrass. *Journal of Dairy Science*. 87:3407-3416. doi:10.3168/jds.S0022-0302(04)73476-1
- AOAC. 2005. Official method of analysis (18th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington DC. USA.
- Arriola, K.G., Kim, S.C., Huisden, C.M. and Adesogan, A.T. 2012. Stay-green ranking and maturity of corn hybrids: 1. Effects on dry matter yield, nutritional value, fermentation characteristics, and aerobic stability of silage hybrids in Florida. *Journal of Dairy Science*. 95:964-974. doi:10.3168/jds.2011-4524
- Chaney, A.L. and Marbach, E.P. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*. 8:130-132. doi:10.1093/clinchem/8.2.130
- Dunière, L., Sindou, J., Chaucheyras-Durand, F., Chevallier, I. and Thévenot-Sergentet, D. 2013. Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*. 182(1-4):1-15. doi:10.1016/j.anifeeds.2013.04.006
- Einaron, M.S., Plaizier, J.C. and Wittenberg, K.M. 2004. Effects of barley silage chop length on productivity and rumen conditions of lactating dairy cows fed a total mixed ration. *Journal of Dairy Science*. 87:2987-2996. doi:10.3168/jds.S0022-0302(04)73430-X
- Joo, Y.H., Jeong, S.M., Seo, M.J., Lee, S.S., Choi, K.C. and Kim, S.C. 2022. Effects of microbial additives and silo density on chemical compositions fermentation indices, and aerobic stability of whole crop rice silage. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 42(2):96-102. doi:10.5333/KGFS.2022.42.2.96
- Kibe, K., Noda, E. and Karasawa, Y. 1981. Effect of chop length on the course of fermentation of grass silage. *Japanese Journal of Zootechnical Science*. 52:882-888. doi:10/2508/CHIKUSAN.52.882
- Kim, J.G., Ham, J.S., Chung, E.S., Yoon, S.H., Kim, M.J., Park, H.S., Lim, Y.C. and Seo, S. 2008. Evaluation of fermentation ability of microbes for whole crop rice silage inoculant. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 28(3):229-236. doi:10.5333/KGFS/2009.28.3.229

## Forage Cutting and Baler Mixing on Whole Crop Rice Haylage

- Lee, S.S., Joo, Y.H., Jeong, S.M., Paradhita, D.H.V., Noh, H.T. and Kim, S.C. 2021. Effects of cutting length on fermentation characteristics and aerobic stability of whole crop rice silage. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 43:155-161. doi:10.5333/KGFS.2021.41.3.155
- Lim, D.H., Ki, K.S., Chio, S.H., Kwon, E.G., Kim, T.I., Park, S.M. and Kim, E.T. 2014. The effect of chopping corn silage and TMR mixing time of physically effective NDF in dairy cows and ruminal *in situ* dry matter disappearance. *Journal of Agriculture & Life Science*. 48(4):229-239. doi:10.14398/jals.2014.48.4.229
- McDonald, P. 1982. Silage fermentation. *Trends in Biochemical Sciences*. 7(5):164-166. doi:10.1016/0968-0004(82)901270-X
- McDonald, P., Henderson, A.R. and Heron, S.J.E. 1991. The biochemistry of silage (2nd ed.). Marlow, Bucks, UK: Chalcombe Publications. pp. 248-291.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). 2020. Press. 2020 promotion of support project for cultivation of other crops in paddy.
- Randby, Å.T., Garmo, T., Eknæs, M. and Prestløkken, E. 2008. Effect of grass silage chop length on intake and milk production by dairy cows. *Grassland Science in Europe*. 13:768-770.
- Sun, Z., Jia, T., Gao, R., Xu, S., Wu, Z., Wang, B. and Yu, Z. 2020. Effects of chopping length and additive on the fermentation quality and aerobic stability in silage of *Leymus chinensis*. *Processes*. 8(10):1283. doi:10.3390/pr8101293
- Takahashi, T., Horiguchi, K. and Goto, M. 2005. Effect of crushing unhulled rice and the addition of fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria on the fermentation quality of whole crop rice silage, and its digestibility and rumen fermentation status in sheep. *Animal Science Journal*. 76:353-8. doi:10.1111/j.1740-0929.2005.00275.x
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74:3583-3597. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
- Weise, F. 1968. The influence of chopping on the course of fermentation of moist silages. *Das Wirtschaftseigene Futter*. 14:294.
- Wilkinson, J. and Davies, D. 2013. The aerobic stability of silage: Key findings and recent developments. *Grass and forage Science*. 68(1):1-19. doi:10.1111/j.1365-2494.2012.00891.x

(Received : March 21, 2023 | Revised : March 27, 2023 | Accepted : March 28, 2023)