

УДК 579.6

В. С. Болтовский, доцент; Ю. Н. Погорелова, аспирант

**СОСТАВ МИКРООРГАНИЗМОВ – ПРОДУЦЕНТОВ БЕЛКА И КОРМОВЫХ ДОБАВОК, ПОЛУЧАЕМЫХ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ СИНТЕЗОМ (ОБЗОР)**

The review on structure of microorganisms – producers of protein and the fodder additives received by microbiological synthesis is lead.

Содержание белка в кормовых добавках, получаемых микробиологическим синтезом, различно и зависит, главным образом, от вида микроорганизмов – продуцентов белка, вида субстрата, условий культивирования.

Из табл. 1 видно, что микроорганизмы различных таксономических групп (бактерии, дрожжи, мицелиальные грибы, актиномицеты) являются эффективными продуцентами белка [1].

В табл. 2 приведен среднестатистический состав микробной биомассы различных групп микроорганизмов и для сравнения наиболее распространенных белковых кормовых продуктов.

Приведенные в табл. 2 данные показывают, что содержание микробного белка сравнимо с его количеством в наиболее богатых белком природных (естественных) кормовых продуктах, причем наивысшим содержанием белка (табл. 1, 2) обладают бактерии (у некоторых из них белок составляет 70% биомассы), однако для них характерно высокое содержание нуклеиновых кислот (до 16%). Исследствие высокого содержания и особенностей нуклеиновых кислот дрожжей и бак-

терий только 10% белка в рационе сельскохозяйственных животных можно заменить дрожжевым или бактериальным, в отличие от грибного белка, который можно добавлять в корма в значительно большем количестве. Состав биомассы некоторых видов мицелиальных грибов приведен в табл. 3 [2].

Белковые кормовые добавки в зависимости от вида субстратов, используемых для их получения, имеют следующие названия: на гидролизатах растительного сырья и сульфитных щелоках получают так называемый гиприн (чаще применяется название согласно ГОСТ 20083-74 – дрожжи кормовые); на этиловом спирте – эприн; на природном газе – гаприн; на метиловом спирте – меприн; на парафинах нефти – белково-витаминный концентрат (БВК), или паприн.

В промышленных условиях в странах СНГ, и в частности Республике Беларусь, реализовано крупномасштабное производство кормовых дрожжей, получаемых биохимической переработкой гидролизатов растительного сырья с использованием в качестве микроорганизмов – продуцентов белка дрожжей рода *Candida*.

Таблица 1

**Содержание белка в микроорганизмах различных таксономических групп**

Микроорганизмы	Белок, %	Микроорганизмы	Белок, %
<i>Bacterium pneumonia</i>	62	<i>Aspergillus niger</i>	25–35
<i>Mycobacterium diptheriae</i>	63	<i>Aspergillus awamori</i>	40–48
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	61	<i>Pecilomyces</i> sp.	55
<i>Bact. prodigiosum</i>	72	<i>Fusarium</i> sp.	47–53
<i>Bacillus subtilis</i>	67	<i>Actinomyces globisporus</i>	71
<i>Mycobacterium rubrum</i>	66	<i>Act. auranticum</i>	68
<i>Cellulomonas</i> sp.	60	<i>Act. lavendula</i>	65
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	56	<i>Act. griseus</i>	58
<i>Torulopsis utilis</i>	52	<i>Penicillium verruculosum</i>	48–50
<i>Rhodorula rubra</i>	56	<i>Rhisopus nigricans</i>	50–52
<i>Candida arborea</i>	47	<i>Trichoderma lignorum</i>	40

Таблица 2

**Состав микробной биомассы и некоторых белковых продуктов, %**

Показатель	Бактерии	Дрожжи	Грибы	Водоросли	Соя	Рыбная мука
Азот	11,5–12,5	7,5–9,5	5,0–8,0	7,5–10,0	6,7–7,2	9,0–10,2
Жир	1,5–8	2,0–9,0	2,0–8,0	7,0–15,0	1,0–2,0	7,0–9,0
Нуклеиновые кислоты	8,0–16,0	6,0–12,0	1,6–2,5	3,0–8,0	–	–
Лизин	4,1–8,4	4,2–9,0	2,0–7,9	2,0–2,4	2,5–2,8	4,5–4,7
Метионин + цистин	2,3–3,8	1,7–2,2	0,8–2,2	1,5–1,7	1,3–1,5	2,8–3,0

Таблица 3

## Состав биомассы мицелиальных грибов, %

Грибы	Сырой протеин	Сырой жир	Зола	Сырая клетчатка	Истинный белок	Перевариваемость белка
<i>Penicillium verruculosum</i>	46,0–50,0	3,7	5,3	8,1	43,0–45,0	70,7
<i>Aspergillus carbonarium</i>	41,0–48,0	5,6	4,4	7,6	36,0–41,0	82,0
<i>Alternaria tenuis</i>	35,0–44,0	5,7	6,5	7,6	30,0–39,0	75,1
<i>Tyromyces lacteus</i>	35,0–40,0	5,0	6,4	10,7	30,0–35,0	69,0
<i>Coriolus versicolor</i>	35,7–40,0	3,8	6,7	9,0	32,0–36,0	70,0
<i>C. hirsutus</i>	36,0–45,0	3,4	5,3	6,5	29,0–38,0	71,0

В табл. 4 приведен [3] состав и содержание основных питательных компонентов некоторых белковых кормовых добавок микробиологического синтеза.

При культивировании микроорганизмов – продуцентов белка на нерастворимых лигноцеллюлозных субстратах способом твердофазной ферментации в результате биотрансформации (био конверсии) углеводов происходит обогащение субстрата белком (как правило, мицелиальным) с получением растительных углеводно-белковых кормовых добавок. Известен термин для обозначения растительных отходов сельскохозяйственного производства, обогащенных мицелиальным белком, – микорм [4].

Состав получаемых подобным способом продуктов в зависимости от вида субстрата и

мицелиальных грибов – продуцентов белка приведен в табл. 5–7.

Аминокислотный состав белков, синтезируемых различными продуцентами, неодинаков (табл. 8, 9), это отражается на содержании аминокислот в белковых кормовых добавках (табл. 10).

Вместе с тем, при определении содержания белка в кормовых добавках микробиологического синтеза необходимо учитывать, что различают понятия сырой протеин (общий азот), определяемый методом Кьельдаля, и истинный белок, определяемый по Барнштейну (по сути, модифицированному методу Кьельдаля). В последнем случае определяется содержание органического азота в аминокислотах, в отличие от первого, при котором количество сырого протеина всегда больше за счет неорганического азота, входящего, в частности, в состав небелковых азотсодержащих веществ.

Таблица 4

## Состав белковых кормовых добавок микробиологического синтеза, г

Добавка	Сухое вещество	Сырой протеин	В т. ч. перевариваемый	Сырой жир	Сырая клетчатка	Аминокислоты	
						Лизин	Метионин + цистин
Кормовые дрожжи	900	455	419	15	2	30,9	12,3
Эприн	921	541	456	72	–	44,0	13,3
Кормобактерин	905	475	380	55	61	21,0	11,7
Гаприн	938	693	539	80	–	41,6	16,1
Меприн	945	708	852	38	–	41,0	19,8

Таблица 5

Химический состав кормов, обогащенных мицелиальным белком штаммов *Aspergillus oryzae*-740 и *Penicillium chrysogenum* 27-Б, %

Корм	Сухое вещество	Протеин	Жир	Клетчатка	Зола	Безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ)
Пшеничные отруби						
в среднем	85,0	15,0	3,15	7,27	5,14	54,43
обогащенные штаммом 740	84,38	18,0	5,44	8,63	6,34	45,46
обогащенные штаммом 27-Б	84,32	19,3	5,14	8,61	6,12	45,15
Смесь кукурузной дерти и сеной муки (9 : 1)	84,01	8,7	2,88	4,95	4,31	63,15
Смесь кукурузной дерти и сеной муки (9 : 1), обогащенной штаммом 27-Б	95,3	13,3	4,56	6,47	5,87	55,1

Таблица 6

## Состав белково-углеводных комплексов (средние показатели), %

Продукт	Протеин	Жир	Зола	Клетчатка	Лигнин	Перевариваемость белка
Солома (субстрат)	4,0	0,97	5,5	38,0	17,0	19,0
Солома, ферментированная грибом <i>Penicillium verruculosum</i>	28,6	4,6	12,1	20,0	9,6	80,0
Костра (субстрат)	5,0	2,3	2,0	40,0	26,0	20,0
Костра, ферментированная грибами						
<i>Coriolus hirsutus</i>	31,5	3,6	10,2	18,5	13,0	87,0
<i>Aspergillus carbonarius</i>	32,0	4,2	9,1	22,0	15,1	86,1
<i>Alternaria tenuis</i>	33,8	3,9	8,3	21,3	14,3	85,2

Таблица 7

## Состав (средние показатели) ферментированных грибами субстратов способом твердофазной ферментации, %

Продукт	Сырой протеин	Истинный белок	Сырой жир	Сырая клетчатка	Зола
Нативная солома	5,0	2,8	0,97	38,0	5,5
Солома с посевным материалом	—	3,2	—	—	—
Солома, ферментированная грибами					
<i>Ranus tigrinus</i>	13,4	8,5	2,5	29,7	5,3
<i>Tyromyces lacteus</i>	15,0	9,0	3,3	27,6	6,1
<i>Coriolus versicolor</i>	15,7	8,2	2,9	28,0	5,8
<i>Penicillium verruculosum</i>	14,8	6,6	3,0	31,5	4,5
<i>P. notatum</i>	14,0	6,0	2,7	30,5	6,4
Нативная костра	5,0–6,0	1,8–2,0	2,3	40,0	2,0–3,0
Костра с посевным материалом	—	2,2–2,8	—	—	—
Костра, ферментированная грибами					
<i>Tyromyces lacteus</i>	10,0–12,0	5,5–7,0	5,0	28,5	5,7
<i>Coriolus hirsutus</i>	9,5–11,0	5,3–6,5	4,8	30,0	5,5
<i>Aspergillus carbonarius</i>	7,5–8,9	3,0–3,7	3,7	33,0	4,0
<i>Alternaria tenuis</i>	8,0–10,0	3,5–4,5	3,9	31,3	4,4

Таблица 8

## Аминокислотный состав белков, синтезируемых различными продуцентами, г на 100 г белка

Аминокислота	Эталон ФАО	Грибной белок <i>Penicillium notatum</i> и <i>P. chrisogenium</i> (штаммы)			Дрожжевой белок <i>Candida utilis</i>	Бактериальный белок	Водоросли	
		№ 1	№ 2	№ 3			Хлорелла	Спирулина
Лейцин	4,8	7,2	8,7	6,3	9,1	5,6	6,8	8,0
Изолейцин	4,2	3,6	3,1	3,4	6,0	3,6	3,1	6,0
Валин	4,2	5,8	6,9	5,0	7,3	4,5	4,8	6,5
Лизин	4,2	7,0	3,3	4,4	7,1	6,5	4,9	4,6
Метионин	2,2	2,8	2,0	2,1	1,6	2,0	1,4	1,4
Цистин	2,0	3,5	3,4	2,9	0,4	0,6	0,8	0,4
Фенилаланин	2,8	3,9	3,8	5,6	5,3	2,9	3,5	5,0
Треонин	2,8	4,3	3,1	5,3	6,1	4,0	3,9	4,6
Тирозин	2,8	3,4	3,4	2,8	4,3	—	2,6	4,0
Триптофан	1,4	—	—	—	1,5	1,2	1,8	1,4

Таблица 9

## Аминокислотный состав белка биомассы мицелиальных грибов, г/100 г белка

Аминокислота	Норма ФАО	<i>Penicillium verruculosum</i>	<i>Aspergillus carbonarius</i>	<i>Alternaria tenuis</i>	<i>Coriolus hirsutus</i>	<i>Coriolus versicolor</i>	<i>Tyromyces lacteus</i>
Лизин	4,2	6,3	6,1	5,3	4,2	2,5	3,7
Треонин	2,8	5,8	5,9	5,5	8,1	7,4	8,4
Валин	4,2	3,8	4,8	4,9	4,5	5,3	4,5
Метионин	2,2	1,6	1,1	2,0	1,3	1,6	1,4
Изолейцин	4,2	4,0	3,8	4,1	3,3	3,4	3,7
Лейцин	4,8	7,6	6,6	6,0	5,8	6,1	6,9
Тирозин	2,8	3,7	5,4	5,4	2,1	1,1	1,6
Фенилаланин	2,8	16,8	3,7	4,0	6,4	6,0	6,9
Цистин	2,0	1,1	0,6	1,0	0,8	0,9	1,0

Содержание аминокислот в белковых кормовых добавках МБС, г/кг

Аминокислота	Дрожжи кормовые с содержанием протеина [3]			Дрожжи [4]		Мицелиальная биомасса [4]
	40-45%	46-50%	51% и выше	<i>Candida</i> , %	В среднем	
Лизин	28,5	31,4	33,6	6,3	31,5	6,4
Метионин	4,2	5,0	5,5	1,9	11,8	2,6
Цистин	3,8	4,7	5,0	—	—	—
Триптофан	5,5	5,6	6,3	1,2	7,1	1,2
Аргинин	20,4	23,6	26,0	4,6	20,7	7,7
Гистидин	7,5	8,6	9,5	1,5	11,8	6,7
Лейцин	28,2	32,7	36,2	7,0	30,6	7,0
Изолейцин	20,7	24,0	26,6	5,3	24,9	4,2
Фенилаланин	17,0	19,7	21,8	4,4	18,8	3,8
Тирозин	13,0	15,0	17,0	—	—	—
Треонин	20,6	20,4	26,4	3,3	24,9	6,1
Валин	23,0	26,0	29,5	6,3	28,2	6,5
Глицин	18,1	21,0	23,3	—	—	—
Сырой протеин	42,3	49,0	54,3	45-53	47	30-65
Азотный эквивалент белка P <sub>N</sub>	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25

Кроме того, при анализе кормов по системе Веенде определяют сырой жир.

Большинство липидов растительных тканей входят в мембранные структуры, связаны с белками и образуют липопротеиновые комплексы. Количественное определение жира основано на его извлечении из тканей растворителями. Растворители вместе с жирами извлекают свободные жирные кислоты, фосфатиды, стерины, смолы, воски, пигменты. Все эти вещества в целом называют сырым жиром.

Все углеводные составные части растений разделяют на две группы: сырую клетчатку, определяемую химическим анализом, и безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ), определяемые расчетным путем.

Под сырой клетчаткой понимают органический остаток, получаемый после последовательной обработки корма кислотой и щелочью в условиях, имитирующих действие на корм среды пищеварительного тракта. Полученный после гидролиза остаток не является однородным химическим соединением, а включает гемицеллюлозы, целлюлозу и лигнин, причем относительная доля этих соединений в сырой клетчатке различных растений и их фазы роста неодинаковы. Кроме того, в составе сырой клетчатки остается только часть лигнина и целлюлозы, содержащихся в корме, остальное удаляется при гидролизе и относится к БЭВ. Таким образом, практически неперевариваемый лигнин попадает в состав БЭВ, в связи с чем сырая клетчатка и БЭВ биологически трудноразличимы.

Методики определения содержания белка в белковых кормовых добавках микробиологического синтеза аналогичны анализу кормовых дрожжей. Помимо определения содержания сырого протеина по Кьельдалю по ГОСТ 20083-74 в кормовых продуктах микробного синтеза необходимо определение истинного белка по Барнштейну и определение усваиваемого белка [6].

Таким образом, на основании анализа состава микроорганизмов – продуцентов белка и кормовых добавок, получаемых микробиологическим синтезом, можно судить об их высокой кормовой ценности.

#### Литература

1. Лобанок А. Г., Бабицкая В. Г. Микробиологический синтез белка на целлюлозе. – Мн.: Наука и техника, 1976.
2. Лобанок А. Г., Бабицкая В. Г., Богдановская Ж. Н. Микробный синтез на основе целлюлозы. Белок и другие ценные продукты. – Мн.: Наука и техника, 1988.
3. Справочник по кормовым добавкам: 2-е изд. / Под ред. К. М. Солнцева. – Мн.: Урожай, 1990.
4. Бакай С. М. Биотехнология обогащения кормов мицелиальным белком. – Киев: Урожай, 1987.
5. Лиепиныш Г. К., Дунце М. Э. Сырье и питательные субстраты для промышленной биотехнологии. – Рига: Зинатне, 1986. – 158 с.
6. Емельянова И. З. Химико-технический контроль гидролизных производств: 2-е изд. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 328 с.