

IRSTI: 34.27.51; 68.39.15

M.G. SAUBENOVA¹, A. RAPOPORT², E.A. OLENIKOVA¹,
S.V. MAKSIMOVICH^{1*}, Zh.N. ERMEKBAY¹

¹Research and Production Center of Microbiology and Virology, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Microbiology and Biotechnology, Riga, Latvia

*e-mail: seveg@ya.ru

EFFICIENCY OF FEEDER YEAST AND THEIR DERIVATIVES IN ANIMAL HUSBANDRY

doi:10.53729/MV-AS.2023.04.04

Abstract

For a number of objective reasons, the main ones being the steady growth of the world's population, as well as pronounced changes in climatic conditions that complicate successful agricultural production, the world is facing a significant shortage of food and feed for farm animals, which indicates the need for an urgent increase in their production. The optimal solution to the problem of replenishing the deficiency of food and feed protein, as well as obtaining a number of biologically active substances that have a certain effect on the disease of farm animals and the possibility of counteracting damaging factors of various natures, it seems to be possible to increase the capacity of biotechnological production of microorganism biomass [1, 2]. A generally accepted option for solving these problems is the production of single-cell protein [3-5]. Unicellular biomass contains a higher percentage of protein (30-80%) compared to soy (38.6%), fish (17.8%), meat (21.2%) and whole milk (3.28%), it is a source of essential amino acids, including methionine, threonine and lysine [6]. Microorganisms have attracted attention as a new food source due to their low carbon footprint, low dependence on land, water and seasonal variations, combined with a favorable nutritional profile. Potential microbial protein production technologies, their benefits, the safety and limitations associated with their use, and the prospects for wider large-scale implementation are currently being critically reviewed [7]. This is also relevant because the traditional agricultural way of supplying food animals with proteins is not only insufficient, but can also have negative impact on the environment and therefore should be revised [8].

Keywords: yeast; probiotics; feed additives; postbiotics.

Yeast as probiotics.

Yeasts are recognized as the best microorganisms in the production of unicellular protein, superior to bacteria and algae in the ease of obtaining biomass, high protein content (about 50% of dry biomass) and amino acids, low content of nucleic acids, as well as the ability to grow at different acidity levels. Their physiological characteristics, such as resistance to bile salts and acids and the associated ability to survive in the gastrointestinal environment, hydrophobicity of the cell surface, the ability to autoaggregate, antioxidant activity and β -galactosidase activity made it possible to consider Yeast ORGANISMS as very effective probiotics *in vivo* [9-11].

The latter is of particular interest due to the spread of antibiotic resistance in the vast majority of living eukaryotic organisms and the biological threat to human and animal health, which has led to the need to abandon them as growth promoters and preventive measures in animal husbandry. Since this measure was fraught with a decrease in growth rates and an increase in animal mortality as a result of a number of diseases [12, 13], there was an urgent need to develop an alternative approach to the prevention of infectious diseases and stimulation of animal growth and health.

In this regard, probiotics or direct-fed microbes have been recognized as increasingly popular for improving the health of farm animals and increasing their productivity and have shown great potential for increasing the profitability of livestock farming. Probiotics - microbial cultures, their extracts, enzyme preparations or combinations thereof - when administered in adequate

quantities, improve the health of the host by modulating the intestinal microbial environment, fermentation patterns, nutrient supply and dietary digestibility [14, 15] .

Along with probiotics based on bacterial strains, yeasts, mainly *Saccharomyces* , are widely used *cerevisiae* (SC) [15, 16] , the beneficial effects of which on animals are largely due to the fact that they stimulate the development of rumen microorganisms, and also affect general health and productivity [17, 18] .

From the very beginning of life, the sterile gastrointestinal tract of newborn mammals is colonized by a variety of microorganisms, which is influenced primarily by inoculation from the maternal birth canal [19] . the conditions under which the birth process occurs, diet, as well as prophylactic antimicrobial drugs used in animal husbandry. Numerous studies have established that the most critical period for calves is the period of their transition from a predominantly dairy diet to solid feed, which is carried out in a short period of time. According to some data, mortality from diarrhea during this period reaches 25-87% [20, 21] . Surviving calves show slow growth and a subsequent decrease in productivity [22, 23] , which is associated not only with metabolic adaptation, but also with large changes in the microbiota intestines [24] .

The intestinal microbiota already at an early stage of animal development has an important metabolic significance [25] , it affects energy metabolism [26] and has a major influence on the maturation of the adaptive and innate immune system [19, 27] , which is reflected in performance indicators in later life , as well as resistance to various diseases. A number of studies have discussed the factors that determine the growth of microorganisms colonizing in the rumen, the formation of commensal microbiota after weaning, as well as the existence of significant links between the early microbiota, the development of the mucosal immune system and the growth and health of newborn calves [28, 29] . Given that newborn calves are most susceptible to intestinal diseases, these data allow us to develop potential strategies for manipulating early microbiota to improve animal health and performance.

The high mortality rate in calves caused by intestinal infections, coupled with pressure to reduce the use of antibiotics due to their harmful effects and the growing number of antibiotic-resistant bacteria, has led to the need to develop alternatives to antibiotics, namely drugs that improve the intestinal health of newborn calves through manipulation. intestinal microbiota, primarily enriching it with beneficial microorganisms. Numerous studies have established that the possibility of manipulating the potential of the microbiota to obtain long-term effects in adult life occurs immediately after birth, when it is not yet fully formed. By later time periods in cattle, as well as in humans, it becomes more stable [30, 31] and it is more difficult to influence [29] . Manipulating the gut microbiota early in life may be an option to improve calf health [29] as it determines the development of the intestinal epithelium, mucosal layer, immune cell status and reduces the risk of colonization by pathogens [32] . There is also a relationship between small intestinal microbiota and immune function, health and growth of calves [33] .

The most widely used yeast as a probiotic is *Saccharomyces cerevisiae*. The most effective of them are *S. cerevisiae boulardii*, rich in various biologically active substances, including those that have not yet been sufficiently studied, performing many functions: improving production performance, promoting intestinal development, regulating the balance of intestinal microflora, increasing immunity and improving the quality of livestock products [34] and helping to reduce nitrogen excretion. *S. boulardii* has potential probiotic activity due to its ability to produce organic acids, essential enzymes, vitamins, and other important metabolites such as vanillic acid, phenylethyl alcohol, and erythromycin. *S. boulardii* has a wide range of anticarcinogenic, antibacterial, antiviral and antioxidant activities, and also reduces serum cholesterol levels. They are used mainly for the preventive treatment of infectious diseases of the gastrointestinal tract and to stimulate the immune system [35] .

Yeast *Saccharomyces boulardii* are the most popular commercial probiotic. They are considered conspecific with budding yeast *S. cerevisiae*, commonly used in classical foods and have an almost identical genome sequence. A distinctive feature is the ability to produce at 37° C an unusually high level of acetic acid, which strongly inhibits the growth of bacteria, which is most

likely associated with strain-specific mutations within the same species, giving a selective advantage to this organism both in its ecological niche and in use as a probiotic [36] .

Its phenotypic differences from *S. cerevisiae* , such as acid and heat resistance, make it a suitable drug for the intestinal microenvironment and for the relief of symptoms of gastrointestinal infections [37] .

Supplementation of 0.5% *S. cerevisiae* to the diet of Simmental beef cattle increased daily gain by 9.68%, economic benefit by 9.09%, and also reduced feed costs [38] . In addition, *S. cerevisiae* can optimize the composition of the microbial environment, improve the rumen fermentation function, stabilize the rumen pH value, stimulate the metabolism of lactic acid bacteria, increase the activity of fibrinolytic enzymes in the rumen, and promote the breakdown of fibrous substances. The *S. cerevisiae* cell wall may inhibit proliferation. harmful bacteria, thereby regulating rumen function [39] .

Similar results were obtained in the case of feeding other farm animals and poultry.

Daniela Klein - J ö bstl et al. (2019) [43] showed that adding a probiotic based on *Saccharomyces cerevisiae* to the diet of calves in an amount of 19 g/day over 42 days, starting in the first two days of life, contributed to an increase in the concentration of metabolites involved in protecting animals against inflammation, as well as a decrease in fecal pH, which may indicate increased fermentation in the hindgut. At the same time, the productivity, nutritional status and health of newly weaned bulls improved. In studies, the effectiveness of yeast supplements was more evident the longer they were taken.

Live yeast and yeast feed ingredients.

Marketed as live yeast, including viable "active dry yeast" containing approximately 95% dry matter, the action of which is determined by its function in the reticulo-rumen, where it helps to increase pH, reduce lactic acid, improve fiber digestion and increase production of protein and volatile fatty acids, which, in combination with other strategies to control the risk of acidosis, improves the health of lactating cows [44, 45] and by-products of yeast fermentation, which do not contain live yeast, but include dead cells, fermentation medium and various fermentation connections. Weaned calves fed active dried yeast (ADY) demonstrated higher digestibility of crude protein and neutral detergent fiber, while increases in serum glucose, superoxide dismutase, immunoglobulins A and M, and interleukin 10 were noted. growth, ruminal fermentation, nutrient digestibility, antioxidant capacity and immune response [46] . Shown, that the addition of ASD to the diet of low-fed beef cattle at a dose of 4 g/head per day changes the composition of the microbiota, bringing it closer to the composition observed in cattle fed a normal diet, and promotes a similar carcass weight. This is due to the activation of the process of nitrogen utilization and improved growth rates of animals [47] . In a high concentrate diet, ASD supplementation improved alpha diversity and relative abundance of rumen bacteria, amino acid and carbohydrate metabolism, terpenoids and polyketides, lipid metabolism, as well as energy metabolism in rumen bacteria [48] . It was also noted that when ASD is introduced into the diet of dairy goats, it increases the number of rumen cellulolytic bacteria and the activity of nitrogen utilization enzymes and immune status [49] .

Among yeast products, their cultures are of particular interest, since they contain, in addition to yeast organisms, their metabolites formed during certain fermentation processes. Yeast cultures promote digestion and absorption and enhance metabolic activity [50] . At the same time, the activity of xylanase, endoglucanase, fibrinoglycogenase and cellulase in the rumen of beef cattle significantly increases, which indicated that the yeast culture improves the digestibility of roughage for ruminants by increasing the activity of enzymes in the rumen. It has been shown that yeast and their derivatives can have a beneficial effect on the growth and health of animals, especially when they are in unfavorable conditions , as well as during *Salmonella* infection [51] . Thus, the addition of chrome yeast can potentially mitigate the negative effects of heat stress in dairy cows, which may result in increased milk yield and increased milk protein content and lactation rates improve [52] . Their combination with biologically active peptides, amino acids and niacin, acting as a "glucose tolerance factor", plays the role of a physiological activator action of

insulin to improve carbohydrate metabolism [53]. Selenium yeast plays a unique role in regulating animal metabolism, improving animal health, and increasing serine content in meat and eggs compared to non-organic feeding [54].

However, when yeast is used as a substitute for antibiotics in livestock, results vary depending on several factors, including the species of yeast, components of the yeast product, feed ingredients, category of animal, type of symptoms, and differences in rearing conditions [55].

Numerous yeast additives and yeast feed ingredients are manufactured, sold and used in feed as sources of nutrients, probiotics, and suppliers of nutraceutical compounds including cell wall polysaccharides such as β -glucan and mannan, which perform a variety of biological functions: enhancing immunity, improving antigenicity, stress relief, stimulation of growth and development [56].

In recent years, metabolic products secreted by living microorganisms or released after their lysis, called postbiotics, with anti-inflammatory, immunomodulatory, antiobesity, antihypertensive, hypocholesterolemic, antiproliferative and antioxidant activity have attracted attention. The concept of postbiotics, evidence of their health benefits and possible signaling pathways involved in their protective effect, as well as prospects for use in foods and pharmaceuticals, are reviewed in J. E. _ Aguilar - Toal á et al. [57]. Postbiotics are distinguished by a clear chemical structure, safety, long shelf life and the content of various signaling molecules. The exact mechanisms of their action are not fully understood, but the data obtained suggest that postbiotics can help improve the health of the host by enhancing specific physiological functions. The health benefits of postbiotics are thought to be due to modification of the intestinal microbiota, competitive attachment to the mucosa and epithelium, improvement of epithelial barrier function, and modulation of the immune system [58–60]. Postbiotics, which are mixtures of intermediates and end products of microbial fermentation, are currently being investigated as non-antibiotic growth promoters [61].

A striking example of postbiotics that have a comprehensive positive effect is the product of anaerobic fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* (SCFP) [62]. SCFP is one example of an effective postbiotic that, when administered to the diet, enriches it with a mixture of metabolites such as lysed cellular components, amino acids, lipids, volatile fatty acids and B vitamins, which improve rumen development, feed intake, and the health and growth of test subjects animals [59, 63, 64] examined the effects of a *Saccharomyces cerevisiae*-based direct-fed microbial preparation (DFM) on growth performance, whole blood immune gene expression, serum biochemistry, and plasma metabolome of newly weaned beef steers. This study demonstrated that using a basal diet supplemented with 19 g of DFM daily over a 42-day supplementation period improved their performance, nutritional status and health. Analysis of the plasma metabolome revealed an increase in the concentration of metabolites, 5-methylcytosine and indoleacrylic acid, involved in protecting animals from inflammation. There was a trend toward lower fecal pH in steers fed this diet, which may indicate increased hindgut fermentation. The effect of SCFP products on improving the growth and health of calves can be attributed to their ability to modulate the microbiota in the gastrointestinal tract. A high-throughput sequencing study of the effects of SCFPs on microbial communities in each gastrointestinal tract in Holstein calves showed that their inclusion in the diet increased the diversity of microbial species in the large intestine, rumen and rectum, and stimulated colonization by fibrolytic bacteria (*Lachnospiraceae* and *Ruminococcaceae*) in the rumen and colon [65]. A study on the effects of SCFP conducted in the first 56 days of life in Holstein bulls showed an improvement in gastrointestinal morphology, possibly due to an increase in *Butyrivibrio* and a decrease in *Prevotella* in the rumen fluid, leading to increased butyrate production [64]. SCFPs also attenuate the effects of increased ruminal and peripheral bacterial endotoxin concentrations and inflammation resulting from subacute rumen acidosis, a metabolic disorder in dairy cows associated with dysbiosis of the rumen and hindgut microbiota [66].

Yeast protein preparations, characterized by low production costs while maintaining the highest food quality standards, can also be used in the food industry to replace conventional food protein[67].

Conclusion

Modern realities dictate the need to develop new, more environmentally friendly methods than the use of antibiotics, to maintain a healthy microbiota in the gastrointestinal tract of both humans and farm animals. One of the most progressive methods in this regard seems to be the use of probiotic microorganisms. If previously most of the research was focused on probiotic bacteria, over the past few years more and more attention has been paid to the probiotic properties of yeast organisms, which are characterized by ease of cultivation, greater efficiency and adaptability to damaging conditions in the gastrointestinal tract of the host organism. The use of yeast in the form of probiotic, prebiotic and postbiotic preparations has proven effective both in stimulating the growth of farm animals and poultry and in preventing the development of intestinal pathogens in them. A number of authors have shown that, despite the insufficient study of postbiotic yeast preparations, their already identified properties, such as a clear chemical structure, resistance to various damaging factors, the possibility of long-term storage, and most importantly, a positive effect on specific physiological functions of the host organism, put them forward in first place among biological factors stimulating the growth and development of living organisms. The results of research by various authors suggest that their use will expand in various areas of the biotechnology industry.

References:

- 1 Jahn L.J., Rekdal V.M. and Sommer M.O. Microbial foods for improving human and planetary health. *Cell*, 2023, 186(3): 469-478. ([https://www.cell.com/cell/pdf/S0092-8674\(22\)01515-X.pdf](https://www.cell.com/cell/pdf/S0092-8674(22)01515-X.pdf))
- 2 Graham A.E. and Ledesma-Amaro R.. The microbial food revolution. *Nature Communications*, 2023, 14(1): 2231. (<https://doi.org/10.1038/s41467-023-37891-1>)
3. Matassa S. Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint. *Microbial biotechnology*, 2016, 9(5): 568-575. (<https://doi.org/10.1111/1751-7915.12369>)
- 4 Ritala A. Single cell protein—state-of-the-art, industrial landscape and patents 2001–2016. *Front Microbiol* 8, 2009. 2017. (<https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02009>)
- 5 Choi K.R., Yu H.E. and Lee S.Y. Microbial food: microorganisms repurposed for our food. *Microbial biotechnology*, 2022, 15(1): 18-25. (<https://doi.org/10.1111/1751-7915.13911>)
- 6 Salazar-López N.J. Single-cell protein production as a strategy to reincorporate food waste and agro by-products back into the processing chain. *Bioengineering*, 2022, 9(11):623. (<https://doi.org/10.3390/bioengineering9110623>) (<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112596>)
- 7 Alves S.C. Microbial meat: A sustainable vegan protein source produced from agri-waste to feed the world. *Food Research International*, 2023, 166: 112596. (<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112596>)
- 8 Pérez-Santaescobal C. Modern food production: Fundamentals, sustainability, and the role of technological advances. *Sustainable production technology in food*, 2021: 1-22. (<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821233-2.00003-4>)
- 9 Alugongo G. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on dairy calves: Performance and health. *Journal of dairy science*, 2017, 100(2): 1189-1199. (<https://doi.org/10.3168/jds.2016-11399>)
- 10 Hsiung R. T. In vitro properties of potential probiotic indigenous yeasts originating from fermented food and beverages in Taiwan. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 2021, 13: 113-124.
- 11 Klopp R. Effects of feeding *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on the health and growth performance of Holstein dairy calves. *JDS communications*, 2022, 3(3): 174-179.
- 12 Dibner J. and Richards J.D. Antibiotic growth promoters in agriculture: history and mode of action. *Poultry science*, 2005.,84(4): 634-643. (<https://doi.org/10.1093/ps/84.4.634>)
- 13 Diarra M.S. and Malouin F. Antibiotics in Canadian poultry productions and anticipated alternatives. *Front Microbiol* 2014, 5: 282. (<https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00282>)

- 14 Arowolo M.A. and He J. Use of probiotics and botanical extracts to improve ruminant production in the tropics: A review. *Animal Nutrition*, 2018, 4(3): 241-249. (<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.04.010>)
- 15 Halfen J. Effects of yeast culture supplementation on lactation performance and rumen fermentation profile and microbial abundance in mid-lactation Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2021, 104(11): 11580-11592. (<https://doi.org/10.3168/jds.2020-19996>)
- 16 Garcia-Mazcorro J. The health enhancer yeast *Saccharomyces cerevisiae* in two types of commercial products for animal nutrition. *Letters in applied microbiology*, 2019, 68(5): 472-478. (<https://doi.org/10.1111/lam.13141>)
- 17 Elghandour M.M. Prospect of yeast probiotic inclusion enhances livestock feeds utilization and performance: An overview. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2022: 1-13. (<https://doi.org/10.1007/s13399-022-02562-6>)
- 18 Obeidat B.S. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation during the suckling period on performance of Awassi ewes. *Tropical Animal Health and Production*, 2023, 55(3): 140. (<https://doi.org/10.1007/s11250-023-03555-x>)
- 19 Maynard C.L. Reciprocal interactions of the intestinal microbiota and immune system. *Nature*, 2012, 489(7415): 231-241. (<https://doi.org/10.1038/nature11551>)
- 20 Pardon B. Longitudinal study on morbidity and mortality in white veal calves in Belgium. *BMC Veterinary Research*, 2012, 8: 1-15. (<https://doi.org/10.1186/1746-6148-8-26>)
- 21 Scott K. Risk factors identified on arrival associated with morbidity and mortality at a grain-fed veal facility: A prospective, single-cohort study. *Journal of dairy science*, 2019, 102(10): 9224-9235. (<https://doi.org/10.3168/jds.2019-16829>)
- 22 Svensson C. and Hultgren J. Associations between housing, management, and morbidity during rearing and subsequent first-lactation milk production of dairy cows in southwest Sweden. *Journal of dairy science*, 2008, 91(4): 1510-1518. (<https://doi.org/10.3168/jds.2007-0235>)
- 23 Windeyer M. Factors associated with morbidity, mortality, and growth of dairy heifer calves up to 3 months of age. *Preventive veterinary medicine*, 2014, 113(2): 231-240. (<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.10.019>)
- 24 Agyare C. Antibiotic use in poultry production and its effects on bacterial resistance. *Antimicrobial resistance—A global threat*, 2018: 33-51. (<https://doi.org/10.5772/intechopen.79371>)
- 25 Gritz E.C. and Bhandari V. The human neonatal gut microbiome: a brief review. *Frontiers in pediatrics*, 2015, 3: 17. (<https://doi.org/10.3389/fped.2015.00017>)
- 26 Korpela K. and W.M. de Vos. Early life colonization of the human gut: microbes matter everywhere. *Current opinion in microbiology*, 2018, 44: 70-78. (<https://doi.org/10.1016/j.mib.2018.06.003>)
- 27 Sommer F. and Bäckhed F. The gut microbiota—masters of host development and physiology. *Nature reviews microbiology*, 2013, 11(4): 227-238. (<https://doi.org/10.1038/nrmicro2974>)
- 28 Yáñez-Ruiz D.R., Abecia L. and Newbold C.J. Manipulating rumen microbiome and fermentation through interventions during early life: a review. *Frontiers in microbiology*, 2015, 6: 1133. (<https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01133>)
- 29 Malmuthuge N. Understanding the gut microbiome of dairy calves: Opportunities to improve early-life gut health. *Journal of Dairy Science*, 2017, 100(7): 5996-6005. (<https://doi.org/10.3168/jds.2016-12239>)
- 30 Klein-Jöbstl D., Iwersen M. and Drillich M. Farm characteristics and calf management practices on dairy farms with and without diarrhea: A case-control study to investigate risk factors for calf diarrhea. *Journal of dairy science*, 2014, 97(8): 5110-5119. (<https://doi.org/10.3168/jds.2013-7695>)
- 31 Lim E.S., Wang D. and Holtz L.R. The bacterial microbiome and virome milestones of infant development. *Trends in microbiology*, 2016, 24(10): 801-810. (<https://doi.org/10.1016/j.tim.2016.06.001>)
- 32 Chaucheyras-Durand F. and Durand H. Probiotics in animal nutrition and health. *Beneficial microbes*, 2010, 1(1): 3-9. (<https://doi.org/10.3920/BM2008.1002>)
- 33 Amin N. and Seifert J. Dynamic progression of the calf's microbiome and its influence on host health. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 2021, 19: 989-1001. (<https://doi.org/10.1016/j.csbj.2021.01.035>)
- 34 Bin D. Research progress on application of *Saccharomyces cerevisiae* in animal production. *Feed Res*, 2019, 7: 114-116.

- 35 Abid R. Probiotic yeast *Saccharomyces*: Back to nature to improve human health. *Journal of Fungi*, 2022, 8(5): 444. (<https://doi.org/10.3390/jof8050444>)
- 36 Offei B. Unique genetic basis of the distinct antibiotic potency of high acetic acid production in the probiotic yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*. *Genome research*, 2019, 29(9): 1478-1494. (<https://doi.org/10.1101/gr.243147.118>)
- 37 Sen S. and Mansell T.J. Yeasts as probiotics: Mechanisms, outcomes, and future potential. *Fungal Genetics and Biology*, 2020, 137: 103333. (<https://doi.org/10.1016/j.fgb.2020.103333>)
- 38 Gao H. Effects of dietary supplementation of yeast culture on productive performance and economic benefits of beef cattle. *Animal Husbandry and Feed Science (Inner Mongolia)*, 2017, 38(7): 45-50. (<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173271422>)
- 39 Tian Q. Effects of cell wall of *Saccharomyces cerevisiae* on the expression of SBD-1 in cultured ruminal epithelial cells of sheep. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2018, 49(5): 927-934. (<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183184672>)
- 40 Elghandour M. *Saccharomyces cerevisiae* as a probiotic feed additive to non and pseudo-ruminant feeding: a review. *Journal of applied microbiology*, 2020, 128(3): 658-674. (<https://doi.org/10.1111/jam.14416>)
- 41 Dunière L. Changes in digestive microbiota, rumen fermentations and oxidative stress around parturition are alleviated by live yeast feed supplementation to gestating ewes. *Journal of Fungi*, 2021, 7(6): 447. (<https://doi.org/10.3390/jof7060447>)
- 42 Ogbuewu I.P. and Mbajorgu C.A. Meta-analysis of *Saccharomyces cerevisiae* on enhancement of growth performance, rumen fermentation and haemato-biochemical characteristics of growing goats. *Heliyon*, 2023, 9(3). (<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14178>)
- 43 Klein-Jöbstl D. Microbiota of newborn calves and their mothers reveals possible transfer routes for newborn calves' gastrointestinal microbiota. *PloS one*, 2019, 14(8): e0220554. (<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220554>)
- 44 Shurson G. Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses, and quantification methods. *Animal feed science and technology*, 2018, 235: 60-76. (<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.11.010>)
- 45 Plaizier J. Enhancing gastrointestinal health in dairy cows. *Animal*, 2018, 12(s2): s399-s418. (<https://doi.org/10.1017/S1751731118001921>)
- 46 Ma J. Active dry yeast supplementation improves the growth performance, rumen fermentation, and immune response of weaned beef calves. *Animal Nutrition*, 2021, 7(4): 1352-1359. (<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.06.006>)
- 47 Liu S. Effects of dry yeast supplementation on growth performance, rumen fermentation characteristics, slaughter performance and microbial communities in beef cattle. *Animal Biotechnology*, 2022, 33(6): 1150-1160. (<https://doi.org/10.1080/10495398.2021.1878204>)
- 48 Gao K. and Geng C. Alterations in the rumen bacterial communities and metabolites of finishing bulls fed high-concentrate diets supplemented with active dry yeast and yeast culture. *Frontiers in Microbiology*, 2022, 13: 908244. (<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.908244>)
- 49 Zhang J. Active dry yeast supplementation benefits ruminal fermentation, bacterial community, blood immunoglobulins, and growth performance in young dairy goats, but not for intermittent supplementation. *Animal Nutrition*, 2023, 13: 289-301. (<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.02.001>)
- 50 Gao J. Effects of yeast culture in broiler diets on performance and immunomodulatory functions. *Poultry Science*, 2008, 87(7): 1377-1384. (<https://doi.org/10.3382/ps.2007-00418>)
- 51 Brewer M.T. Amelioration of salmonellosis in pre-weaned dairy calves fed *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products in feed and milk replacer. *Veterinary microbiology*, 2014, 172(1-2): 248-255. (<https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2014.05.026>)
- 52 Wo Y. Plasma metabolic profiling reveals that chromium yeast alleviates the negative effects of heat stress in mid-lactation dairy cows. *Animal Nutrition*, 2023, 13: 401-410. (<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.01.012>)
- 53 Pechova A. and Pavlata L. Chromium as an essential nutrient: a review. *Veterinárni medicína*, 2007, 52(1): 1-18. (DOI: 10.17221/2010-VETMED)
- 54 Mohrekech M. Effects of three methods of oral selenium-enriched yeast supplementation on blood components and growth in Holstein dairy calves. *Animal Production Science*, 2018, 59(2): 260-265. (<https://doi.org/10.1071/AN16417>)

- 55 Pang Y. Yeast probiotic and yeast products in enhancing livestock feeds utilization and performance: An overview. *Journal of Fungi*, 2022, 8(11):1191. (<https://doi.org/10.3390/jof8111191>)
- 56 Kuntsova M. Obtaining yeast mannoproteins with antimicrobial properties. *Functional Foods in Health and Disease*, 2023, 13(9): 437-447. (<https://doi.org/10.31989/ffhd.v13i9.1179>)
- 57 Aguilar-Toalá J. Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in food science & technology*, 2018, 75: 105-114.
- 58 Bermudez-Brito M., et al., Probiotic mechanisms of action. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 2012, 61(2): 160-174. (<https://doi.org/10.1159/000342079>)
- 59 Adeyemi, J.A. Effects of a blend of *Saccharomyces cerevisiae*-based direct-fed microbial and fermentation products in the diet of newly weaned beef steers: growth performance, whole-blood immune gene expression, serum biochemistry, and plasma metabolome. *Journal of Animal Science*, 2019, 97(11): 4657-4667. (<https://doi.org/10.1093/jas/skz308>)
- 60 Soren S. *Saccharomyces cerevisiae* based postbiotics: Assessment of their effects on the health and productive performance of poultry. 2023. (<https://www.researchgate.net/publication/373923180>)
- 61 Salminen S. The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 2021, 18(9): 649-667. (<https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6>)
- 62 Centeno-Martinez R.E. Effects of feeding *Saccharomyces cerevisiae* fermentation postbiotic on the fecal microbial community of Holstein dairy calves. *Animal Microbiome*, 2023, 5(1): 13. (<https://doi.org/10.1186/s42523-023-00234-y>)
- 63 Magalhães V. Effect of feeding yeast culture on performance, health, and immunocompetence of dairy calves. *Journal of dairy science*, 2008, 91(4): 1497-1509. (<https://doi.org/10.3168/jds.2007-0582>)
- 64 Xiao J. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on dairy calves: Ruminal fermentation, gastrointestinal morphology, and microbial community. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99(7): 5401-5412. (<https://doi.org/10.3168/jds.2015-10563>)
- 65 Xiao J. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on the microbial community throughout the gastrointestinal tract of calves. *Animals*, 2018, 9(1): 4. (<https://doi.org/10.3390/ani9010004>)
- 66 Guo J. *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products reduce bacterial endotoxin concentrations and inflammation during grain-based subacute ruminal acidosis in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2022, 105(3): 2354-2368. (<https://doi.org/10.3168/jds.2021-20572>)
- 67 Jach M.E., et al., Yeast protein as an easily accessible food source. *Metabolites*, 2022, 12(1): 63. (<https://doi.org/10.3390/metabo12010063>)

М.Г. САУБЕНОВА¹, А. РАПОПОРТ², Е.А. ОЛЕЙНИКОВА¹,
С.В. МАКСИМОВИЧ^{1*}, Ж.Н. ЕРМЕКБАЙ¹

¹Микробиология және вирусология ғылыми-өндірістік орталығы, Алматы, Қазақстан

²Микробиология және биотехнология институты, Рига, Латвия

МАЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДА ЖЕМШӨП АШЫТҚЫСЫН ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТУЫНДЫЛАРЫН ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ

Түйін

Бірқатар объективті себептерге байланысты, ең бастысы - жер шары тұрғындарының тұрақты өсуі, сондай-ақ ауыл шаруашылығы өндірісін табысты жүргізуді қиындататын климаттық жағдайлардың айқын өзгеруі, әлемде ауылшаруашылық жануарлары үшін азық-түлік пен жемшөптің айтарлықтай тапшылығы байқалады, бұл олардың өндірісін жедел ұлғайту қажеттілігін көрсетеді. Азық-түлік пен жемдік ақуыздың жетіспеушілігін толтыру, сондай-ақ ауылшаруашылық жануарларының денсаулығына белгілі бір әсер ететін және әртүрлі табиғаттың зиянды факторларына қарсы тұру мүмкіндігін көрсететін бірқатар биологиялық белсенді заттарды алу мәселесінің оңтайлы шешімі микроорганизмдер биомассасының биотехнологиялық өндірісінің қуаттылығын арттыру болып табылады [1, 2]. Бұл қойылған міндеттерді шешудің жалпыға бірдей танылған нұсқасы бір жасушалы ақуызды өндіру болып табылады [3-5]. Бір жасушалы биомассада соямен (38,6%), балықпен (17,8%), етпен (21,2%) және толық сүтпен (3,28%) салыстырғанда ақуыздың жоғары пайызы (30-80%) бар, ол маңызды аминқышқылдарының, соның ішінде метионин, треонин және лизиннің көзі болып табылады [6]. Микроорганизмдер көміртегі көзінің

төмендігіне, жерге, суға тәуелділіктің төмендігіне және қолайлы тамақтану профілімен біріктірілген маусымдық ауытқуларға байланысты жаңа тамақ көзі ретінде назар аударды. Қазіргі уақытта микробтық ақуызды өндірудің әлеуетті технологиялары, оның артықшылықтары, қауіпсіздігі және оны қолданумен байланысты шектеулер және кең ауқымды енгізу перспективалары сыни тұрғыдан қарастырылуда [7]. Бұл сондай-ақ өзекті мәселе, себебі азық-түлік ақуыздарымен қамтамасыз етудің дәстүрлі ауылшаруашылық жолы жеткіліксіз ғана емес, сонымен қатар қоршаған ортаға теріс әсер етуі мүмкін, сондықтан оны қайта қарау керек [8].

Кілтті сөздер: май, пробиотиктер, қазандық қоспалар, постбиотиктер.

МРНТИ: 34.27.51; 68.39.15

М.Г. САУБЕНОВА¹, А. РАПОПОРТ², Е.А. ОЛЕЙНИКОВА¹,
С.В. МАКСИМОВИЧ^{1*}, Ж.Н. ЕРМЕКБАЙ¹

¹Научно-производственный центр микробиологии и вирусологии, Алматы, Казахстан

²Институт микробиологии и биотехнологии, Рига, Латвия

*e-mail: seveg@ya.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

doi:10.53729/MV-AS.2023.04.04

Аннотация

По ряду объективных причин, основными из которых является неуклонный рост населения земного шара, а также ярко выраженное изменение климатических условий, затрудняющих успешное ведение сельскохозяйственного производства, миру грозит существенный дефицит продуктов питания и кормов для сельскохозяйственных животных, что свидетельствует о необходимости срочного наращивания их производства. Оптимальным решением проблемы восполнения дефицита пищевого и кормового белка, а также получения ряда биологически активных веществ, проявляющих определенное воздействие на здоровье сельскохозяйственных животных и возможность противодействия повреждающим факторам различной природы, представляется увеличение мощностей биотехнологического производства биомассы микроорганизмов [1, 2]. Общеизвестным вариантом решения поставленных задач является производство белка одноклеточных [3-5]. Биомасса одноклеточных содержит более высокий процент белка (30-80%) по сравнению с соей (38,6%), рыбой (17,8%), мясом (21,2%) и цельным молоком (3,28%), является источником незаменимых аминокислот, в том числе метионина, треонина и лизина [6]. Микроорганизмы привлекли внимание как новый источник пищи из-за их низкого углеродного следа, низкой зависимости от земли, воды и сезонных колебаний в сочетании с благоприятным профилем питания. В настоящее время критически рассматриваются потенциальные технологии производства микробного белка, его преимущества, безопасность и ограничения, связанные с его использованием, а также перспективы более широкого крупномасштабного внедрения [7]. Это актуально еще и потому, что традиционный сельскохозяйственный путь снабжения пищевыми животными белками не только недостаточен, но может оказывать отрицательное воздействие и на окружающую среду и потому должен быть пересмотрен [8].

Ключевые слова: дрожжи, пробиотики, кормовые добавки, постбиотики.

Дрожжи как пробиотики

Лучшими микроорганизмами в производстве белка одноклеточных признаны дрожжи, превосходящие бактерии и водоросли по простоте получения биомассы, высокому содержанию белка (около 50% от сухой биомассы) и аминокислот, низкому содержанию нуклеиновых кислот, а также по способности расти при различных уровнях кислотности. Их физиологические особенности, такие как устойчивость к желчным солям и кислотам и

связанная с этим возможность выживания в желудочно-кишечной среде, гидрофобность клеточной поверхности, способность к аутоагрегации, антиоксидантная активность и активность β -галактозидазы позволили рассматривать дрожжевые организмы как весьма эффективные пробиотики *in vivo* [9-11].

Последнее представляет особый интерес из-за распространения устойчивости к антибиотикам у подавляющего большинства живых эукариотических организмов и биологической угрозы для здоровья человека и животных, что привело к необходимости отказа от них в качестве стимуляторов роста и профилактических мер в животноводстве. Поскольку эта мера была чревата снижением показателей роста и повышением смертности животных в результате ряда заболеваний [12, 13] возникла острая необходимость разработки альтернативного подхода к профилактике инфекционных заболеваний и стимулированию роста и здоровья животных.

В этом плане все более популярными для улучшения здоровья сельскохозяйственных животных и повышения их продуктивности признаны пробиотики или микробы прямого кормления, проявившие большой потенциал для повышения рентабельности животноводства. Пробиотики - микробные культуры, их экстракты, ферментные препараты или их комбинации - при их введении в адекватных количествах улучшается состояние здоровья организма хозяина, модулируя микробную среду кишечника, характер ферментации, поступление питательных веществ и усвояемость рациона [14, 15].

Наряду с пробиотиками на основе бактериальных штаммов широко используются дрожжи, в основном, *Saccharomyces cerevisiae* (SC) [15, 16], благотворное влияние которых на животных во многом связано с тем, что они стимулируют развитие микроорганизмов рубца, а также воздействуют на общее состояние здоровья и продуктивность [17, 18].

С самого начала жизни стерильный желудочно-кишечный тракт новорожденных млекопитающих колонизируется разнообразными микроорганизмами, на что оказывает влияние, прежде всего, инокуляция из родовых путей матери [19], условия, при которых происходит процесс родов, диета, а также применяемые в животноводстве профилактические противомикробные препараты. Многочисленными исследованиями установлено, что наиболее критическим для телят является период их перевода от преимущественно молочной диеты к получению твердого корма, осуществляемый за короткий срок. По некоторым данным, смертность от диареи в этот период доходит до 25- 87% [20, 21]. У выживших телят отмечается замедленный рост и в дальнейшем снижение продуктивности [22, 23], что связано не только с метаболической адаптацией, но и с большими изменениями в микробиоте кишечника [24].

Микробиота кишечника уже на раннем этапе развития организма животного имеет важное метаболическое значение [25], она воздействует на энергетический обмен [26] и оказывает большое влияние на созревание адаптивной и врожденной иммунной системы [19, 27], что отражается в показателях производительности в дальнейшей жизни, а также в устойчивости к различным заболеваниям. В ряде работ обсуждены факторы, определяющие рост микроорганизмов, колонизирующихся в рубце, формирование комменсальной микробиоты после отъема от груди, а также наличие существенных связей между ранней микробиотой, развитием иммунной системы слизистых оболочек и ростом и здоровьем новорожденных телят [28, 29]. С учетом того, что новорожденные телята наиболее восприимчивы к кишечным заболеваниям, эти данные позволяют разработать потенциальные стратегии для манипулирования ранней микробиотой с целью улучшения здоровья и продуктивности животных.

Высокая смертность телят, вызванная кишечными инфекциями, а также давление, направленное на сокращение использования антибиотиков в силу их вредного воздействия и растущим увеличением количества устойчивых к ним бактерий, привели к необходимости разработки средств альтернативных антибиотикам, а именно препаратов, улучшающих здоровье кишечника новорожденных телят путем манипулирования микробиотой кишечника, прежде всего обогащением его полезными микроорганизмами.

Многочисленными исследованиями установлено, что возможность манипуляций потенциалом микробиоты для получения долгосрочных эффектов во взрослой жизни имеет место сразу после рождения, когда она еще сформирована не полностью до конца. К более поздним временным периодам у крупного рогатого скота, также как и у людей, она становится более стабильной [30, 31] и на нее труднее влиять [29]. Манипулирование микробиотой кишечника в раннем возрасте может стать вариантом улучшения здоровья телят [29], поскольку он определяет развитие кишечного эпителия, слоя слизистой оболочки, состояние иммунных клеток и снижает риск колонизации патогенными микроорганизмами [32]. Отмечается также взаимосвязь между микробиотой тонкой кишки и иммунной функцией, здоровьем и ростом телят [33].

Наиболее широко в качестве пробиотиков используются дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Наиболее действенными из них признаны *S. cerevisiae boulardii* богатые различными биологически активными веществами, в том числе еще не достаточно изученными, выполняющие множество функций: улучшение производственных показателей, содействие развитию кишечника, регулирование баланса кишечной микрофлоры, повышение иммунитета и улучшение качества продукции животноводства [34] и способствующие уменьшению выделения азота. *S. boulardii* обладают потенциальной пробиотической активностью благодаря их способности производить органические кислоты, незаменимые ферменты, витамины и другие важные метаболиты, такие как ванилиновая кислота, фенилэтиловый спирт и эритромицин. *S. boulardii* обладает широким спектром антиканцерогенной, антибактериальной, противовирусной и антиоксидантной активности, а также снижает уровень холестерина в сыворотке крови. Они используются, в основном, для профилактического лечения инфекционных заболеваний ЖКТ и для стимуляции иммунной системы [35].

Дрожжи *Saccharomyces boulardii* являются наиболее популярным коммерческим пробиотиком. Они считаются конспецифичными с почкующимися дрожжами *S. cerevisiae*, обычно используемыми в классических пищевых продуктах, и имеют почти идентичную последовательность генома. Отличительной особенностью является способность продуцировать при +37°C необычайно высокий уровень уксусной кислоты, сильно ингибирующей рост бактерий, что связано, вероятнее всего, со штаммоспецифичными мутациями внутри одного и того же вида, дающими селективное преимущество этому организму как в его экологической нише, так и при применении в качестве пробиотика [36].

Его фенотипические отличия от *S. cerevisiae*, такие как устойчивость к кислоте и повышенной температуре, делают его подходящим препаратом для микроокружения кишечника и для облегчения симптомов инфекций ЖКТ [37].

Добавление 0,5% *S. cerevisiae* в рацион симментальского мясного скота увеличивало дневной прирост на 9,68%, экономический эффект - на 9,09%, а также снижало затраты корма [38]. Кроме того, *S. cerevisiae* может оптимизировать состав микробной среды, улучшить функцию ферментации рубца, стабилизировать значение pH рубца, стимулировать метаболизм молочнокислых бактерий, повышать активность фибринолитических ферментов в рубце и способствовать расщеплению волокнистых веществ. Клеточная стенка *S. cerevisiae* может ингибировать пролиферацию вредных бактерий, тем самым регулируя функцию рубца [39].

Аналогичные результаты были получены в случае кормления других сельскохозяйственных животных и птицы [40-42].

Daniela Klein-Jöbstl и др.(2019) [43] показали, что добавление в рацион телят пробиотика на основе *Saccharomyces cerevisiae* в количестве 19г/день в течение 42 дней, начиная с первых двух дней жизни, способствовало увеличению концентрации метаболитов, участвующих в защите животных против воспаления, а также снижению pH в фекалиях, что может указывать на усиление ферментации в задней части кишечника. При этом улучшалась продуктивность, пищевой статус и здоровье только что отлученных от

груди бычков. В исследованиях эффективность дрожжевых добавок была более очевидной по мере увеличения продолжительности их приема.

Живые дрожжи и дрожжевые кормовые ингредиенты

На рынке предлагаются как живые дрожжи, в том числе жизнеспособные «активные сухие дрожжи», содержащие около 95% сухого вещества, действие которых определяется их функцией в ретикуло-рубце, где они способствуют повышению рН, снижению содержания молочной кислоты, улучшению переваривания клетчатки и увеличению продукции белка и летучих жирных кислот, что в сочетании с другими стратегиями по контролю риска ацидоза улучшает состояние здоровья лактирующих коров [44, 45], так и побочные продукты дрожжевого брожения, не содержащие живых дрожжей, но включающие мертвые клетки, ферментационную среду и различные ферментационные соединения. Телята-отъемыши, получавшие активные сухие дрожжи (АСД), демонстрировали более высокую перевариваемость сырого белка и нейтральной детергентной клетчатки, при этом в сыворотке крови было отмечено увеличение содержания глюкозы, супероксиддисмутазы, иммуноглобулинов А и М и интерлейкина 10. При этом было отмечено улучшение показателей роста, ферментации в рубце, усвояемости питательных веществ, антиоксидантной способности и иммунного ответа [46]. Показано, что добавление АСД в рацион мясного скота, получавшего низкий уровень питания, в дозе 4г/голову в день, меняет состав микробиоты, приближая его к составу, отмечаемому в организме скота, получавшего нормальный рацион питания, и способствует получению аналогичного веса туши. Это происходит из-за активизация процесса утилизации азота и улучшения показателей роста животных [47]. При диете с высоким содержанием концентратов добавление АСД улучшало альфа-разнообразие и относительную численность бактерий рубца, метаболизм аминокислот и углеводов, терпеноидов и поликетидов, липидный обмен, а также энергетический метаболизм у бактерий рубца [48]. Отмечено также, что при введении АСД в рацион молочных коз увеличивается численность рубцовых целлюлолитических бактерий и активность ферментов использования азота и иммунного статуса [49].

Среди дрожжевых продуктов особый интерес представляют их культуры, поскольку они содержат помимо дрожжевых организмов и их метаболиты, образующиеся в ходе определенных процессов ферментации. Культуры дрожжей способствуют пищеварению и всасыванию, а также усиливают метаболическую активность [50]. При этом в рубце мясного скота значительно увеличивается активность ксиланазы, эндоглюканызы, фибриногликогеназы и целлюлазы, что указывало на то, что культура дрожжей улучшает усвояемость грубого корма жвачных животных за счет повышения активности ферментов в рубце. Показало, что дрожжи и их производные могут оказывать благотворное влияние на рост и здоровье животных, особенно когда они находятся в неблагоприятных условиях, а также при сальмонеллезной инфекции [51]. Так, добавление хромовых дрожжей потенциально может смягчить негативные последствия теплового стресса у молочных коров, в результате чего могут возрасти удои, увеличивается содержание молочного белка и улучшаются показатели лактации [52]. Их сочетание с биологически активными пептидами, аминокислотами и ниацином, действующее как «фактор толерантности к глюкозе», играет роль физиологического активатора действия инсулина для улучшения углеводного обмена [53]. Селеновые дрожжи играют уникальную роль в регулировании метаболизма животных, улучшении здоровья животных и повышении содержания серина в мясе и яйцах по сравнению с неорганическим кормлением [54].

Однако, когда дрожжи используются в качестве заменителя антибиотиков для скота, результаты варьируются в зависимости от нескольких факторов, включая вид дрожжей, компоненты дрожжевого продукта, кормовые ингредиенты, категорию животных, тип симптомов и различия в условиях выращивания [55].

Многочисленные дрожжевые добавки и дрожжевые кормовые ингредиенты производятся, продаются и используются в кормах в качестве источников питательных

веществ, пробиотиков, поставщиков нутрицевтических соединений в том числе полисахаридов клеточной стенки, таких как β -глюкан и маннан, выполняющих множество биологических функций: усиление иммунитета, улучшение антигенности, снятие стресса, стимуляция роста и развития [56].

В последние годы привлекли внимание продукты метаболизма, секретируемые живыми микроорганизмами или высвобождаемые после их лизиса, получившие название постбиотиков, обладающие противовоспалительной, иммуномодулирующей, антиожирительной, антигипертензивной, гипохолестеринемической, антипролиферативной и антиоксидантной активностью. Концепция постбиотиков, доказательства их пользы для здоровья и возможных сигнальных путей, участвующих в их защитном эффекте, а также перспективы применения в пищевых продуктах и фармацевтических препаратах рассмотрены в обзоре J.E. Aguilar-Toalá et al. [57]. Постбиотики отличаются четкой химической структурой, безопасностью, длительным сроком хранения и содержанием различных сигнальных молекул. Точные механизмы их действия до конца не выяснены, однако полученные данные позволяют предположить, что постбиотики могут способствовать улучшению здоровья хозяина за счет усиления конкретных физиологических функций. Предполагается, что в основе полезных для здоровья эффектов постбиотиков лежит модификация микробиоты кишечника, конкурентное прикрепление их к слизистой оболочке и эпителию, улучшение барьерной функции эпителиальной оболочки и модуляция иммунной системы [58-60]. Постбиотики, представляющие собой смесь промежуточных и конечных продуктов микробной ферментации, в настоящее время исследуются в качестве неантибиотических стимуляторов роста [61].

Ярким примером постбиотиков, оказывающим всестороннее положительное воздействие, является продукт анаэробной ферментации *Saccharomyces cerevisiae* (SCFP) [62]. SCFP является одним из примеров эффективного постбиотика, который при его введении в рацион обогащает его смесью метаболитов, таких как лизированные клеточные компоненты, аминокислоты, липиды, летучие жирные кислоты и витамины группы B, улучшающие развитие рубца, потребление корма, а также здоровье и рост подопытных животных [59, 63, 64]. Исследовали влияние микробиологического препарата прямого кормления на основе *Saccharomyces cerevisiae* (DFM) на показатели роста, экспрессию иммунных генов в цельной крови, биохимию сыворотки и метаболом плазмы вновь отнятых от груди мясных бычков. Это исследование продемонстрировало, что использование базальной диеты с добавлением 19 г DFM ежедневно в течение 42-дневного периода приема улучшило их производительность, состояние питания и здоровье. Анализ метаболома плазмы выявил увеличение в ней концентрации метаболитов, 5-метилцитозина и индолеакриловой кислоты, участвующих в защите животных от воспаления. Наблюдалась тенденция к более низкому показателю pH фекалий у бычков, получавших такой рацион, что может указывать на усиление ферментации в задней кишке. Эффект продуктов SCFP на улучшение роста и здоровья телят можно объяснить их способностью модулировать микробиоту в желудочно-кишечном тракте. Изучение влияния SCFP на микробные сообщества в каждом участке ЖКТ с использованием техники высокопроизводительного секвенирования, проведенное на телятах голштинской породы, показало, что их включение в рацион увеличивало разнообразие видов микробов в толстом кишечнике, а также в рубце и прямой кишке, а также стимулировало колонизацию фибролитическими бактериями (*Lachnospiraceae* и *Ruminococcaceae*) в рубце и толстой кишке [65]. Исследование влияния SCFP, проведенное в первые 56 дней жизни бычков голштинской породы, показало улучшение морфологии ЖКТ, возможно, из-за увеличения количества *Butyrivibrio* и уменьшения содержания *Prevotella* в рубцовой жидкости, что вело к увеличению выработки бутирата [64]. SCFP ослабляют также влияние увеличенной концентрации рубцового и периферического бактериального эндотоксина и воспаления, возникающих в результате подострого рубцового ацидоза – метаболического нарушения у дойных коров, связанного с дисбиозом микробиоты рубца и задней кишки [66].

Дрожжевые белковые препараты, отличающиеся низкими производственными затратами при соблюдении высочайших стандартов качества пищевых продуктов, могут быть использованы также в пищевой промышленности для замены обычного пищевого белка [67].

Заключение

Современные реалии диктуют необходимость разработки новых, более экологически чистых, чем применение антибиотиков, способов поддержания здоровой микробиоты в желудочно-кишечном тракте, как человека, так и сельскохозяйственных животных. Одним из наиболее прогрессивных методов в этом плане представляется применение пробиотических микроорганизмов. Если ранее большая часть исследований была сосредоточена на пробиотических бактериях, то за последние несколько лет все большее внимание уделяется пробиотическим свойствам дрожжевых организмов, отличающихся простотой выращивания, большей эффективностью и приспособленностью к повреждающим условиям существования в ЖКТ организма-хозяина. Использование дрожжей в виде пробиотических, пребиотических и постбиотических препаратов доказало свою эффективность, как в отношении стимулирования роста сельскохозяйственных животных и птицы, так и в предотвращении развития у них кишечных патогенов. Рядом авторов показано, что, несмотря на недостаточную изученность постбиотических дрожжевых препаратов, их уже выявленные свойства, такие как четкая химическая структура, устойчивость к различным повреждающим факторам, возможность длительного хранения, а главное, положительное воздействие на конкретные физиологические функции организма-хозяина, выдвигают их на первое место среди биологических факторов стимуляции роста и развития живых организмов. Результаты исследований различных авторов позволяют ожидать расширения их использования в различных областях биотехнологической промышленности.

Литература:

- 1 Jahn L.J., Rekdal V.M. and Sommer M.O. Microbial foods for improving human and planetary health. *Cell*, 2023, 186(3): 469-478. ([https://www.cell.com/cell/pdf/S0092-8674\(22\)01515-X.pdf](https://www.cell.com/cell/pdf/S0092-8674(22)01515-X.pdf))
- 2 Graham A.E. and Ledesma-Amaro R.. The microbial food revolution. *Nature Communications*, 2023, 14(1): 2231. (<https://doi.org/10.1038/s41467-023-37891-1>)
3. Matassa S. Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint. *Microbial biotechnology*, 2016, 9(5): 568-575. (<https://doi.org/10.1111/1751-7915.12369>)
- 4 Ritala A. Single cell protein—state-of-the-art, industrial landscape and patents 2001–2016. *Front Microbiol* 8, 2009. 2017. (<https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02009>)
- 5 Choi K.R., Yu H.E. and Lee S.Y. Microbial food: microorganisms repurposed for our food. *Microbial biotechnology*, 2022, 15(1): 18-25. (<https://doi.org/10.1111/1751-7915.13911>)
- 6 Salazar-López N.J. Single-cell protein production as a strategy to reincorporate food waste and agro by-products back into the processing chain. *Bioengineering*, 2022, 9(11):623. (<https://doi.org/10.3390/bioengineering9110623>) (<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112596>)
- 7 Alves S.C. Microbial meat: A sustainable vegan protein source produced from agri-waste to feed the world. *Food Research International*, 2023, 166: 112596. (<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112596>)
- 8 Pérez-Santaescobal C. Modern food production: Fundamentals, sustainability, and the role of technological advances. *Sustainable production technology in food*, 2021: 1-22. (<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821233-2.00003-4>)
- 9 Alugongo G. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on dairy calves: Performance and health. *Journal of dairy science*, 2017, 100(2): 1189-1199. (<https://doi.org/10.3168/jds.2016-11399>)
- 10 Hsiung R. T. In vitro properties of potential probiotic indigenous yeasts originating from fermented food and beverages in Taiwan. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 2021, 13: 113-124.
- 11 Klopp R. Effects of feeding *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on the health and growth performance of Holstein dairy calves. *JDS communications*, 2022, 3(3): 174-179.

- 12 Dibner J. and Richards J.D. Antibiotic growth promoters in agriculture: history and mode of action. *Poultry science*, 2005.,84(4): 634-643. (<https://doi.org/10.1093/ps/84.4.634>)
- 13 Diarra M.S. and Malouin F. Antibiotics in Canadian poultry productions and anticipated alternatives. *Front Microbiol* 2014, 5: 282. (<https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00282>)
- 14 Arowolo M.A. and He J. Use of probiotics and botanical extracts to improve ruminant production in the tropics: A review. *Animal Nutrition*, 2018, 4(3): 241-249. (<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.04.010>)
- 15 Halfen J. Effects of yeast culture supplementation on lactation performance and rumen fermentation profile and microbial abundance in mid-lactation Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2021, 104(11): 11580-11592. (<https://doi.org/10.3168/jds.2020-19996>)
- 16 Garcia-Mazcorro J. The health enhancer yeast *Saccharomyces cerevisiae* in two types of commercial products for animal nutrition. *Letters in applied microbiology*, 2019, 68(5): 472-478. (<https://doi.org/10.1111/lam.13141>)
- 17 Elghandour M.M. Prospect of yeast probiotic inclusion enhances livestock feeds utilization and performance: An overview. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2022: 1-13. (<https://doi.org/10.1007/s13399-022-02562-6>)
- 18 Obeidat B.S. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation during the suckling period on performance of Awassi ewes. *Tropical Animal Health and Production*, 2023, 55(3): 140. (<https://doi.org/10.1007/s11250-023-03555-x>)
- 19 Maynard C.L. Reciprocal interactions of the intestinal microbiota and immune system. *Nature*, 2012, 489(7415): 231-241. (<https://doi.org/10.1038/nature11551>)
- 20 Pardon B. Longitudinal study on morbidity and mortality in white veal calves in Belgium. *BMC Veterinary Research*, 2012, 8: 1-15. (<https://doi.org/10.1186/1746-6148-8-26>)
- 21 Scott K. Risk factors identified on arrival associated with morbidity and mortality at a grain-fed veal facility: A prospective, single-cohort study. *Journal of dairy science*, 2019, 102(10): 9224-9235. (<https://doi.org/10.3168/jds.2019-16829>)
- 22 Svensson C. and Hultgren J. Associations between housing, management, and morbidity during rearing and subsequent first-lactation milk production of dairy cows in southwest Sweden. *Journal of dairy science*, 2008, 91(4): 1510-1518. (<https://doi.org/10.3168/jds.2007-0235>)
- 23 Windeyer M. Factors associated with morbidity, mortality, and growth of dairy heifer calves up to 3 months of age. *Preventive veterinary medicine*, 2014, 113(2): 231-240. (<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.10.019>)
- 24 Agyare C. Antibiotic use in poultry production and its effects on bacterial resistance. *Antimicrobial resistance—A global threat*, 2018: 33-51. (<https://doi.org/10.5772/intechopen.79371>)
- 25 Gritz E.C. and Bhandari V. The human neonatal gut microbiome: a brief review. *Frontiers in pediatrics*, 2015, 3: 17. (<https://doi.org/10.3389/fped.2015.00017>)
- 26 Korpela K. and W.M. de Vos. Early life colonization of the human gut: microbes matter everywhere. *Current opinion in microbiology*, 2018, 44: 70-78. (<https://doi.org/10.1016/j.mib.2018.06.003>)
- 27 Sommer F. and Bäckhed F. The gut microbiota—masters of host development and physiology. *Nature reviews microbiology*, 2013, 11(4): 227-238. (<https://doi.org/10.1038/nrmicro2974>)
- 28 Yáñez-Ruiz D.R., Abecia L. and Newbold C.J. Manipulating rumen microbiome and fermentation through interventions during early life: a review. *Frontiers in microbiology*, 2015, 6: 1133. (<https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01133>)
- 29 Malmuthuge N. Understanding the gut microbiome of dairy calves: Opportunities to improve early-life gut health. *Journal of Dairy Science*, 2017, 100(7): 5996-6005. (<https://doi.org/10.3168/jds.2016-12239>)
- 30 Klein-Jöbstl D., Iwersen M. and Drillich M. Farm characteristics and calf management practices on dairy farms with and without diarrhea: A case-control study to investigate risk factors for calf diarrhea. *Journal of dairy science*, 2014, 97(8): 5110-5119. (<https://doi.org/10.3168/jds.2013-7695>)
- 31 Lim E.S., Wang D. and Holtz L.R. The bacterial microbiome and virome milestones of infant development. *Trends in microbiology*, 2016, 24(10): 801-810. (<https://doi.org/10.1016/j.tim.2016.06.001>)
- 32 Chaucheyras-Durand F. and Durand H. Probiotics in animal nutrition and health. *Beneficial microbes*, 2010, 1(1): 3-9. (<https://doi.org/10.3920/BM2008.1002>)

- 33 Amin N. and Seifert J. Dynamic progression of the calf's microbiome and its influence on host health. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 2021, 19: 989-1001. (<https://doi.org/10.1016/j.csbj.2021.01.035>)
- 34 Bin D. Research progress on application of *Saccharomyces cerevisiae* in animal production. *Feed Res*, 2019, 7: 114-116.
- 35 Abid R. Probiotic yeast *Saccharomyces*: Back to nature to improve human health. *Journal of Fungi*, 2022, 8(5): 444. (<https://doi.org/10.3390/jof8050444>)
- 36 Offei B. Unique genetic basis of the distinct antibiotic potency of high acetic acid production in the probiotic yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*. *Genome research*, 2019, 29(9): 1478-1494. (<https://doi.org/10.1101/gr.243147.118>)
- 37 Sen S. and Mansell T.J. Yeasts as probiotics: Mechanisms, outcomes, and future potential. *Fungal Genetics and Biology*, 2020, 137: 103333. (<https://doi.org/10.1016/j.fgb.2020.103333>)
- 38 Gao H. Effects of dietary supplementation of yeast culture on productive performance and economic benefits of beef cattle. *Animal Husbandry and Feed Science* (Inner Mongolia), 2017, 38(7): 45-50. (<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173271422>)
- 39 Tian Q. Effects of cell wall of *Saccharomyces cerevisiae* on the expression of SBD-1 in cultured ruminal epithelial cells of sheep. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2018, 49(5): 927-934. (<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183184672>)
- 40 Elghandour M. *Saccharomyces cerevisiae* as a probiotic feed additive to non and pseudo-ruminant feeding: a review. *Journal of applied microbiology*, 2020, 128(3): 658-674. (<https://doi.org/10.1111/jam.14416>)
- 41 Dunière L. Changes in digestive microbiota, rumen fermentations and oxidative stress around parturition are alleviated by live yeast feed supplementation to gestating ewes. *Journal of Fungi*, 2021, 7(6): 447. (<https://doi.org/10.3390/jof7060447>)
- 42 Ogbuewu I.P. and Mbajiorgu C.A. Meta-analysis of *Saccharomyces cerevisiae* on enhancement of growth performance, rumen fermentation and haemato-biochemical characteristics of growing goats. *Heliyon*, 2023, 9(3). (<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14178>)
- 43 Klein-Jöbstl D. Microbiota of newborn calves and their mothers reveals possible transfer routes for newborn calves' gastrointestinal microbiota. *PloS one*, 2019, 14(8): e0220554. (<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220554>)
- 44 Shurson G. Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses, and quantification methods. *Animal feed science and technology*, 2018, 235: 60-76. (<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.11.010>)
- 45 Plaizier J. Enhancing gastrointestinal health in dairy cows. *Animal*, 2018, 12(s2): s399-s418. (<https://doi.org/10.1017/S1751731118001921>)
- 46 Ma J. Active dry yeast supplementation improves the growth performance, rumen fermentation, and immune response of weaned beef calves. *Animal Nutrition*, 2021, 7(4): 1352-1359. (<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.06.006>)
- 47 Liu S. Effects of dry yeast supplementation on growth performance, rumen fermentation characteristics, slaughter performance and microbial communities in beef cattle. *Animal Biotechnology*, 2022, 33(6): 1150-1160. (<https://doi.org/10.1080/10495398.2021.1878204>)
- 48 Gao K. and Geng C. Alterations in the rumen bacterial communities and metabolites of finishing bulls fed high-concentrate diets supplemented with active dry yeast and yeast culture. *Frontiers in Microbiology*, 2022, 13: 908244. (<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.908244>)
- 49 Zhang J. Active dry yeast supplementation benefits ruminal fermentation, bacterial community, blood immunoglobulins, and growth performance in young dairy goats, but not for intermittent supplementation. *Animal Nutrition*, 2023, 13: 289-301. (<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.02.001>)
- 50 Gao J. Effects of yeast culture in broiler diets on performance and immunomodulatory functions. *Poultry Science*, 2008, 87(7): 1377-1384. (<https://doi.org/10.3382/ps.2007-00418>)
- 51 Brewer M.T. Amelioration of salmonellosis in pre-weaned dairy calves fed *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products in feed and milk replacer. *Veterinary microbiology*, 2014, 172(1-2): 248-255. (<https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2014.05.026>)
- 52 Wo Y. Plasma metabolic profiling reveals that chromium yeast alleviates the negative effects of heat stress in mid-lactation dairy cows. *Animal Nutrition*, 2023, 13: 401-410. (<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.01.012>)

- 53 Pechova A. and Pavlata L. Chromium as an essential nutrient: a review. *Veterinárni medicína*, 2007, 52(1): 1-18. (DOI: 10.17221/2010-VETMED)
- 54 Mohrekes M. Effects of three methods of oral selenium-enriched yeast supplementation on blood components and growth in Holstein dairy calves. *Animal Production Science*, 2018, 59(2): 260-265. (<https://doi.org/10.1071/AN16417>)
- 55 Pang Y. Yeast probiotic and yeast products in enhancing livestock feeds utilization and performance: An overview. *Journal of Fungi*, 2022, 8(11):1191. (<https://doi.org/10.3390/jof8111191>)
- 56 Kuntsova M. Obtaining yeast mannoproteins with antimicrobial properties. *Functional Foods in Health and Disease*, 2023, 13(9): 437-447. (<https://doi.org/10.31989/ffhd.v13i9.1179>)
- 57 Aguilar-Toalá J. Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in food science & technology*, 2018, 75: 105-114.
- 58 Bermudez-Brito M., et al., Probiotic mechanisms of action. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 2012, 61(2): 160-174. (<https://doi.org/10.1159/000342079>)
- 59 Adeyemi, J.A. Effects of a blend of *Saccharomyces cerevisiae*-based direct-fed microbial and fermentation products in the diet of newly weaned beef steers: growth performance, whole-blood immune gene expression, serum biochemistry, and plasma metabolome. *Journal of Animal Science*, 2019, 97(11): 4657-4667. (<https://doi.org/10.1093/jas/skz308>)
- 60 Soren S. *Saccharomyces cerevisiae* based postbiotics: Assessment of their effects on the health and productive performance of poultry. 2023. (<https://www.researchgate.net/publication/373923180>)
- 61 Salminen S. The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 2021, 18(9): 649-667. (<https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6>)
- 62 Centeno-Martinez R.E. Effects of feeding *Saccharomyces cerevisiae* fermentation postbiotic on the fecal microbial community of Holstein dairy calves. *Animal Microbiome*, 2023, 5(1): 13. (<https://doi.org/10.1186/s42523-023-00234-y>)
- 63 Magalhães V. Effect of feeding yeast culture on performance, health, and immunocompetence of dairy calves. *Journal of dairy science*, 2008, 91(4): 1497-1509. (<https://doi.org/10.3168/jds.2007-0582>)
- 64 Xiao J. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on dairy calves: Ruminal fermentation, gastrointestinal morphology, and microbial community. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99(7): 5401-5412. (<https://doi.org/10.3168/jds.2015-10563>)
- 65 Xiao J. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on the microbial community throughout the gastrointestinal tract of calves. *Animals*, 2018, 9(1): 4. (<https://doi.org/10.3390/ani9010004>)
- 66 Guo J. *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products reduce bacterial endotoxin concentrations and inflammation during grain-based subacute ruminal acidosis in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2022, 105(3): 2354-2368. (<https://doi.org/10.3168/jds.2021-20572>)
- 67 Jach M.E., et al., Yeast protein as an easily accessible food source. *Metabolites*, 2022, 12(1): 63. (<https://doi.org/10.3390/metabo12010063>)