

Homo형 발효 및 Hetero형 발효 젖산균의 사용이 사일리지의 품질 및 호기적 안정성에 미치는 효과 : 메타분석

조상범¹ · 강정선² · 조경진² · 이강희² · 권찬호³ · 송재용⁴ · 이기환⁴ · 김수연⁴ · 김은중^{4*}

¹건국대학교 동물자원연구센터, ²(주)진바이오테크, ³경북대학교 말특수동물학과, ⁴경북대학교 축산학과

Effect of Homofermentative and Heterofermentative Lactic Acid Bacteria on the Quality and Aerobic Stability of Silage : Meta-Analysis

Sangbuem Cho¹, Jung Sun Kang², Kyung Jin Cho², Kang Hee Lee², Chan Ho Kwon³, Jaeyong Song⁴, Kihwan Lee⁴, Su Yeon Kim⁴ and Eun Joong Kim^{4*}

¹Animal Resources Research Center, Konkuk University, Seoul 143-701, Republic of Korea,

²Genebiotech Co. Ltd., 166 Sinwonsa-ro, Gyeryong-myeon, Gongju-si, 314-831, Republic of Korea,

³Department of Animal and Wild Animal Sciences, Kyungpook National University, Sangju 742-711, Republic of Korea,

⁴Department of Animal Science, Kyungpook National University, Sangju 742-711, Republic of Korea

ABSTRACT

In the silage quality, the process of fermentation and use of micro-organism as starter cultures are crucial. The present study investigated the effect of homo and heterofermentative lactic acid bacteria as a starter culture strain on the silage quality and its aerobic stability using meta-analysis. Total 19 studies were used in the analysis. According to the strains of lactic acid bacteria used, experimental groups were assigned to heterofermentative (HEL), mixture of hetero and homofermentative (HHO), homofermentative (HOL) and various homofermentative (HOM). In each experimental group, standardized result of the treatment (with inoculant) was compared with the control (without inoculant) using risk ratio calculation method. The effect of experimental group was also compared. Different starter culture strains did not influence on silage pH and propionic acid production. However, lactic acid and acetic acid production were significantly ($p<0.05$) influenced by the start culture strains. HOM showed the greatest lactic acid production and HEL was the lowest. In contrast, HEL showed the greatest in acetic acid production and HOM and HOL were the lowest. In terms of ammonia nitrogen, HHO produced more ($p<0.05$) than the rest of the treatment. In crude protein and water soluble carbohydrate contents, there were no significant effects among treatments. Different strain of lactic acid bacteria significantly influenced on the effect of aerobic stability ($p<0.05$). Use of heterofermentative showed greater aerobic stability and the use of homofermentative lactic acid bacteria.

(Key words : Homofermentative, Heterofermentative, Silage, Aerobic stability, Meta-analysis)

I. 서 론

사일리지는 발효과정을 통하여 만들어지며, 발효과정의 주요 생물학적 반응은 미생물에 의한 유기산 생성에 의해 이루어진다. 따라서 발효과정의 특성과 접종균으로 사용된 미생물의 종류는 사일리지 품질 결정에 있어 중요한 요인으로 작용한다(Cao et al., 2011; Mohd-Setapar et al., 2012). 젖산균(LAB, lactic acid bacteria)은 탄수화물을 발효시켜 다양한 유기산을 생성하는 미생물을 말하며, 이때

에 생성되는 유기산의 종류에 따라서 homofermentative LAB와 heterofermentative LAB로 구분된다(Abdel-Rahman et al., 2011).

사일리지 발효과정에서 생성된 유기산들의 종류는 사일리지 품질과 직접적인 관련성이 있다. Homofermentative LAB는 대사산물로 젖산을 주로 생산하는 것으로 알려져 있으며, 이때 생성된 젖산은 사일리지 숙성과정에서 빠른 pH 하강을 유도하여 발효 안정화에 도움을 준다. 반면에 heterofermentative LAB의 경우 젖산과 함께 다른 유기산들

* Corresponding author : Eun Joong Kim, Department of Animal Science, Kyungpook National University, Sangju 742-711, Republic of Korea, Tel: +82-54-530-1228, Fax: +82-54-530-1229, E-mail: ejkim2011@knu.ac.kr

을 생성하여 보다 복잡한 유기산 조성을 만든다. 일반적으로 homofermentative LAB가 사일리지 발효에 널리 적용되어 왔으나, 젖산에 치우친 유기산 생산은 호기적 안정성, 즉 사일리지 제조 완료 후 가축에게 급여하기 위하여 개봉한 후에 그 보존성에는 큰 도움을 주지 못한다는 보고도 있다 (Keles and Demirci, 2011).

이에 본 연구는 사일리지 제조에 있어 다양한 젖산균의 적용이 사일리지 품질과 호기적 안정성에 미치는 효과를 비교분석하여 사용목적에 적합한 균주선택 기준을 제공하고자 하였다. 메타분석이라는 통계적 기술을 이용하여 기존에 보고된 자료들의 결과를 종합적으로 분석하고 사일리지 발효 균주 선택에 유용한 자료를 제공함에 본 연구의 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 자료의 구성

본 연구에서는 1998년에서 2013년까지 보고된 연구논문을 대상으로 메타분석을 수행하였다. 논문의 선택은 다음과 같은 항목들 즉, 1) 사일리지제조 및 품질 평가 결과, 2) 젖산균의 적용, 3) 사용된 젖산균의 종과 속명의 제공에 대한 언급이 존재하는지의 여부에 따라서 결정하였다.

2. 자료의 분석

본 연구에서 적용한 연구논문들이 포함하고 있는 자료들은 각 연구논문들 간에 서로 일치하는 부분이 많지 않다. 예를 들어 사용된 작물, 젖산균의 종류, 사일리지 제작이 이루어진 장소(국가), 기후 그리고 연구자 등이 연구논문마다 다르다. 따라서 연구논문에서 보고하고 있는 결과들을 아무런 가공과정 없이 직접 비교하는 것은 다양한 편이가 존재할 수 있다. 이에 본 연구에서는 젖산균의 종류에 따른 사일리지 품질에 미치는 영향을 비교하기 전에 자료들의 표준화과정과 수학적 전환과정을 통하여 단위의 개념이 배제된 표준화 수치로 전환하는 과정을 수행하였다. 이러한 변환을 위하여 본 연구에서는 표준준규 분포를 이용한 표준화방법과 자료의 편차의 경향성을 상호 유사하게 변화시키는 로그변환방법을 적용하였다 (Cho et al., 2014).

3. 시험설계 및 분석항목

사용된 젖산균의 종류를 기초로 하여 총 4개의 시험구를

설정하였고, 상세한 분류는 다음과 같다; heterofermentative LAB를 사용한 시험구(HEL), heterofermentative과 homofermentative LAB를 혼합한 시험구(HHO), homofermentative LAB를 사용한 시험구(HOL) 그리고 서로 다른 homofermentative LAB를 사용한 시험구(HOM).

사일리지 품질로서 pH, 젖산, 초산, 프로피온산, 암모니아태 질소(NH₃-N), 조단백질(CP, crude protein), 수용성 탄수화물(WSC, water soluble carbohydrate) 그리고 호기조건에서의 안정성(AS, aerobic stability) 등을 조사하였다. 각 품질 요인들에 대한 시험구들간의 효과는 시험구 내 대조구와 처리구간 표준화된 결과 비교를 통하여 분석하였으며, 효과분석은 risk ratio 계산방법에 준하여 수행하였다.

$$Y_{ij} = X_{ij} / X_{cj}$$

위 수식에서, Y_{ij} 는 j 연구논문에서 i 처리의 효과를 의미한다. X_{ij} 와 X_{cj} 는 각각 j 연구논문에 있어, i 처리구와 c 대조구의 표준화된 결과를 의미한다.

4. 통계분석

효과에 관한 자료들은 일반선형모형 (general linear model)의 분산분석 (analysis of variance)을 통하여 가설검정을 수행하였고, 시험구간의 비교는 Duncan 다중 비교 분석방법을 통하여 유의적 차이를 분석하였다. 모든 통계검정은 유의수준 95%로 수행하였고, SPSS (version 18, IBM, USA) 프로그램을 이용하여 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 자료의 특성

본 연구에서는 총 19개의 연구논문들을 이용하여 분석하였으며, 인용된 연구들의 특성은 Table 1에서 보는 것과 같다. 대부분의 연구에서 사용한 작물은 옥수수로 나타났으며, 사일리지 발효기간은 60일에서 330일로 나타났다.

사용된 젖산균의 종류로는 *Lactobacillus plantarum*과 *Lactobacillus buchneri*가 주를 이루고 있음을 알 수 있었다. 총 19개의 연구들 중에서 14개의 연구들이 위의 두 가지 균주를 사용하였고, *Pediococcus pentosaceus*를 사용한 연구가 6개, *Enterococcus faecium*을 사용한 연구가 5개로 나타났다. 젖산균으로 *L. buchneri*를 사용한 연구들은 HEL 시험구로 분류하였고, *L. plantarum*을 사용한 연구들은 HOL로 분류하였다. 시험구 HHO는 *L. buchneri* and *L. plantarum*을 함께 사용한 연구들을 포함하고 있다. 젖산균

Table 1. Lactic acid bacteria strains used in study

| Study | Crop | Used strain | Ensiling, days |
|-------------------------------|-----------------|---|----------------|
| Cao et al. (2011) | Cabbage | <i>Lactobacillus plantarum</i> | 60 |
| Contreras-Govea et al. (2011) | Alfalfa, corn | <i>L. plantarum</i> , <i>Enterococcus faecium</i> , <i>L. pentosus</i> , <i>Lactococcus lactis</i> | 60 |
| Dreihuis et al. (1999) | Corn | <i>L. buchneri</i> | |
| Higginbotham et al. (1998) | Corn | <i>Pediococcus pentosaceus</i> , <i>L. buchneri</i> , <i>Propionibacterium acidipropionici</i> , <i>P. cerevisiae</i> , <i>L. plantarum</i> | 90 |
| Huisden et al. (2009) | Corn | <i>P. pentosaceus</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>E. faecium</i> , <i>L. buchneri</i> | 135 |
| Keles and Demirci (2011) | Hungarian vetch | <i>L. plantarum</i> , <i>L. buchneri</i> | 90 |
| Tabacco et al. (2011a) | Corn | <i>L. plantarum</i> , <i>L. buchneri</i> | 90 |
| Tabacco et al. (2011b) | Corn, sorghum | <i>L. plantarum</i> , <i>L. buchneri</i> | 84 |
| McAllister et al. (1998) | Chopped alfalfa | <i>L. plantarum</i> , <i>E. faecium</i> | 84 |
| Fang et al. (2012) | Rice straw | <i>L. plantarum</i> | 330 |
| Ranjit and Kung (2000) | Corn | <i>L. plantarum</i> , <i>L. buchneri</i> | 100 |
| Kung and Ranjit (2001) | Barley | <i>L. plantarum</i> , <i>L. buchneri</i> , <i>P. pentosaceus</i> | |
| Kleinmans et al. (2011) | Corn | <i>E. faecium</i> , <i>P. acidilactici</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. buchneri</i> , <i>L. salivarius</i> , <i>Lacto. lactis</i> | 60 |
| Kleinschmit et al. (2005) | Corn | <i>L. buchneri</i> | 122 |
| Queiroz et al. (2013) | Corn | <i>P. pentosaceus</i> , <i>L. buchneri</i> , <i>Acetobacter pasteurianus</i> , <i>Glucanobacter oxydans</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>E. faecium</i> | 120 |
| Queiroz et al. (2012) | Corn | <i>P. pentosaceus</i> , <i>L. buchneri</i> | 97 |
| Reich and Kung (2010) | Corn | <i>L. buchneri</i> , <i>P. acidilactici</i> | 215 |
| Schmidt et al. (2009) | Corn | <i>L. buchneri</i> , <i>P. pentosaceus</i> | 120 |
| Taylor et al. (2002) | Barely | <i>L. buchneri</i> , <i>P. pentosaceus</i> , <i>L. plantarum</i> | 120 |

으로 *L. plantarum*과 다른 homofermentative LAB를 사용한 연구들은 HOM 시험구로 분류하였다. 효과해석에 앞서, 본 연구에서 언급하고 있는 효과들은 단위를 상쇄시킨 상대적 인 값을 확인하여야 한다. 재료 및 방법에서 언급한 것 과 같이, 젖산균을 처리한 처리구와 대조구에서 관찰된 사 일리지 품질에 대한 결과는 모두 표준화하였고, 다시 처리 구의 표준화된 결과를 대조구의 표준화된 결과로 나누어서 처리효과를 산출하였다. 따라서 효과 비교결과가 1 보다 크 면 대조구보다 처리구의 결과가 높다는 것을 알 수 있다. 예를 들어 처리구의 표준화된 pH 결과가 대조구보다 높은 경우, pH에 대한 처리효과는 1 보다 큰 값을 갖게 된다.

2. 사일리지 품질 특성

사일리지의 pH와 유기산에 대한 처리효과는 Fig. 1에서 보는 것과 같다. 모든 시험구들은 1 보다 큰 처리효과 값을 나타내었다. 즉 처리구들은 대조구에 비하여 높은 pH를 나타내었다(Fig. 1A). 비록 젖산균 접종이 대조구에 비하여

높은 pH를 나타내었지만, 기초자료 분석에서 모든 시험구 들의 pH가 3에서 4 사이에 위치하고 있음을 확인하였다 (data not shown). 일반적으로 발효가 잘된 사일리지의 pH는 4.0과 4.7 사이에 위치하는 것으로 알려져 있다 (Mohd-Setapar et al., 2012). 따라서 pH에 대한 처리효과가 1 보다 큰 값을 나타내었으나, 기본적으로 모두 정상적인 pH 범위에 속하였으므로 처리에 의한 비정상적인 pH 효과 는 없었다고 볼 수 있었다. 또한 만약 사일리지의 pH가 정 상적인 pH 범위(3~5)에 있다면, pH는 사일리지 품질 판단 기준으로 그 효과가 낮다고 할 수 있을 것이다.

사일리지 내 젖산 생성량에 대한 효과는 Fig. 1B에서 보 는 것과 같다. 젖산균의 종류를 달리한 시험구들 간의 유 의적인 차이가 관찰되었다($p < 0.05$). heterofermentative LAB 를 접종군으로 사용한 시험구(HEL)가 다른 시험구들에 비 하여 유의적은 낮은 젖산 생성 효과를 나타내었다($p < 0.05$). 그리고 단일 homofermentative LAB 균주보다는 하나 이상 의 homofermentative LAB를 함께 사용하는 것이 유의적으로 많은 젖산 생성량을 나타내는 것으로 확인되었다($p < 0.05$).

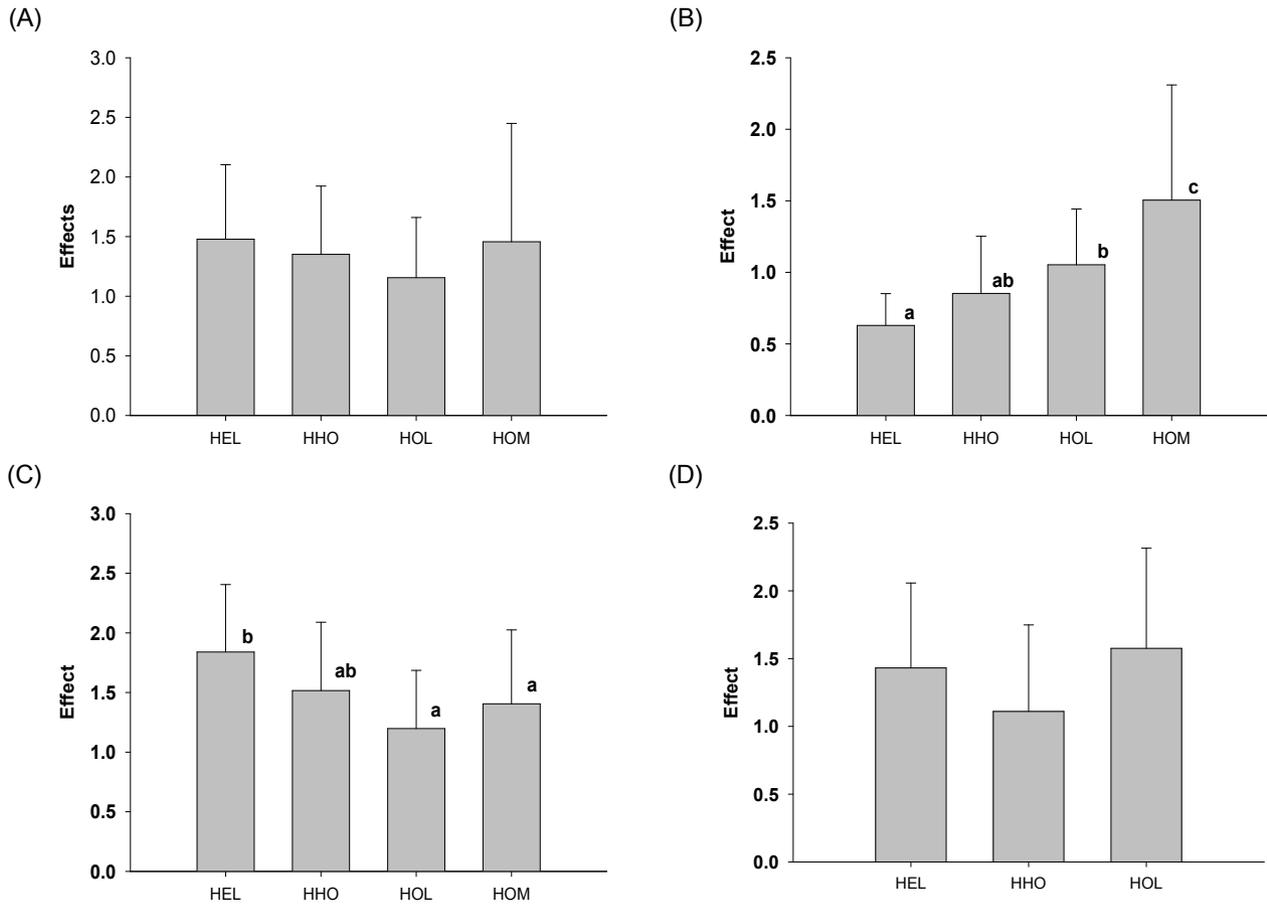


Fig. 1. Effect of different starter culture strains on silage pH (A), lactic acid (B), acetic acid (C) and propionic acid (D) productions. Treatments: heterofermentative LAB (HEL), mixture of hetero and homofermentative LAB (HHO), homofermentative LAB (HOL) and mixture of different strains of homofermentative LAB (HOM).

시험구들이 사일리지의 젖산 생성에 미치는 효과와 반대의 경향이 초산 생성 결과에서 나타났다 (Fig. 1C). 초산 생성 효과는 heterofermentative LAB를 사용할수록 유의적으로 증가하는 것을 알 수 있었다 ($p < 0.05$). 프로피온산의 경우, HOM 시험구는 평가되지 않았다. 그 이유는 HOM 시험결과에서 프로피온산 시험결과가 누락된 경우가 많이 관찰되어 분석에 적용할 수 없었다 (Fig. 1D). 프로피온산 분석결과가 해당 연구결과에서 보고되지 않은 이유는 homofermentative LAB를 사일리지에 적용할 경우, 프로피온산 생성량이 극히 낮기 때문인 것으로 판단된다. 사일리지 내 프로피온산 생성에 있어 시험구들간의 처리효과에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다 ($p > 0.05$).

일반적으로 품질이 우수한 사일리지의 젖산함량은 총 유기산 함량의 약 ~80% 수준인 것으로 알려져 있다. 그리고 초산과 프로피온산은 각각 22%와 3% 이하로 함유되는 것이 좋다고 알려져 있다 (Mohd-Setapar et al., 2012).

Homofermentative LAB를 스타터 균주로 사용하는 것은 사일리지 내 젖산 생성량을 증가시킬 수 있으며, 반대로 heterofermentative LAB를 사용하는 것은 젖산보다는 초산, 프로피온산 그리고 낙산의 생성비율을 향상시킬 수 있는 것으로 알려져 있다 (Heinl et al., 2012). 하지만 젖산 혹은 다른 특정 유기산을 집중적으로 향상시키는 것이 사일리지 품질증진에 도움이 될 것이라고 예측하는 것은 쉽지 않다. 왜냐하면 사일리지의 사용목적에 따라서 저장기간과 개봉 후의 저장기간이 다를 수 있기 때문이다. 만약 개봉 후 저장기간이 길다면 사일리지 발효기간 중 초산 생성을 증가시키는 것이 바람직할 것이다. 그 이유는 초산의 항균활성에서 찾아볼 수 있다. 초산은 젖산에 비하여 곰팡이나 세균들에 대한 항균력이 우수하다 (Woolford, 1975). 그러나 사일리지 내 과도한 초산생성은 개봉 후 호기적 안정성에는 도움이 되지만, 기호성이 낮아지는 문제가 발생할 수 있다 (Kleinschmit and Kung, 2006).

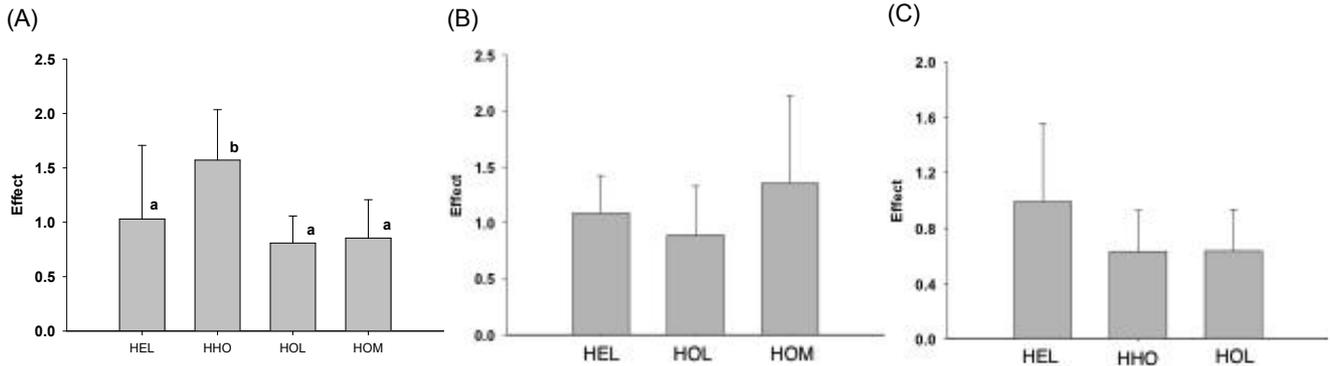


Fig. 2. Effect of different starter culture strains on ammonia nitrogen (A), crude protein (B), and water soluble carbohydrate (C) productions. Treatments: heterofermentative LAB (HEL), mixture of hetero and homofermentative LAB (HHO), homofermentative LAB (HOL) and mixture of different strains of homofermentative LAB (HOM).

사일리지 내 NH₃-N, CP 및 WSC 함량에 대한 시험구들의 효과는 Fig. 2에서 보는 것과 같다. 모든 시험구에서 처리구가 대조구에 비하여 많은 NH₃-N을 생성하는 것으로 나타났다(Fig. 2A). 시험구들 간의 비교에 있어서는 HHO 시험구가 유의적으로 높은 NH₃-N 생성효과를 나타내었다 (p<0.05). 사일리지 CP 함량에 있어서는 HOM 시험구가 비교적 높은 효과를 나타내었으나, 시험구들 간의 유의적인 차이는 나타나지 않았다(Fig. 2B). WSC 함량은 HEL 시험구에서 높은 처리효과를 나타내었으나, 시험구들간의 유의적 차이는 관찰되지 않았다. 사일리지 CP와 WSC 효과 분석에서 각각 HHO와 HOM 시험구가 누락된 것은 Fig. 1의 프로피온산의 결과에서와 마찬가지로 통계분석에 대해 충분한 자료를 찾을 수 없었기 때문이다.

3. 호기적 안정성

호기조건에서의 안정성에 대한 시험구들의 처리효과는 Fig. 3에서 보는 것과 같다. 호기조건에서의 안정성에 대한 시험구들의 효과는 매우 분명하게 나타났다. heterofermentative LAB를 사용할 경우 homofermentative LAB 사용에 비하여 유의적으로 우수한 호기적 안정성을 나타내었다 (p<0.05). 사일리지의 호기적 안정성은 사일리지 제조 완료 후, 가축에게 급여하는 동안 사일리지 보관성을 의미한다. 만약 사일리지 개봉 후 가축에게 급여하는 동안 사일리지에 오염이 발생한다면, 가축의 건강 및 생산성에 대하여 심각한 문제를 야기할 수 있다. 따라서 사일리지의 호기적 안정성은 사일리지 품질 요소들과 함께 중요한 지표가 될 수 있을 것이다(Higginbotham et al., 1998).

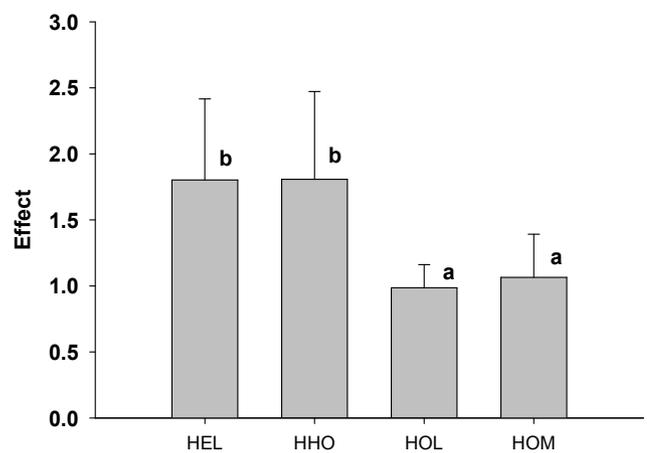


Fig. 3. Effect of different starter culture strains on aerobic stability of silage. Treatments: heterofermentative LAB (HEL), mixture of hetero and homofermentative LAB (HHO), homofermentative LAB (HOL) and mixture of different strains of homofermentative LAB (HOM).

IV. 요약

본 연구에서는 메타분석을 통하여 heterofermentative과 homofermentative LAB가 사일리지의 품질과 호기적 안정성에 대한 효과를 분석하였다. 일련의 분석결과 점종균으로 사용된 젖산균의 종류에 따라서 사일리지의 품질이 다르게 나타남을 확인할 수 있었다. 특히 호기적 안정성에 있어서 heterofermentative LAB의 사용이 매우 중요함을 알 수 있었다. 본 연구결과는 사일리지의 제조 목적 및 사용 방법에 따라서 점종균주를 다르게 선발하여야 하며, 사용 방법에 따라서 사일리지 내 유기산 조성을 변화시킬 수 있

는 발효조건이 필요함을 시사하고 있고, 또한 보다 정밀한 사일리지 발효기술에 대한 기초자료를 제공한다.

V. 사 사

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 지역 특화산업육성 (R&D) 기술개발사업(과제번호 R0002505)으로 수행된 연구결과입니다. 또한 이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

VI. REFERENCES

- Abdel-Rahman, M.A., Tashiro, Y., Zendo, T., Hanada, K., Shibata, K. and Sonomoto, K. 2011. Efficient homofermentative L-(+)-lactic acid production from xylose by a novel lactic acid bacterium, *Enterococcus mundtii* QU 25 ∇ . Applied and Environmental Microbiology. 77:1892-1895.
- Cao, Y., Cai, Y., Takahashi, T., Yoshida, N., Tohno, M., Uegaki, R., Nonaka, K. and Terada, F. 2011. Effect of lactic acid bacteria inoculant and beet pulp addition on fermentation characteristics and *in vitro* ruminal digestion of vegetable residue silage. Journal of Dairy Science. 94:3902-3912.
- Cho, S., Kwon, C.H. and Kim, E.J. 2014. Effects of bacterial inoculants and organic acids on silage quality: Meta-analysis. Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science. 34:94-102.
- Contreras-Govea, F.E., Muck, R.E., Mertens, D.R. and Weimer, P.J. 2011. Microbial inoculant effects on silage and *in vitro* ruminal fermentation, and microbial biomass estimation for alfalfa, bmr corn, and corn silages. Animal Feed Science and Technology. 163:2-10.
- Dreihuis, F., Oude Elferink, S.J.W.H. and Spoelstra, S.F. 1999. Anaerobic lactic acid degradation during ensilage of whole crop maize inoculated with. Journal of applied microbiology. 87: 583-594.
- Fang, J., Matsuzaki, M., Suzuki, H., Cai, Y., Horiguchi, K.I. and Takahashi, T. 2012. Effects of lactic acid bacteria and urea treatment on fermentation quality, digestibility and ruminal fermentation of roll bale rice straw silage in wethers. Grassland Science. 58: 73-78.
- Heinl, S., Wibberg, D., Eikmeyer, F., Szczepanowski, R., Blom, J., Linke, B., Goesmann, A., Grabherr, R., Schwab, H., Pühler, A. and Schlüter, A. 2012. Insights into the completely annotated genome of *Lactobacillus buchneri* CD034, a strain isolated from stable grass silage. Journal of Biotechnology. 161:153-166.
- Higginbotham, G.E., Mueller, S.C., Bolsen, K.K. and DePeters, E.J. 1998. Effects of inoculants containing propionic acid bacteria on fermentation and aerobic stability of corn silage. Journal of Dairy Science. 81: 2185-2192.
- Huisden, C.M., Adesogan, A.T., Kim, S.C. and Ososanya, T. 2009. Effect of applying molasses or inoculants containing homofermentative or heterofermentative bacteria at two rates on the fermentation and aerobic stability of corn silage. Journal of Dairy Science. 92:690-697.
- Keles, G. and Demirci, U. 2011. The effect of homofermentative and heterofermentative lactic acid bacteria on conservation characteristics of baled triticale-Hungarian vetch silage and lamb performance. Animal Feed Science and Technology, 164:21-28.
- Kleinmans, J.J., Dewar, W.R., Erasmus, H.J.H. and Densley, R.J. 2011. Using silage inoculants to improve the quality of pasture and maize silage in New Zealand Proceedings of the New Zealand Grassland Association, 73:75-80.
- Kleinschmit, D.H. and Kung, J.L. 2006. The Effects of *Lactobacillus buchneri* 40788 and *Pediococcus pentosaceus* R1094 on the fermentation of corn silage. Journal of Dairy Science. 89: 3999-4004.
- Kleinschmit, D.H., Schmidt, R.J. and Kung, J.L. 2005. The effects of various antifungal additives on the fermentation and aerobic stability of corn silage. Journal of Dairy Science. 88:2130-2139.
- Kung, J.L. and Ranjit, N.K. 2001. The effect of *Lactobacillus buchneri* and other additives on the fermentation and aerobic stability of barley Silage. Journal of Dairy Science. 84:1149-1155.
- McAllister, T.A., Feniuk, R., Mir, Z., Mir, P., Selinger, L.B. and Cheng, K.J. 1998. Inoculants for alfalfa silage: Effects on aerobic stability, digestibility and the growth performance of feedlot steers. Livestock Production Science. 53:71-181.
- Mohd-Setapar, S. H., Abd-Talib, N. and Aziz, R. 2012. Review on crucial parameters of silage quality. APCBEE Procedia. 3: 99-103.
- Queiroz, O.C.M., Arriola, K.G., Daniel, J.O.L.P. and Adesogan, A.T. 2013. Effects of 8 chemical and bacterial additives on the quality of corn silage. Journal of Dairy Science. 96:5836-5843.
- Queiroz, O.C.M., Kim, S.C. and Adesogan, A.T. 2012. Effect of treatment with a mixture of bacteria and fibrolytic enzymes on the quality and safety of corn silage infested with different levels of rust. Journal of Dairy Science. 95:5285-5291.
- Ranjit, N.K. and Kung, J.L. 2000. The Effect of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum*, or a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of corn silage. Journal of

- Dairy Science. 83:526-535.
- Reich, L.J. and Kung, J.L. 2010. Effects of combining *Lactobacillus buchneri* 40788 with various lactic acid bacteria on the fermentation and aerobic stability of corn silage. *Animal Feed Science and Technology*, 159:105-109.
- Schmidt, R.J., Hu, W., Mills, J.A. and Kung, J.L. 2009. The development of lactic acid bacteria and *Lactobacillus buchneri* and their effects on the fermentation of alfalfa silage. *Journal of Dairy Science*. 92:5005-5010.
- Tabacco, E., Piano, S., Revello-Chion, A. and Borreani, G. 2011a. Effect of *Lactobacillus buchneri* LN4637 and *Lactobacillus buchneri* LN40177 on the aerobic stability, fermentation products, and microbial populations of corn silage under farm conditions. *Journal of Dairy Science*. 94:5589-5598.
- Tabacco, E., Righi, F., Quarantelli, A. and Borreani, G. 2011b. Dry matter and nutritional losses during aerobic deterioration of corn and sorghum silages as influenced by different lactic acid bacteria inocula. *Journal of Dairy Science*. 94:1409-1419.
- Taylor, C.C., Ranjit, N.J., Mills, J.A., Neylon, J.M. and Kung, J.L. 2002. The Effect of treating whole-plant barley with *Lactobacillus buchneri* 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value for dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 85: 1793-1800.
- Woolford, M. K. 1975. Microbiological screening of the straight chain fatty acids (C1-C12) as potential silage additives. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 26:219-228.

(Received December 10, 2014 / Revised December 18, 2014 / Accepted December 23, 2014)