

УДК 579.2:633.2:636.085

DOI 10.33814/AFP-2222-5366-2025-4-45-52

ЭПИФИТНАЯ МИКРОФЛОРА КОРМОВЫХ КУЛЬТУР И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС СИЛОСОВАНИЯ

Е.Ю. Кривопуск^{1,2}, аспирант, младший научный сотрудник
О.Г. Волобуева¹, доктор сельскохозяйственных наук

¹ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

²ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»
141055, Россия, Московская область, г. Лобня, ул. Научный городок, корп. 1,
ekaterinakrivopusk@gmail.com

EPiphytic MICROFLORA OF FORAGE CROPS AND IT'S EFFECT ON ENSILING PROCESS

Е.Yu. Krivopusk^{1,2}, Postgraduate Student, Junior Researcher
O.G. Volobueva¹, Doctor of Agricultural Sciences

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
127434, Russia, Moscow, Timiryazevskaya St., 49

²Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology
141055, Russia, Moscow region, Lobnya, Nauchnyi gorodok str., k. 1
ekaterinakrivopusk@gmail.com

Статья посвящена микроорганизмам, обитающим в силосе. Знание основных сообществ микроорганизмов, преобладающих на растениях и участвующих в процессе силосования, крайне важны. В статье рассматривается эпифитная микрофлора кормовых культур и современные методы идентификации микроорганизмов.

Ключевые слова: микробиом, микрофлора, силос, эпифитные микроорганизмы.

This review article is devoted to microorganisms living in silage. Knowledge of the main communities of microorganisms that predominate on plants and are involved in the silage process is extremely important. The article discusses the epiphytic microflora of forage crops and modern methods of identification of microorganisms.

Keywords: microbiome, microflora, silage, epiphytic microorganisms.

Силосование — это сложный технологический процесс консервации влажных кормовых культур, основанный на контролируемой анаэробной ферментации. Его успех зависит от множества факторов, включая температуру, влажность, состав сырья и плотность укладки [1].

Ключевую роль в этом процессе играет разнообразие микроорганизмов, в частности эпифитные молочнокислые бактерии, которые инициируют и направляют брожение, определяя качество и сохранность силоса. В результате их деятельности образуются различные ме-

таболиты, напрямую влияющие на питательную ценность конечного продукта [2; 3].

Благодаря своей эффективности эта технология стала общемировой практикой и особенно распространена в регионах с влажным климатом, где традиционная сушка кормов затруднена. Поскольку силос является одним из главных компонентов рациона сельскохозяйственных животных, контролю его качества уделяется первостепенное внимание.

Высококачественный силос обладает высокой питательной ценностью, хорошими органолептическими свойствами и является безопасным кормом для животных. Однако нарушения технологии могут привести к значительным потерям сухого вещества, развитию патогенной микрофлоры и ухудшению качества кормов [4].

При консервировании культур сохраняется их энергетическая ценность, что обеспечивает хорошую питательную ценность корма для жвачных животных. Сохранение питательной ценности свежего корма может быть достигнуто за счет снижения рН и поддержания анаэробных условий для выживания молочнокислых бактерий. Молочнокислые бактерии играют важную роль в силосовании, превращая ферментируемые углеводы в органические кислоты. В процессе ферментации углеводов молочнокислые бактерии вырабатывают молочную кислоту и снижают уровень рН, что препятствует размножению микроорганизмов, вызывающих порчу, и стабилизирует силос [1].

Силос представляет собой сложную систему, обогащенную разнообразным

микробиологическим и химическим составом, азотистыми веществами [5; 6].

Взаимодействие между микроорганизмами и высшими растениями весьма разнообразно и включает как взаимовыгодные, так и вредные отношения. Среди микроорганизмов выделяют безвредных сожителей, таких как эпифиты, ризосферные бактерии и микоризные грибы, а также фитопатогены, вызывающие болезни растений [7; 8].

Эпифитные микроорганизмы — это организмы, обитающие на поверхности растений (филлосфере). Они не паразитируют на растении, не проникают внутрь клеток и растут за счет нормальных выделений его тканей и органических загрязнений поверхности [7–9]. Ввиду бедной питательной среды состав эпифитного сообщества уникален: бактерии, актиномицеты, грибы, дрожжи и другие микроорганизмы, количество которых может достигать миллионов на 1 грамм материала [10; 11].

Основная функция эпифитов — это формирование естественного барьера, предотвращающего заражение растения патогенными и условно патогенными микроорганизмами из окружающей среды [12]. Являясь антагонистами фитопатогенных бактерий и гнилостных грибов, эпифиты поддерживают иммунитет растения [9; 13]. В исследованиях [13] приводится информация о том, что усиление эпифитной микрофлоры повышает ее защитные свойства и делает биологические методы борьбы с болезнями перспективными.

Фитопатогенные микроорганизмы, в отличие от эпифитов, способны проникать в растение и быть причиной болезней. Вырабатывая токсины, ферменты и

полисахариды, они являются возбудителями таких болезней, как хлороз, гнили, некроз и другие [7; 8].

Эпифитная микрофлора играет критическую роль в силосовании кормов. Эти микроорганизмы присутствуют на растениях до закладки, и их активность определяет успех ферментации. На их популяцию влияют влажность корма, солнечная радиация и агротехника (например, внесение навоза может увеличить число нежелательных энтеробактерий). Для эффективного силосования важны не только количество, но и тип эпифитных молочнокислых бактерий: гомоферментативные штаммы, производящие только молочную кислоту, обеспечивают лучшее и более быстрое подкисление среды по сравнению с гетероферментативными. Низкий срез растений и высокая зольность массы могут способствовать развитию дрожжей и плесени, что приводит к порче силоса при доступе воздуха [11].

Быстрое развитие животноводства привело к росту спроса на корма для животных.

Ключевую роль в устойчивом животноводстве играет люцерна (*Medicago sativa* L.). Будучи высокопродуктивной и питательной кормовой культурой она является доступным локальным источником белка для жвачных животных, снижая зависимость от импортных белковых добавок [14]. Особую значимость она приобретает в молочном скотоводстве [2].

Однако процесс силосования люцерны сопряжен с трудностями: под воздействием нежелательной микрофлоры, такой как клостридии и энтеробактерии, ценнейшие белковые фракции дегради-

руют до небелкового азота [15], а содержание аминокислот сокращается, что ведет к существенным потерям питательной ценности.

Качественный состав эпифитной микрофлоры кормовых растений демонстрирует определенные закономерности. Исследования показывают, что на уровне основных таксонов (филумов) сообщества кукурузы и люцерны имеют сходства: доминируют *Proteobacteria* (~70%) и *Firmicutes* (~13%), с меньшей долей *Actinobacteria* и *Bacteroidetes* [16–19]. На уровне семейств повсеместно преобладает *Enterobacteriaceae* [16; 18; 19], а среди ключевых родов встречаются *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Pantoea* и *Lactobacillus* [1; 16–19].

Однако вид растения является лимитирующим фактором, определяющим разнообразие и количественный состав микробиома. Анализ альфа- и бета-разнообразия подтверждает, что разнообразие и богатство эпифитного бактериального сообщества люцерны значительно выше, чем у кукурузы [4].

Несмотря на сходства в таксономической структуре, фундаментальное различие между растениями заключается в количественном соотношении желательных и нежелательных микроорганизмов.

Несмотря на то, что в микробиоме люцерны присутствуют представители молочнокислых бактерий (МКБ), такие как *Lactobacillus*, *Pediococci* и *Leuconostocs* [20–22], их абсолютная численность крайне мала. По данным Wang S. et al. [16], на 1 грамм сырой массы люцерны приходится всего 10 МКБ, в то время как количество нежелательных микроорганизмов (гнилостных, маслянокислых бактерий и дрожжей) состав-

ляет 160 000. Это создает крайне неблагоприятное для силосования соотношение.

В отличие от люцерны, кукуруза характеризуется исключительно высокой исходной численностью молочнокислых бактерий — от 100 000 до 3 450 000 на 1 грамм сырой массы [22]. При этом количество нежелательной микрофлоры относительно невелико.

Вероятно, высокая способность кукурузы к силосованию связана с комбинацией двух ключевых факторов: 1 — оптимального баланса питательных компонентов (субстрата); 2 — большой абсолютной численности аутохтонных молочнокислых бактерий, которые, несмотря на умеренное таксономическое разнообразие, присутствуют в количестве, достаточном для быстрого доминирования в процессе ферментации.

Именно эта высокая исходная обсемененность МКБ, хотя и несопоставимая с той плотностью, которая достигается в силосе, служит критически важным стартовым капиталом для успешного консервирования корма.

К классическим методам определения микроорганизмов относится культивирование, в ходе которого происходит посев материала на питательные среды. Однако традиционные методы культивирования микробов уступают место молекулярным технологиям, таким как ПЦР (полимеразная цепная реакция) и секвенирование нового поколения. Современные методы исследования позволяют выявлять огромное разнообразие микроорганизмов, включая ранее неизвестные и некультивируемые виды [24; 25].

Сейчас происходит также переход от простого описания микробных сообществ

к изучению их функциональных характеристик и метаболической активности. Исследователи стремятся понять, какие конкретно процессы и метаболиты определяют стабильность и качество силоса [2].

Большинство современных методов в области микробиологии силоса используют ПЦР для многократной наработки целевого фрагмента ДНК. Применяемые методы позволяют проводить как идентификацию и количественную оценку видов, так и комплексный анализ сообществ. Также это дает возможность обнаруживать новые виды микроорганизмов во время хранения корма и его скармливания [25].

ПЦР в реальном времени (количественная ПЦР) является более совершенным методом молекулярно-генетических исследований. ПЦР-РВ позволяет количественно определять целевые микроорганизмы в изучаемых образцах. Этот метод является более точным и информативным. Принцип метода основан на использовании специальных зондов, содержащих флуоресцентные метки.

Преимущество этого метода заключается в том, что при его использовании можно определять виды, которые присутствуют в малом количестве. Например, если использовать стандартные методы, которые начинаются со сбора колоний с чашек Петри, то вероятность обнаружить какой-либо вид, присутствующий менее чем в 1% от общей популяции, крайне мала [25].

В последнее время для обнаружения эпифитных микроорганизмов в свежих и силосованных кормах используют такие молекулярные инструменты, как денатурирующий гель-электрофорез (DGGE),

Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism (T-RFLP), анализ рибосомных межгенных спейсеров (RISA) и секвенирование нового поколения (NGS) [25].

Таким образом, развитие методов идентификации микроорганизмов привело к расширению знаний о разнообразном составе микрофлоры консервируемых кормов. Накопленная информа-

ция позволяет лучше понимать процессы, протекающие в момент силосования кормовых культур с различными характеристиками. Знать состав эпифитной микрофлоры критически важно для успешной ферментации. Исследователи должны стремиться к изучению микробных сообществ и процессов, протекающих в кормах.

Литература

1. Hisham M.B., Hashim A.M., Hanafi N.M., Rahman N.A., Mutalib N.E.A., Tan C.K., Nazli M.H., Yusoff N.F.M. Bacterial communities associated with silage of different forage crops in Malaysian climate analysed using 16S amplicon metagenomics // *Scientific Reports*. – 2022. – Vol. 12. – № 1. – P. 7107. DOI: 10.1038/s41598-022-08819-4.
2. Wang S., Zhang C., Sun L., Kumar A. Exploring the role of microorganisms in silages: species, communities, interactions, and functional characteristics // *Frontiers in Microbiology*. – 2023. – Т. 14. – С. 1196267.
3. Garon D., Richard E., Sage L., Bouchard V., Pottier D., Lebeilly P. Mycoflora and multimycotoxin detection in corn silage: experimental study // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2006. – Vol. 54. – № 9. – P. 3479–3484.
4. Клименко В.П., Маляренко С. А. Консервирование бобовых трав и бобово-злаковых травосмесей с новым биологическим препаратом // *Адаптивное кормопроизводство*. – 2022. – № 2. – С. 61–68.
5. Saarisalo E., Skitta E., Haikara A., Jalava T., Jaakkola S. Screening and selection of lactic acid bacteria strains suitable for ensiling grass // *Journal of Applied Microbiology*. – 2007. – Vol. 102. – № 2. – P. 327–336.
6. Пархоменко А.Н., Жамекова Ш. Ф. Эпифитные микроорганизмы как объекты биотехнологии // *Актуальные проблемы науки и техники : материалы II Междунар. науч.-техн. конф., Сарапул, 19–21 мая 2022 года*. – Ижевск : Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, 2022. – С. 96–98.
7. Дьячковская А.С. Эпифитные и фитопатогенные микроорганизмы овощей // *Медицина завтрашнего дня : материалы XX межрегион. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых, Чита, 20–23 апреля 2021 года*. – Чита : Читинская государственная медицинская академия, 2021. – С. 210–211.
8. Ежов Г.И. Руководство к практическим занятиям по сельскохозяйственной микробиологии : учеб. пособие для студ. агрономич. специальностей высших сельскохозяйственных учеб. заведений. – М. : Высшая школа, 1981. – 271 с.
9. Красильников Н.А. Микроорганизмы почвы и высшие растения / *Акад. наук СССР. Ин-т микробиологии*. – М. : Изд-во Акад. наук СССР, 1958. – 463 с.
10. Аргунова К. Важнейшие стадии кормопроизводства // *Животноводство России*. – 2024. – № 2. С. 48–49.
11. Ежов Г.И. Руководство к практическим занятиям по сельскохозяйственной микробиологии : учеб. пособие для студ. агрономич. специальностей высших сельскохозяйственных учеб. заведений. – М. : Высшая школа, 1981. – 271 с.
12. Селихова А.А. Эпифитная микрофлора растений как специфический фактор растительного иммунитета // *Молодой ученый*. – 2019. – № 51. – С. 280–282.

13. You L., Bao W., Caiqing Y., Feiyan Z., Hao J., Weiqiang H., Bohai L., Lai-Yu K., Wenjun L. Changes in chemical composition, structural and functional microbiome during alfalfa (*Medicago sativa*) ensilage with *Lactobacillus plantarum* PS-8 // *Animal Nutrition*. – 2022. – Т. 9. – С. 100–109
14. Huo W., Zhang Y., Zhang L., Shen C., Chen L., Liu Q., Zhang S., Wang C., Guo G. Effect of lactobacilli inoculation on protein and carbohydrate fractions, ensiling characteristics and bacterial community of alfalfa silage // *Frontiers in Microbiology*. – 2022. – Т. 13. – С. 1070175.
15. Wu D. et al. Impact of nitrogen application and crop stage on epiphytic microbial communities on silage maize leaf surfaces // *PeerJ*. – 2023. – Т. 11. – С. e16386.
16. Wang S., Hu S., Dong Z., et al. The contribution of epiphytic microbiota in oat and Italian ryegrass to silage fermentation products and bacterial community structure of whole-crop maize // *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. – 2023. – Т. 10. – № 1. – С. 62.
17. Sun R., Yuan X., Li J., Tao X., Dong Z., Shao T. Contributions of epiphytic microbiota on the fermentation characteristics and microbial composition of ensiled six whole crop corn varieties // *Journal of applied microbiology*. – 2021. – Т. 131. – № 4. – С. 1683–1694.
18. Wu M., Yuehua W., Yijing W., et al. Study on the diversity of epiphytic bacteria on corn and alfalfa using Illumina MiSeq/NovaSeq high-throughput sequencing system // *Annals of Microbiology*. – 2021. – Т. 71. – № 1. – С. 38.
19. Tang X., Chaosheng L., Huang X., Chen C., Xu D., Chen C. Epiphytic microbiota source stimulates the fermentation profile and bacterial community of alfalfa-corn mixed silage // *Frontiers in Microbiology*. – 2024. – Т. 14. – С. 1247254.
20. Lin C., Bolsen K.K., Brent B.E., et al. Epiphytic microflora on alfalfa and whole-plant corn // *Journal of Dairy Science*. – 1992. – Т. 75. – № 9. – С. 2484–2493.
21. Lin J., Li G., Sun L., et al. Varieties and ensiling: Impact on chemical composition, fermentation quality and bacterial community of alfalfa // *Frontiers in Microbiology*. – 2023. – Т. 13. – С. 1091491.
22. Соляник Т.В. Гласкович М.А. Микробиология. Микробиология кормов животного и растительного происхождения : курс лекций для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности «Зоотехния». – Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. – 76 с. – ISBN 978-985-467-535-7.
23. Ёылдырым Е.А., Лаптев Г.Ю., Ильина Л.А., и др. Изучение эпифитной микрофлоры как источника формирования микробиоценоза силоса методом NGS-секвенирования // *Сельскохозяйственная биология*. – 2015. – № 6. – С. 832–838.
24. Muck R. Recent advances in silage microbiology // *Agricultural and Food Science*. – 2003. – 201322(1), 3–15. <https://doi.org/10.23986/afsci.6718>.
25. Xu D., Ding W., Ke W., et al. Modulation of metabolome and bacterial community in whole crop corn silage by inoculating homofermentative *Lactobacillus plantarum* and heterofermentative *Lactobacillus buchneri* // *Frontiers in Microbiology*. – 2019. – Т. 9. – С. 3299.

References

1. Hisham M.B., Hashim A.M., Hanafi N.M., et al. Bacterial communities associated with silage of different forage crops in Malaysian climate analysed using 16S amplicon metagenomics. *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. No. 1. P. 7107. DOI: 10.1038/s41598-022-08819-4.
2. Wang S., Zhang C., Sun L., Kumar A. Exploring the role of microorganisms in silages: species, communities, interactions, and functional characteristics. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. P. 1196267.
3. Garon D., Richard E., Sage L., et al. Mycoflora and multimycotoxin detection in corn silage: experimental study. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2006. Vol. 54. No. 9. P. 3479–3484.
4. Klimenko V.P., Maljarenko S.A. *Konservirovanie bobovyh trav i bobovo-zlakovyh travosmesej s novym biologicheskim preparatom* [Preservation of Legumes and Legume-Grass Mixtures with a

- New Biological Additive]. *Adaptivnoe kormoproizvodstvo*. [Adaptive fodder production]. 2022. No. 2. P. 61–68.
5. Saarisalo E., Skitta E., Haikara A., et al. Screening and selection of lactic acid bacteria strains suitable for ensiling grass. *Journal of Applied Microbiology*. 2007. Vol. 102. No. 2. P. 327–336.
 6. Parhomenko A.N., Zhamekova Sh.F. *Jepifitnye mikroorganizmy kak obekty biotekhnologii* [Epiphytic microorganisms as objects of biotechnology]. *Aktual'nye problemy nauki i tehniki : materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Sarapul, 19–21 maja 2022 goda*. Izhevsk. Izhevskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet imeni M.T. Kalashnikova Publ. 2022. Pp. 96–98.
 7. D'jachkovskaja A.S. *Jepifitnye i fitopatogenne mikroorganizmy ovoshhej* [Epiphytic and phytopathogenic micro-organisms of vegetables]. *Medicina zavtrashnego dnja. Materialy XX mezhregional'noj nauchno-praktičeskoy konferencii studentov i molodyh uchenyh, Chita, 20–23 aprelja 2021 goda*. Chita. Chitinskaja gosudarstvennaja medicinskaja akademija Publ. 2021. P. 210–211.
 8. Ezhov G.I. *Rukovodstvo k praktičeskim zanjatijam po sel'skohozjajstvennoj mikrobiologii* [A guide to practical exercises in agricultural microbiology]. *Učeb. posobie dlja stud. agronomich. special'nostej vysshih sel'skohozjajstvennyh učeb. zavedenij* [Teaching aid for students majoring in agronomy at higher agricultural educational institutions]. Moscow. Vysshaja shkola, Publ. 1981. 271 p.
 9. Krasil'nikov N.A. *Mikroorganizmy pochvy i vysshie rastenija* [Soil microorganisms and higher plants]. Moscow. *Izd-vo Akad. nauk SSSR* [Publishing House of the USSR Academy of Sciences]. 1958. 463 p.
 10. Argunova K. *Vazhnejšie stadii kormoproizvodstva* [The most important stages of feed production]. *Zhivotnovodstvo Rossii*. [Животноводство России]. 2024. No. 2. P. 48–49.
 11. Ezhov G.I. *Rukovodstvo k praktičeskim zanjatijam po sel'skohozjajstvennoj mikrobiologii* [The ecological role of epiphytic microflora in the formation of microbiocenoses]. *Učeb. posobie dlja stud. agronomich. special'nostej vysshih sel'skohozjajstvennyh učeb. zavedenij* [Teaching aid for students majoring in agronomy at higher agricultural educational institutions]. Moscow. Vysshaja shkola Publ. 1981. 271 p.
 12. Selihova A.A. *Jepifitnaja mikroflora rastenij kak specificheskij faktor rastitel'nogo immuniteta* [Epiphytic microflora of plants as a specific factor of plant immunity]. *Molodoj učenij* Publ. 2019. No. 51. P. 280–282.
 13. You L., Bao W., Caiqing Y., et al. Changes in chemical composition, structural and functional microbiome during alfalfa (*Medicago sativa*) ensilage with *Lactobacillus plantarum* PS-8. *Animal Nutrition*. 2022. Vol. 9. P. 100–109.
 14. Huo W., Zhang Y., Zhang L., et al. Effect of lactobacilli inoculation on protein and carbohydrate fractions, ensiling characteristics and bacterial community of alfalfa silage. *Frontiers in Microbiology*. 2022. Vol. 13. P. 1070175.
 15. Wu D., Ma X., Meng Y., et al. Impact of nitrogen application and crop stage on epiphytic microbial communities on silage maize leaf surfaces. *PeerJ*. 2023. Vol. 11. P. e16386.
 16. Wang S., Hu S., Dong Z., et al. The contribution of epiphytic microbiota in oat and Italian ryegrass to silage fermentation products and bacterial community structure of whole-crop maize. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2023. Vol. 10. No. 1. P. 62.
 17. Sun R., Yuan X., Li J., et al. Contributions of epiphytic microbiota on the fermentation characteristics and microbial composition of ensiled six whole crop corn varieties. *Journal of applied microbiology*. 2021. Vol. 131. No 4. P. 1683–1694.
 18. Wu M., Yuehua W., Yijing W., et al. Study on the diversity of epiphytic bacteria on corn and alfalfa using Illumina MiSeq/NovaSeq high-throughput sequencing system. *Annals of Microbiology*. 2021. Vol. 71. No. 1. P. 38.
-

19. Tang X., Chaosheng L., Huang X., et al. Epiphytic microbiota source stimulates the fermentation profile and bacterial community of alfalfa-corn mixed silage. *Frontiers in Microbiology*. 2024. Vol. 14. P. 1247254.
20. Lin C. Bolsen K.K., Brent B.E., et al. Epiphytic microflora on alfalfa and whole-plant corn. *Journal of Dairy Science*. 1992. T. 75. No. 9. P. 2484–2493.
21. Lin J. Li G., Sun L., et al. Varieties and ensiling: Impact on chemical composition, fermentation quality and bacterial community of alfalfa. *Frontiers in Microbiology*. 2023. T. 13. P. 1091491.
22. Soljanik T.V., Glaskovich M.A. *Mikrobiologija. Mikrobiologija kormov zhivotnogo i rastitel'nogo proishozhdenija : kurs lekcij dlja studentov uchrezhdenij vysshego obrazovanija, obuchajushhihsja po special'nosti "Zootehnija"* [Microbiology. Microbiology of animal and plant feed. Lecture course for students of higher education institutions studying in the specialty "Animal Science"]. *Gorki. Belorusskaja gosudarstvennaja sel'skhozjajstvennaja akademija*, Publ. [Gorki. Belarusian State Agricultural Academy]. 2014. 76 p. ISBN 978-985-467-535-7.
23. Jyldyrym E.A., Laptev G.Yu., Ilyina L., et al. *Aizuchenie jepifitnoj mikroflory kak istochnika formirovanija mikrobiocenoza silosa metodom NGS-sekvenirovanija* [Study of epiphytic microflora as a source of silage microbiocenosis formation by NGS sequencing]. *Sel'skhozjajstvennaja biologija*. 2015. No. 6. P. 832–838.
24. Muck R. (2013). Recent advances in silage microbiology. *Agricultural and Food Science*, 22(1), 3–15. <https://doi.org/10.23986/afsci.6718>.
25. Xu D., Ding W., Ke W., et al. Modulation of metabolome and bacterial community in whole crop corn silage by inoculating homofermentative *Lactobacillus plantarum* and heterofermentative *Lactobacillus buchneri*. *Frontiers in Microbiology*. 2019. Vol. 9. P. 3299.