Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Ruminant Research

Print ISSN: 2345 - 4261
Online ISSN: 2345 - 4253

Effect of irrigation with sewage wastewater on contamination and quality of corn silage

Mohamad Hosein Hashemzadeh[1], Mohamd Khorvash[2], Amir Hosein Mahdavi[3], Ali Jabarzareh[1], Reihaneh Amini[4], Hassan Rafiee[5]

[1] PhD student in Department of Animal Sciences, Isfahan University of Technology
[2] Faculty member of Department of Animal Sciences (Retired), Isfahan University of Technology
[3] Faculty member of Department of Animal Sciences (Retired), Isfahan University of Technology
[4] MSc student in Molecular Cell Biology-Microbiology, Isfahan University
[5] Animal Science Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received;01/22/2024
Revised: 02/22/2024
Accepted:02/24/2024

Keywords:
Corn silage
Microbial factors
Quality indicators
Treated wastewater
Volatile fatty acids

ABSTRACT

Background and Objectives: As a result of the water scarcity, the use of unconventional water in the country, especially municipal wastewater, is inevitable. However, worries have always been existing about the possible contamination of these sources and the entry of these contaminants into the human food chain. Corn silage is regarded as one of the candidate products for irrigation with wastewater due to the possible reduction of microbial contamination resulting from various processing steps. The objective of this study was to investigate the quality and hygienic characteristics of corn silage irrigated by well water and treated wastewater.

Materials and Methods: For this purpose, information of 11 industrial dairy herds that provided their corn forage from lands located around the northern Isfahan water treatment plant were compared with 11 other dairy herds whit source of purchased corn forage from lands irrigated with well water. The chemical composition of silage samples, including dry matter, ash, crude protein, and ether extract, were measured using the proximate analysis. Also, neutral detergent fiber and acid detergent fiber were measured based on the Van Soest method. Furthermore, the net energy for lactation and non-fiber carbohydrates were calculated using Adams' equation and the subtraction method, respectively. Volatile fatty acids were measured using gas chromatography, while microbial population were measured according to the instructions of microbiological tests. The comparison of the mean values of the two groups of corn silage irrigated with the well water and treated wastewater was performed using SAS statistical software and the T-test procedure.

Results: There was no significant difference between the two groups of corn silage in terms of dry matter, ether extract, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, net energy for lactation and ash. However, the percentage of crude protein and the amount of acetic acid in the corn silage irrigated with treated wastewater were significantly lower than the control group ($P<0.01$). In contrast,

samples irrigated with treated wastewater had higher levels of non-fiber carbohydrates, along with propionic and butyric acids, which ultimately decreased the pH of silage ($P<0.01$). In terms of hygienic indicators, despite no significant difference in the amount of *E. coli* and Salmonella colonies between the two groups, the number of gram-negative bacteria, lactobacilli and the total bacterial count in the silage irrigated with treated wastewater were higher ($P<0.05$).

Conclusion: When treated sewage wastewater is utilized for irrigating corn forage, it alters the type of fermentation that takes place in the corn silage, leading to an increase in the levels of propionic and butyric acids, while decreasing the levels of acetic acid. As a result, the pH of the corn silage decreases further. According to this research, using treated sewage wastewater can negatively impact the quality of corn silage fermentation. This can result in a reduction of crude protein levels and an increase in certain microbial components. Therefore, it is crucial to improve the urban wastewater treatment process by reducing the concentration of ammonium nitrogen.

Cite this article: Hashemzadeh, M.H. Khorvash, M., Mahdavi, A.h., Jabarzareh, A., Amini, R., Rafiee, H. (2024). Effect of irrigation with sewage wastewater on contamination and quality of corn silage. *Journal of Ruminant Research*, 12(3), 57-70.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejrr.2024.22020.1928
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

پژوهش در نشخوارکنندگان
شاپا چاپی: ۴۲۶۱-۲۳۴۵
شاپا الکترونیکی: ۴۲۵۳-۲۳۴۵

تأثیر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده و آب چاه بر ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های کیفی سیلاژ ذرت

محمدحسین هاشم‌زاده[۱]، محمد خوروش[۲]، امیرحسین مهدوی[۳]، علی جبارزارع[۴]، ریحانه امینی[۵]، حسن رفیعی[۶*]

[۱] دانشجوی دکترای گروه علوم دامی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، رایانامه: mm-hashemzade72@yahoo.com
[۲] عضو بازنشسته هیات‌علمی گروه علوم دامی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، رایانامه: khorvash@iut.ac.ir
[۳] عضو هیات‌علمی گروه علوم دامی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، رایانامه: mahdavi@iut.ac.ir
[۴] دانشجوی دکترای گروه علوم دامی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، رایانامه: ali.jabar1121@gmail.com
[۵] دانشجوی کارشناسی‌ارشد زیست شناسی سلولی مولکولی-میکروبیولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران، رایانامه:reihaneh.amini66@gmail.com
[۶] عضو هیات‌علمی بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران، رایانامه: harafiee@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۵

واژه‌های کلیدی:
اسیدهای چرب فرار
پساب فاضلاب تصفیه شده
سیلاژ ذرت
شاخص‌های کیفی
عوامل میکروبی

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به کمبود آب، استفاده از آب‌های نامتعارف در کشور به خصوص پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری برای آبیاری محصولات کشاورزی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. با این حال نگرانی‌هایی در زمینه آلودگی‌های احتمالی این منابع و ورود این آلودگی‌ها به زنجیره غذایی انسان وجود دارد. ذرت علوفه‌ای به دلیل احتمال کاهش آلودگی میکروبی در مراحل مختلف سیلو کردن، به‌عنوان یکی از محصولات مناسب برای آبیاری با پساب فاضلاب مطرح است. هدف از مطالعه حاضر، بررسی تأثیر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه‌شده و آب چاه بر ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های کیفی سیلاژ ذرت بود.

مواد و روش‌ها: برای این منظور، نمونه‌های سیلاژ ۱۱ گله گاو شیری که علوفه ذرت موردنیاز خود را از مزارع واقع در محدوده تصفیه‌خانه شمال اصفهان تهیه می‌کردند، به همراه ۱۱ گله دیگر که منبع خرید علوفه ذرت آن‌ها از مزارع تحت آبیاری با آب چاه بود، جمع‌آوری شدند. ترکیبات شیمیایی نمونه‌های سیلاژ شامل ماده خشک، خاکستر، پروتئین خام و عصاره اتری با استفاده از روش تجزیه تقریبی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی براساس روش ون‌سوست اندازه‌گیری شد. همچنین انرژی خالص شیردهی[1] و کربوهیدرات‌های غیرالیافی[2] به‌ترتیب با استفاده از معادله آدامز و روش تفریق محاسبه گردید. اسیدهای چرب فرار و جمعیت میکروبی به‌ترتیب با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی و روش‌های استاندارد میکروبیولوژی اندازه‌گیری شد. میانگین ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های کیفی دو گروه سیلاژ به‌وسیله نرم‌افزار آماری SAS و رویه Ttest مقایسه گردید.

[1] NEL, net energy for lactation
[2] NFC, non-fiber carbohydrates

یافته‌ها: تفاوت معنی‌داری در میزان ماده خشک، عصاره اتری، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، انرژی خالص شیردهی و خاکستر بین دو گروه سیلاژهای ذرت آبیاری شده با پساب فاضلاب تصفیه‌شده و آب چاه مشاهده نشد. بااین‌حال درصد پروتئین خام و مقدار اسید استیک موجود در سیلاژهای ذرت آبیاری شده با پساب فاضلاب کمتر از گروه شاهد بود (P<۰/۰۱). در مقابل، نمونه‌های آبیاری شده با پساب فاضلاب دارای مقدار بیشتری کربوهیدرات غیر الیافی به‌همراه اسیدهای چرب فرار پروپیونیک و بوتیریک بودند که در نهایت باعث کاهش معنی‌دار pH گردید (P<۰/۰۱). از لحاظ شاخص‌های بهداشتی، علی‌رغم عدم مشاهده تفاوت معنی‌دار در مقدار کلنی‌های *اشرشیاکلی* و سالمونلا بین دو گروه، تعداد باکتری‌های گرم منفی، لاکتوباسیل و کل شمارش باکتری در سیلاژ آبیاری شده با پساب فاضلاب بیشتر بود (P<۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: استفاده از پساب فاضلاب تصفیه‌شده برای آبیاری ذرت علوفه‌ای منجر به تغییر نوع تخمیر سیلاژ ذرت و افزایش اسید پروپیونیک و بوتیریک و کاهش اسید استیک می‌شود که درنهایت منجر به کاهش بیشتر pH سیلو می‌گردد. بر اساس یافته‌های حاضر به‌نظر می‌رسد با توجه به اثرات مخرب استفاده از پساب فاضلاب تصفیه‌شده در کیفیت تخمیر، کاهش پروتئین خام و افزایش برخی از فاکتورهای میکروبی، بایستی تمهیداتی جهت بهبود فرآیند تصفیه فاضلاب شهری به ویژه کاهش غلظت نیتروژن آمونیومی انجام گیرد.

استناد: هاشم‌زاده، محمدحسین؛ خوروش، محمد؛ مهدوی، امیرحسین؛ جبارزارع، علی؛ امینی، ریحانه؛ رفیعی، حسن. (۱۴۰۳). تأثیر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده و آب چاه بر ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های کیفی سیلاژ ذرت. *پژوهش در نشخوارکنندگان*، ۱۲(۳)، ۷۰-۵۷.

DOI: 10.22069/ejrr.2024.22020.1928

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

امروزه یکی از مهم‌ترین مباحث جهانی، تأمین مواد غذایی برای جمعیت در حال رشد، با توجه به منابع طبیعی محدود و کمترین آثار مخرب را روی محیط‌زیست می‌باشد، است (FAO، ۲۰۲۳). علاوه بر قابلیت دسترسی به این منابع، کیفیت آن‌ها نیز حائز اهمیت است؛ به‌طوری‌که کیفیت منابع طبیعی تحت تأثیر فعالیت‌های انسان (کشاورزی، صنعتی و شهری) بوده و در حال حاضر روند نگران‌کننده‌ای را طی می‌کند (Khoshravesh و همکاران، ۱۴۰۰).

کشور ایران یکی از کشورهای کمربند خشک کره زمین است که حدود ۶۰ درصد وسعت آن دارای آب‌وهوای کاملاً خشک بیابانی و ۳۵ درصد آن دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک بوده و به‌طورکلی میانگین بارش در ایران (۲۲۸ میلی‌متر) کمتر از یک‌سوم میانگین بارش جهانی است (FAO، ۲۰۰۸). با توجه به این شرایط، استفاده از آب‌های نامتعارف در کشور به‌خصوص پساب فاضلاب شهری اجتناب‌ناپذیر است (Safari Sanjani و Haj Rasoliha، ۲۰۰۱). بااین‌حال، همواره نگرانی‌هایی در زمینه آلودگی‌های احتمالی این منابع و ورود این آلودگی‌ها به زنجیره غذایی انسان وجود داشته است (Weinberg و همکاران، ۲۰۰۴). استفاده از پساب تصفیه‌شده فاضلاب برای محصولاتی که به‌طور مستقیم به مصرف انسان نمی‌رسند، به عنوان یکی از راه‌کارهای کاهش انتقال آلودگی به انسان عنوان‌شده است. در این میان، سیلاژ ذرت به دلیل احتمال کاهش آلودگی میکروبی حاصل از طی نمودن مراحل مختلف فرآوری، به‌عنوان یکی از محصولات مناسب برای آبیاری با پساب فاضلاب مطرح است (Weinberg و همکاران، ۲۰۰۴).

تاکنون در ایران تحقیقات محدودی در زمینه اثرات آبیاری با پساب فاضلاب بر خصوصیات خاک و برخی از خصوصیات کیفی محصولات زراعی انجام‌گرفته است (Safari Sanjani و Haj Rasoliha، ۲۰۰۱، Abbasi و همکاران، ۲۰۲۱). در تحقیقی اعلام گردید که استفاده از پساب فاضلاب می‌تواند باعث افزایش عملکرد تولید ذرت علوفه‌ای شود که این افزایش احتمالاً به علت وجود عناصر معدنی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم در پساب فاضلاب است (Abbasi و همکاران، ۲۰۲۱). متأسفانه مطالعات اندکی در مورد تأثیر آبیاری با پساب فاضلاب بر کیفیت سیلاژ ذرت انجام‌شده است. تنها مطالعه انجام‌گرفته در مورد اثرات استفاده از پساب تصفیه فاضلاب بر کیفیت و بهداشت سیلاژ ذرت به تحقیق Weinberg و همکاران (۲۰۰۴) محدود می‌گردد. در این تحقیق بیان گردید که استفاده از پساب فاضلاب بر کیفیت سیلاژ ذرت ازلحاظ بهداشتی تأثیر منفی ندارد و این سیلاژ می‌تواند در تغذیه گاوهای شیری پرتولید استفاده گردد. البته نکته قابل‌ذکر این است که کیفیت پساب فاضلاب بسته به سیستم تصفیه بسیار متفاوت است (Haruta و همکاران، ۲۰۰۸) که باعث به وجود آمدن تفاوت‌های بسیار در نتایج تحقیقات می‌شود. علاوه بر این، کیفیت خاک تحت تأثیر مدت استفاده از پساب بسیار متغیر است که می‌تواند اثرات متفاوتی بر کیفیت محصولات زراعی داشته باشد (Safari Sanjani و Haj Rasoliha، ۲۰۰۱).

با توجه به اینکه بخش وسیعی از اراضی کشاورزی منطقه برخوار استان اصفهان توسط پساب فاضلاب خروجی تصفیه‌خانه شمال اصفهان آبیاری می‌گردد، انجام یک تحقیق میدانی مرتبط با اثرات پساب تصفیه‌شده فاضلاب بر کیفیت سیلاژ ذرت ضروری بود. لذا هدف از این تحقیق بررسی دامنه وسیعی از خصوصیات کیفی و بهداشتی سیلاژ ذرت آبیاری شده با پساب فاضلاب در اراضی کشاورزی برخوار اصفهان بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از اطلاعات ۱۱ گله گاو شیری صنعتی که علوفه ذرت موردنیاز خود را از مزارع منطقه برخوار شرقی استان اصفهان، واقع در محدوده تصفیه‌خانه شمال اصفهان تا منطقه حبیب‌آباد تهیه می‌کردند، استفاده گردید. علاوه بر این تعداد ۱۱ گله دیگر از سایر نقاط محدوده شهر اصفهان که منبع خرید علوفه ذرت آن‌ها از مزارع تحت آبیاری با آب چاه بود، به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. گله‌های شاهد طوری انتخاب شدند که از لحاظ تعداد دام مولد (بین ۴۰ تا ۸۵ رأس)، ساختمان سیلو (یک واحد سیلوی خندقی با شیب رو به درون و چاه ذخیره پساب) و نوع مدیریت سیلاژ (کوبش علوفه به وسیله لودر، پوشش کامل سیلو به وسیله برزنت و پلاستیک و برداشت علوفه توسط لودر) متناسب با گله‌های اصلی باشند. بدین ترتیب برای هر کدام از سیلاژهای آبیاری شده با آب چاه و یا پساب فاضلاب تصفیه‌شده ۱۱ نمونه سیلاژ ذرت گرفته شد و به عنوان تکرار استفاده گردید. برخی از خصوصیات شیمیایی و بهداشتی پساب فاضلاب تصفیه‌شده در این تصفیه‌خانه به‌همراه اطلاعات میانگین ۵ چاه منتخب در منطقه شمال و شرق اصفهان در جدول ۱ نشان داده‌شده است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات شیمیایی و بهداشتی پساب فاضلاب تصفیه‌شده در تصفیه‌خانه شمال اصفهان و آب چاه[۱]

Table 1. Some chemical and hygienic properties of treated wastewater in the treatment plant of north Isfahan and well water[1]

آب چاه (خطای استاندارد) Well water (SE)	پساب تصفیه‌شده فاضلاب (خطای استاندارد) Treated wastewater (SE)	دستگاه اندازه‌گیری Gauge	متغیر Characteristics
6.48 ± 0.57	1.11 ± 0.57	Electrical Conductivity Ohm meter 644	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ds m^{-1})
7.20 ± 0.67	7.75 ± 0.67	pH meter 3330, Jenway	pH
9.10 ± 2.03	39.3 ± 2.03	Elisa Reader	نیتروژن آمونیومی Ammonium (mg L^{-1}) nitrogen
5.18 ± 0.96	5.29 ± 0.96	Hatch DR6000	نیتروژن نیتراتی Nitrate nitrogen (mg L^{-1})
0.32 ± 0.21	0.56 ± 0.21	Atomic Absorption	سرب Lead (ppm)
< DL	< DL[2]	Atomic Absorption	کادمیوم Cadmium (ppm)
ND[3]	3.54 ± 0.16	Differential growth medium	*E.coli* (cfu mL^{-1}) *اشرشیاکلی*
ND	2.45 ± 0.10	Differential growth medium	*Salmonella* (cfu mL^{-1}) *سالمونلا*
ND	4.44 ± 0.24	Differential growth medium	*Lactobacilli* (cfu mL^{-1}) *لاکتوباسیل*
0.82 ± 0.28	4.71 ± 0.28	Differential growth medium	gram-negative (cfu mL^{-1}) bacteria گرم منفی
3.03 ± 0.80	6.51 ± 0.80	Differential growth medium	Total (cfu mL^{-1}) bacterial count کل شمارش میکروبی

[1]Average of five selected wells in the north and east of Isfahan — [۱] میانگین پنج چاه منتخب در شمال و شرق اصفهان

[2]Detection Limit — [۲] زیر حدتشخیص

[3]Not Detection — [۳] غیرقابل تشخیص

نمونه‌گیری از سیلاژ در یک بازه دو ماهه و به روش استاندارد SR EN ISO انجام گرفت (Hutjens، ۲۰۰۹). در این روش از مقطع عمودی هر سیلو ۱۲ تا ۱۶ نقطه، بسته به ابعاد سیلو انتخاب شدند و در هر نقطه از عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متری یک نمونه با وزن تقریبی ۳۵۰ گرم اخذ گردید. سپس نمونه‌ها درون کیسه‌های نایلونی قرار گرفتند و درب آن محکم بسته شد. پس از برداشت نمونه از نقطه موردنظر، دمای

محل توسط دماسنج الکلی ثبت گردید. نمونه‌های سیلاژ ذرت برای آزمایشات میکروبی به‌صورت جداگانه و با رعایت موازین بهداشتی با استفاده از دستکش لاتکس یک‌بار مصرف برداشته شدند و سپس داخل فلاکس حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند.

ترکیبات شیمیایی نمونه‌های سیلاژ شامل ماده خشک، خاکستر، پروتئین خام و عصاره اتری با استفاده از روش تجزیه تقریبی (Horwitz، ۱۹۷۵) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی براساس روش ون‌سوست (Goering و Van Soest، ۱۹۷۰) اندازه‌گیری شد. همچنین انرژی خالص شیردهی[1] و کربوهیدرات‌های غیرالیافی[2] به ترتیب با استفاده از معادله آدامز (Adams و Moss، ۲۰۰۰) و روش تفریق[3] محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری اسیدهای چرب فرار شامل اسید استیک، اسید پروپیونیک و اسید بوتیریک، ابتدا عصاره سیلاژ با روش های استاندارد استخراج شد و سپس با دستگاه کروماتوگرافی گازی با سه تکرار اندازه‌گیری شد (Hutjens، ۲۰۰۹). برای اندازه‌گیری جمعیت میکروبی نمونه‌های سیلاژ، ابتدا مقدار ۹۰۰ میلی‌لیتر سرم فیزیولوژیک به ۱۰۰ گرم نمونه سیلاژ استریل اضافه گردید؛ سپس محتویات به مدت یک ساعت در شیکر نگهداری شدند. در ادامه ۱۰۰ میکرولیتر از محتویات به اپندورف حاوی ۹۰۰ میکرولیتر سرم فیزیولوژیک اضافه شد و رقیق‌سازی تا غلظت 10^{-5} ادامه پیدا کرد. در آخر ۱۰۰ میکرولیتر از هر رقت در پلیت‌های حاوی محیط‌های MRS[4]، EMB[5] و XLD[6] آگار به‌مدت ۴۸ ساعت کشت داده شد و شمارش تعداد کلنی و محاسبه تعداد باکتری طبق دستور کار آزمون‌های میکروبیولوژی انجام گرفت (Mortazavi و همکاران، ۲۰۰۷).

مقایسه میانگین دو گروه سیلاژ ذرت آبیاری شده با آب چاه و پساب فاضلاب، به‌وسیله نرم‌افزار آماری SAS و رویه آزمون Ttest انجام گرفت. قبل از هر بار مقایسه میانگین، ابتدا واریانس هر دو گروه سنجیده شد و سپس با توجه به مساوی و یا نامساوی بودن واریانس‌ها، از روش متناسب استفاده گردید. در این مورد هنگامی که واریانس دو تیمار اختلاف معنی‌داری نداشتند از واریانس ادغام‌شده[7] استفاده گردید (Kaps و Lamberson، ۲۰۱۷). مدل استفاده شده به شرح زیر می‌باشد:

$$Y_{ij} = \mu + Treat_i + e_{ij}$$

در این مدل μ بیانگر میانگین کلی، Treat بیانگر اثر ثابت تیمار (آبیاری علوفه ذرت با پساب تصفیه‌شده فاضلاب و یا آب چاه) و e اثر تصادفی باقیمانده می‌باشد.

نتایج و بحث

این مطالعه به‌منظور ارزیابی کیفیت و سلامت سیلاژ ذرت آبیاری شده با پساب فاضلاب در استان اصفهان انجام شد. پساب فاضلاب ممکن است منبع میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، فلزات سنگین و مواد شیمیایی مختلف باشد. میانگین تولید شیر سالیانه در گاوداری‌های صنعتی استان اصفهان بیش از ۱۱/۵ تن است (Nasre Esfahani، ۲۰۱۷) و بنابراین این گاوها به هر گونه تغییر در کیفیت خوراک یا بهداشت حساس می‌باشند. به‌منظور ارزیابی وضعیت کیفیت و سلامت سیلاژ ذرت که با پساب فاضلاب آبیاری می‌شوند، جمعیت میکروارگانیسم‌های مختلف (*coli* .

[1] NEL, net energy for lactation
[2] NFC, non-fiber carbohydrates
[3] NFC = 100 – (NDF + CP + EE + ASH)
[4] Lactobacillus MRS Agar
[5] Eosin Methylene Blue
[6] Xylose lysine deoxycholate
[7] Pooled variance

E و *Salmonella*) و پروفایل اسیدهای چرب بررسی شدند.

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود میزان نیتروژن آمونیاکی و میزان باکتری‌های مختلف در پساب فاضلاب خیلی بیشتر از آب چاه می‌باشد. مشابه با نتایج ما Khoshravesh و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند که سطح سرب در پساب فاضلاب بیشتر از آب چاه می‌باشد. نکته قابل‌توجه در این است که با بررسی منابع مختلف مشخص می‌شود که ترکیب شیمیایی پساب فاضلاب تصفیه‌شده در مناطق مختلف کاملاً با هم متفاوت می‌باشد که این موضوع بیانگر این است که حتماً در زمان استفاده از پساب برای آبیاری محصولات کشاورزی باید آن را آزمایش کرد و براساس ترکیب شیمیایی در مورداستفاده یا عدم استفاده از آن تصمیم‌گیری کرد.

ترکیبات شیمیایی سیلاژهای آبیاری شده با پساب فاضلاب و آب چاه در جدول ۲ نشان داده‌شده است. تفاوت معنی‌داری در میزان ماده خشک، چربی خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، انرژی خالص شیردهی و خاکستر بین دو گروه سیلاژهای ذرت آبیاری شده با پساب فاضلاب تصفیه‌شده و آب چاه مشاهده نشد. با این حال پروتئین خام موجود در سیلاژهای ذرت آبیاری شده با پساب فاضلاب کمتر از گروه شاهد بود (P<۰/۰۱، ۷/۰۵ در مقابل ۸/۹۸ درصد). همچنین کربوهیدرات غیر الیافی در نمونه‌های سیلاژ آبیاری شده با پساب فاضلاب بیشتر از نمونه‌های آبیاری شده با آب چاه بود (P<۰/۰۵، ۲۴/۰۸ در مقابل ۱۹/۴۲ درصد).

تحقیقات نشان داده‌اند که غلظت بالای سطوح نیتروژن آمینیومی در خاک باعث اختلال در جذب مواد آلی و نیتروژن توسط گیاه می‌شود (Chen و همکاران، ۲۰۰۰؛ Marschner، ۱۹۹۵). با توجه به غلظت بالای نیتروژن آمونیومی در پساب فاضلاب تصفیه‌شده، کاهش پروتئین در سیلاژهای آبیاری شده با پساب را می‌توان توجیه کرد. علاوه بر این، جانشینی فلزهای سنگینی مانند سرب با فلزهای ضروری که در ساختار آنزیم‌ها و پروتئین‌ها نقش دارند، باعث اختلال در فرآیند تولید پروتئین در گیاه می‌گردد (Dirilgen، ۲۰۰۱). کاهش معنی‌دار سطح پروتئین و کاهش عددی سطح الیاف نامحلول در شوینده خنثی در سیلاژ آبیاری شده با پساب تصفیه‌شده فاضلاب منجر به افزایش سطح کربوهیدرات غیرفیبری گردید.

میانگین دمای سطوح مختلف، پروفایل اسیدهای چرب فرار و pH سیلاژها در جدول ۳ بیان‌شده است. به‌طورکلی میانگین دمای سیلاژهای آبیاری شده با پساب فاضلاب نسبت به گروه شاهد تمایل به کاهش داشت (P=۰/۰۸، ۲۸/۱ در مقابل ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد). بااین‌حال مقدار دما در سطوح مختلف سیلاژ از الگوی متفاوتی پیروی می‌کرد. در این رابطه دمای لایه‌های فوقانی سیلاژهای آبیاری شده با پساب فاضلاب نسبت به گروه شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت (P=۰/۱۰، ۳۲/۵ در مقابل ۳۰/۵ درجه سانتی‌گراد) ولی در لایه‌های پایینی الگوی متفاوتی داشت به‌طوری‌که دمای سیلاژ ذرت آبیاری شده با پساب فاضلاب بیش از ۵ درجه سانتی‌گراد کمتر از گروه شاهد بود (P<۰/۰۱، ۲۳/۸ در مقابل ۲۹/۱ درجه سانتی‌گراد).

جدول ۲- مقایسه ترکیبات شیمیایی سیلاژ ذرت آبیاری شده با پساب فاضلاب تصفیه‌شده و سیلاژ ذرت آبیاری شده با آب چاه

Table 2. Comparison of chemical compositions in corn silages irrigated by treated wastewater and well water

متغیر Characteristics	پساب فاضلاب تصفیه‌شده (خطای استاندارد) Treated wastewater (SE)	آب چاه (خطای استاندارد) Well water (SE)	p-value
ماده خشک Dry matter (%)	22.10 ± 0.63	23.17 ± 0.63	0.24
پروتئین خام Crude protein (%)	7.05 ± 0.29	8.98 ± 0.29	< 0.01
عصاره اتری Ether extract (%)	2.89 ± 0.16	2.64 ± 0.16	0.30
الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber (%)	57.47 ± 1.48	60.97 ± 1.48	0.11
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber (%)	35.12 ± 1.00	34.76 ± 1.00	0.80
کربوهیدرات‌های غیرالیافی[1] Non-fiber carbohydrates (%)	24.08 ± 1.52	19.42 ± 1.52	0.04
خاکستر Ash (%)	8.49 ± 0.34	7.97 ± 0.34	0.29
انرژی خالص شیردهی[2] Net energy for lactation (Mcal kg^{-1})	1.33 ± 0.03	1.34 ± 0.03	0.81

[1] محاسبه شده با فرمول (٪ Ash +٪ NDF +٪ EE +٪ CP) – ۱۰۰ = کربوهیدارت‌های غیرالیافی.

[1] Calculated by NFC = 100 – (NDF + CP + EE + ASH) equation

[2] محاسبه شده با فرمول: (1.044-1.24*ADF)*2.2 = انرژی خالص شیردهی.

[2] Calculated by NEL = (1.044-1.24*ADF)*2.2

به‌طورکلی باقی ماندن پساب سیلاژ در قسمت‌های پایینی ساختمان سیلو باعث کاهش دما در این قسمت می‌شود؛ علاوه بر این افزایش سطح اسید بوتیریک با کاهش دمای سیلاژ ارتباط تنگاتنگی دارد (Hutjens، ۲۰۰۹). با توجه به اینکه درصد ماده خشک بین دو تیمار مورد بررسی از لحاظ آماری معنی‌دار نشد، احتمالاً اختلاف دما در لایه‌های زیرین دو گروه از سیلاژ به تفاوت در سطح اسید بوتیریک مربوط است.

الگوی اسیدهای چرب در دو گروه سیلاژ مورد مقایسه متفاوت بود (جدول ۳). مقدار اسید استیک در سیلاژ آبیاری شده با پساب فاضلاب کمتر از نمونه‌های آبیاری شده با آب چاه بود (P<۰/۰۱، ۱/۴۴ درصد در مقابل ۳/۰۹ درصد). اسید پروپیونیک و اسید بوتیریک در سیلاژهای آبیاری شده با آب چاه تشخیص داده نشد و این در حالی بود که مقدار این دو اسید چرب در سیلاژ آبیاری شده با پساب فاضلاب به ترتیب برابر با ۰/۵۵ (P=۰/۰۳) و ۰/۴۴ (P=۰/۰۸) درصد بود. به‌طورکلی سیلاژ آبیاری شده با پساب فاضلاب نسبت به گروه شاهد دارای pH پایین‌تری بود (P<۰/۰۱، ۳/۶۹ در مقابل ۳/۸۶).

کمتر بودن pH سیلاژهای آبیاری شده با پساب فاضلاب نسبت به سیلاژهای آبیاری شده با آب چاه می‌تواند ناشی از کمتر بودن سطح پروتئین و بالاتر بودن میزان کربوهیدرات‌های غیر الیافی باشد که منجر به قدرت بافری کمتر و تخمیر بیشتر و در نهایت کاهش بیشتر pH است (Hutjens، ۲۰۰۹). مقدار pH سیلاژ ذرت مطلوب باید در محدوده ۳/۸ تا ۴/۲ باشد (Hutjens، ۲۰۰۹) که از این لحاظ سیلاژهای ذرت آبیاری شده با پساب فاضلاب خارج از این دامنه (۳/۶۹) قرار داشتند. مقدار اسید استیک سیلاژهای آبیاری شده با پساب فاضلاب به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد بود که این مورد نشان‌دهنده تخمیر نامناسب در این گروه از سیلاژها است. دلیل احتمالی تخمیر نامناسب در سیلاژهای آبیاری شده با پساب فاضلاب می‌تواند ناشی از فعالیت گسترده انتروباکترها مانند لاکتوباسیل و تبدیل قندهای محلول به اسیدهای

چرب فرار دیگری نظیر اسید پروپیونیک و اسید بوتیریک باشد (Hutjens، ۲۰۰۹). سطح رایج اسید پروپیونیک در سیلاژ ذرت کمتر از ۰/۱ درصد است و اسید بوتیریک نباید تشخیص داده شود (Kung و همکاران، ۲۰۱۸). غلظت بالای اسید بوتیریک (بیشتر از ۰/۵ درصد) نشان می‌دهد که سیلو احتمالاً تحت تخمیر کلستریدیایی قرارگرفته است که یکی از ضعیف‌ترین تخمیرها است. سیلوهای حاوی اسید بوتیریک بالا معمولاً ارزش غذایی پایینی دارند و سطوح الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی بالاتری دارند زیرا بسیاری از مواد مغذی محلول تجزیه‌شده‌اند. چنین سیلوهایی همچنین ممکن است دارای غلظت بالایی از پروتئین‌های محلول باشند و ممکن است حاوی ترکیبات پروتئینی کوچکی به نام آمین باشند که گاهی اوقات نشان داده‌شده است که بر عملکرد حیوانات تأثیر منفی می‌گذارد. اسید بوتیریک بالا گاهی اوقات باعث ایجاد کتوز در گاوهای شیرده شده است و به دلیل پایین بودن ارزش انرژی سیلو، مصرف خوراک و تولید شیر ممکن است آسیب ببیند (Queiroz و همکاران، ۲۰۱۸؛ Kung و Shaver، ۲۰۰۱).

با توجه به این نتایج می‌توان بیان کرد که استفاده از پساب فاضلاب برای آبیاری ذرت علوفه‌ای منجر به تغییر نوع تخمیر سیلاژ ذرت و افزایش اسید پروپیونیک و بوتیریک و کاهش اسید استیک می‌شود که درنهایت منجر به کاهش بیشتر pH سیلو می‌گردد، و این نکته‌ای است که کارشناسان تغذیه هنگام استفاده از این نوع سیلاژ ذرت باید مدنظر داشته باشند. بااین‌حال احتمالاً این تغییر پروفایل اسیدهای چرب منجر به افزایش سلامت هوازی و ماندگاری بیشتر آن می‌گردد (Kung و همکاران، ۲۰۱۸).

جدول ۳. مقایسه میانگین دمای سطوح مختلف، پروفایل اسیدهای چرب فرار و pH سیلاژ ذرت آبیاری شده با پساب فاضلاب تصفیه‌شده و سیلاژ ذرت آبیاری شده با آب چاه

Table 3. Comparison of average temperature, volatile fatty acid profile, and pH of corn silages irrigated by treated wastewater and well water

متغیر Characteristics	پساب فاضلاب تصفیه‌شده (خطای استاندارد) Treated wastewater (SE)	آب چاه (خطای استاندارد) Well water (SE)	p-value
میانگین دما Average temperature (Celsius)	28.1 ± 0.58	29.5 ± 0.58	0.09
دمای قسمت بالا Temperature of upper part (Celsius)	32.5 ± 1.23	30.5 ± 1.23	0.10
دمای قسمت وسط Temperature of middle part (Celsius)	27.3 ± 1.14	28.9 ± 1.14	0.15
دمای قسمت پایین Temperature of bottom part (Celsius)	23.8 ± 1.01	29.1 ± 1.01	< 0.01
اسید استیک Acetic acid (%)	1.44 ± 0.33	3.09 ± 0.33	< 0.01
اسید پروپیونیک Propionic acid (%)	0.55 ± 0.001	ND[1]	0.03
اسید بوتیریک Butyric acid (%)	0.44 ± 0.001	ND	0.08
pH	3.69 ± 0.03	3.86 ± 0.03	< 0.01

[1]Not Detection

[1]غیر قابل تشخیص

با توجه به اینکه تمام سطوح میکروبی موردسنجش در این آزمایش در نمونه‌های پساب فاضلاب بیشتر از آب چاه بود (جدول ۱)، بااین‌حال این الگو به‌صورت کامل در نمونه‌های سیلاژهای ذرت آبیاری شده با پساب فاضلاب و آب چاه مشاهده نشد (جدول ۴). میزان کل شمارش میکروبی (P=۰/۰۵، ۶/۸۲ کلنی در میلی‌لیتر در مقابل ۴/۵۱ کلنی در میلی‌لیتر)، باکتری‌های گرم منفی (P=۰/۰۴،

۶/۴۴ کلنی در میلی‌لیتر در مقابل ۴/۷۱ کلنی در میلی‌لیتر) و لاکتوباسیل (P=۰/۰۴، ۶/۴۵ کلنی در میلی‌لیتر در مقابل ۲/۴۷ کلنی در میلی‌لیتر) در سیلاژ آبیاری شده با پساب فاضلاب بیشتر از گروه شاهد بود، اما این اختلاف در مورد اشرشیاکلی و سالمونلا مشاهده نگردید.

در مورد فلزات سنگین علی‌رغم بیشتر بودن غلظت سرب در نمونه‌های سیلاژ آبیاری شده با پساب فاضلاب، این اختلاف معنی‌دار نبود (P=۰/۴۵). سطوح غلظت کادمیوم در هر دو تیمار موردبررسی زیر سطح تشخیص بود (جدول ۴). Safari Sanjani و Haj Rasoliha (۲۰۰۱) در یک تحقیق میدانی بر روی خاک‌های منطقه برخوار اصفهان، اعلام نمودند استفاده از پساب فاضلاب باعث تبدیل خاک‌های شور و سدیمی به خاک مناسب برای کشاورزی شده‌اند. علاوه بر این استفاده از پساب فاضلاب توانسته است مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، نیتروژن کل و فسفر کل این خاک‌ها را افزایش دهد. بااین‌حال تحقیق آن‌ها حاکی از افزایش غلظت عناصر سنگین به ویژه سرب و نیکل بود، به‌طوری‌که نیکل این خاک‌ها به مرز بحرانی این عنصر در خاک رسیده بود.

تأثیر *اشرشیاکلی* و سالمونلا بر سلامت گاوهای شیرده چندان مشخص نیست، اما بیان‌شده است که این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند باعث بیماری در گاوها شوند (Sheinbaum و Tromp، ۱۹۸۲) و حتی به انسان نیز انتقال یابند (Russell و همکاران، ۲۰۰۰). مشابه با نتایج ما، Weinberg و همکاران (۲۰۰۴) نیز بیان کردند که آبیاری سیلاژ ذرت و سورگوم با پساب فاضلاب تأثیری در افزایش میزان *اشرشیاکلی* و سالمونلا نداشت. آن‌ها گزارش دادند فرآیند سیلو کردن به‌علت کاهش pH باعث کاهش اشرشیاکلی و سالمونلا در سیلاژ می‌شود. در تحقیق حاضر تعداد کلنی‌های اشرشیاکلی موجود در هر دو گروه سیلاژهای آبیاری شده با پساب فاضلاب و آب چاه بیشتر از آب پساب فاضلاب و آب چاه بودند. به نظر می‌رسد این میکروارگانیسم از منابعی غیر از علوفه ذرت مانند ماشین‌آلات و تجهیزات برداشت سیلاژ از محیط پیرامون به داخل سیلو نفوذ می‌نمایند.

افزایش تعداد باکتری‌های لاکتوباسیل و گرم منفی منجر به افزایش تعداد کل باکتری‌های سیلاژ ذرت آبیاری شده با پساب فاضلاب گردید. انتروباکتری‌ها باکتری‌های گرم منفی بی‌هوازی اختیاری هستند که در سیلوهای ضعیف نگهداری شده یافت می‌شوند. برخی از گونه‌های گروه انتروباکتری‌ها می‌توانند پروتئین‌ها را تجزیه کرده و آمونیاک و آمین‌های بیوژنیک تولید کنند که در سیلاژ نامطلوب هستند. این‌ها برخی از مشکلات مربوط به رشد انتروباکتری‌ها در سیلاژ هستند (Ávila و Carvalho، ۲۰۲۰). همچنین یک مطالعه نشان داد که برخی از جنس‌های انتروباکتری‌ها با pH همبستگی منفی دارند (Ogunade و همکاران، ۲۰۱۷). درباره غلظت عناصر سنگین سرب و کادمیوم به‌نظر می‌رسد که در حال حاضر مشکل جدی در سیلاژهای آبیاری شده با پساب فاضلاب وجود نداشته باشد. بااین‌حال در طول زمان، تجمع این عناصر درون خاک ممکن است در آینده چالش‌برانگیز شود.

جدول ۴. مقایسه شمارش میکروبی (کلنی در میلی‌لیتر) و غلظت عناصر سنگین (قسمت در میلیون) در سیلاژ ذرت آبیاری شده با پساب فاضلاب تصفیه‌شده و سیلاژ ذرت آبیاری شده با آب چاه

Table 4. Comparison of microbial factors and concentration of heavy elements (parts per million) in the corn silage irrigated by treated wastewater and well water

p-value	آب چاه (خطای استاندارد) Well water (SE)	پساب فاضلاب تصفیه‌شده (خطای استاندارد) Treated wastewater (SE)	متغیرها Characteristics
0.65	4.76 ± 0.77	5.12 ± 0.77	*E.coli* (cfu mL^{-1}) *اشرشیاکلی*
-	ND	ND[1]	*Salmonella* (cfu mL^{-1}) *سالمونلا*
0.04	2.47 ± 1.54	6.45 ± 1.54	*lactobacilli* (cfu mL^{-1}) لاکتوباسیل
0.04	4.71 ± 0.68	6.44 ± 0.68	Gram-negative Bacteria (cfu mL^{-1}) گرم منفی
0.05	4.51 ± 0.97	6.82 ± 0.97	Total bacterial count (cfu mL^{-1}) کل شمارش میکروبی
0.45	0.68 ± 0.23	0.99 ± 0.23	Lead (ppm) سرب
-	< DL	< DL[2]	Cadmium (ppm) کادمیوم

[1]Detection Limit — [1]زیر حد تشخیص

[2]Not Detection — [2]غیر قابل تشخیص

بر اساس یافته‌های حاضر، به نظر می‌رسد که با توجه به اثرات مخرب استفاده از پساب فاضلاب در کیفیت تخمیر، کاهش پروتئین خام و افزایش برخی از فاکتورهای میکروبی، بایستی تمهیداتی جهت بهبود فرآیند تصفیه فاضلاب شهری به‌ویژه کاهش غلظت نیتروژن آمونیومی انجام گیرد. استفاده از این منبع نامتعارف جهت آبیاری محصولات کشاورزی غیرخوراکی برای دام و انسان می‌تواند از دیگر راه‌کارهای پیشنهادی باشد. همچنین تحقیقات طولانی‌مدت برای بررسی تأثیر استفاده از سیلاژ ذرت آبیاری شده با پساب فاضلاب تصفیه‌شده بر عملکرد و سلامت گاوهای شیری موردنیاز است.

References

Abbasi, P., Babazadeh, H., Yargholi, B. & Bakhoda, H. (2021). The effect of treated municipal wastewater usage on corn yield and yield component under deficit irrigation management (Case Study: Marvdasht, Fars Province). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 15: 402–413. (In Persian).

Adams, M.R. & Moss, M.O. (2000). Food microbiology. 2nd Edition, The Royal Society of Chemistry, London.

Ávila, C.L.S. & Carvalho, B.F. (2020). Silage fermentation-updates focusing on the performance of microorganisms. *Journal of Applied Microbiology*, 128: 966–984.

Chen, C.Y., Stemberger, R.S., Klaue, B., Blum, J.D., Pickhardt, P.C. & Folt, C.L. (2000). Accumulation of heavy metals in food web components across a gradient of lakes. Wiley Online Library, 45: 1525–1536.

Dirilgen, N. (2001). Accumulation of heavy metals in freshwater organisms: Assessment of toxic interactions. *Turkish Journal of Chemistry*, 25: 173–179.

FAO. (2023). The State of Food Security and Nutrition in the World. The State of Food Security and Nutrition in the World; FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO.

Goering, H.K. & Van Soest, P.J. (1970). Forage fibre analysis (apparatus, reagent, procedure and some applicants). Agricultural Research Service, USDA. P,20.

Haruta, S., Chen, W., Gan, J., Šimůnek, J., Chang, A.C. & Wu, L. (2008). Leaching risk of N-nitrosodimethylamine (NDMA) in soil receiving reclaimed wastewater. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 69: 374–380.

Horwitz, W. (1975). Official methods of analysis (Vol. 222). Association of Official Analytical

Chemists Washington, DC.
Hutjens, M. (2009). Forage Management for Dairy. W. D. Hoard & Sons. Jebely, J. 1999. Global experiences of using wastewater in irrigation. *Environmental Aspects of Using Wastewater in Irrigation*, 28: 35–52.
Kaps, M. & Lamberson, W.R. (2017). Biostatistics for animal science. 3rd Edition. CABI Pub.
Khoshravesh, M., Erfanian, F. & Pourgholam-Amiji, M. (2021). Effect of irrigation with treated magnetic effluent on yield and yield components of maize. *Water Management in Agriculture*, 8: 115-128. (In Persian).
Kung, L., Shaver, R.D., Grant, R.J. & Schmidt, R.J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. J*ournal of Dairy Science*, 101: 4020–4033.
Kung, L. and Shaver, R. 2001. Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. Focous on Forage, 13: 20-28.
Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. Universitat of Hohenheim, Germany.
Mortazavi, A., Khanipour, E.& Hosseiniparvar, H. (2007). Atlas of food microbiology. Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).
Nasre Esfahani, E. (2017). Estimate of sensitivity of economic efficiency to changes in production, reproduction performances and culling rate in dairy herds of Isfahan. *Journal of Animal Production*, 19: 533–543. (In Persian).
Ogunade, I.M., Jiang, Y., Pech Cervantes, A.A., Kim, D.H., Oliveira, A.S., Vyas, D., Weinberg, Z.G., Jeong, K.C. & Adesogan, A.T. (2017). Bacterial diversity and composition of alfalfa silage as analyzed by Illumina MiSeq sequencing: effects of E*scherichia coli* O157:H7 and silage additives. *Journal of Dairy Scienc*e, 101: 1–12.
Queiroz, O.C.M., Ogunade, I.M., Weinberg, Z. & Adesogan, A.T. (2018). *Silage review:* Foodborne pathogens in silage and their mitigation by silage additives. *Journal of Dairy Science*, 101: 4132–4142.
Russell, J.B., Diez-Gonzalez, F.& Jarvis, G.N. (2000). Potential effect of cattle diets on the transmission of pathogenic *Escherichia coli* to humans. *Microbes and Infection*, 2: 45–53.
Safari Sanjani, A.A. & Haj Rasoliha, S. (2001). Effects of irrigation with secondary effluent of north Isfahan sewage refinery on some chemical properties of Borkhar region soils. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 32: 79–88. (In Persian).
Sheinbaum, M. and Tromp, A. (1982). Diseases during cattle breeding. *Agricultural Encyclopedia*, 4 301–341.
Weinberg, Z.G., Ashbell, G., Chen, Y., Gamburg, M. & Sela, S. (2004). The effect of sewage irrigation on safety and hygiene of forage crops and silage. *Animal Feed Science and Technology*, 116: 271–280.