

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНОЙ ФОРМЫ РАЦИОНА НА ПИЩЕВОЕ ПОВЕДЕНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ЖКТ БРОЙЛЕРОВ*

РЕЗУЛЬТАТЫ

Измельчение и физические качества комбикорма

Гранулометрический состав цельнозерновых кукурузы и пшеницы, а также их образцов, измельченных в молотковой дробилке с использованием сит с отверстиями диаметром 3; 6 и 8 мм, представлен на рисунке 1. При увеличении размера отверстий сита с 3 до 8 мм доля частиц более 1 мм повысилась на 20%. Однако пшеница в целом давала больше крупных частиц, чем кукуруза, независимо от размера сита.

Как показано на рисунке 2, сухое просеивание выявило, что большую долю в смешанных рационах занимали частицы размером менее 2,8 мм. При этом отмечалось незначительное количество пылевидных частиц, которое снизилось бы при двойном просеивании.

Все гранулированные рационы (комбикорма) имели схожий гранулометрический состав. Результаты мокрого просеивания продемонстрировали, что доля крупных частиц была наименьшей в рационах, полностью состоящих из гранул комбикорма. Чем больше использовалось зерна более грубого помола, тем более грубой была микроструктура в целом, особенно когда крупные частицы добавлялись после гранулирования. Сравнение методом мокрого просеивания размера частиц рационов SP, VCP и MCP до и после гранулирования подтвердило, что доля крупных частиц сильно уменьшилась во время гранулирования.

Продуктивность бройлеров

Потребление корма и прирост массы бройлеров демонстрировали тенденцию к снижению ($P < 0,05$) для смешанных рационов, для полностью гранулированных рационов эти показатели были стабильно высокими (табл. 1). Влияния структурной формы рациона на коэффициент конверсии корма (FCR) и илеальную переваримость крахмала и белка не наблюдалось ($P > 0,05$).

Уменьшение количества крупных частиц в комбикорме при гранулировании оказало меньшее стимулирующее воздействие на увеличение массы мышечного желудка по сравнению со смешанными рационами.

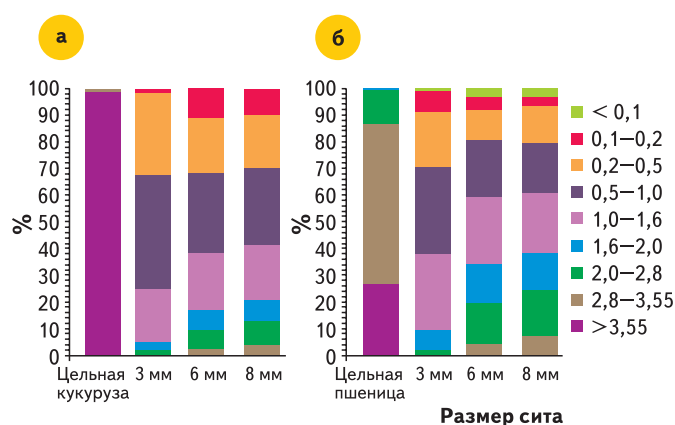
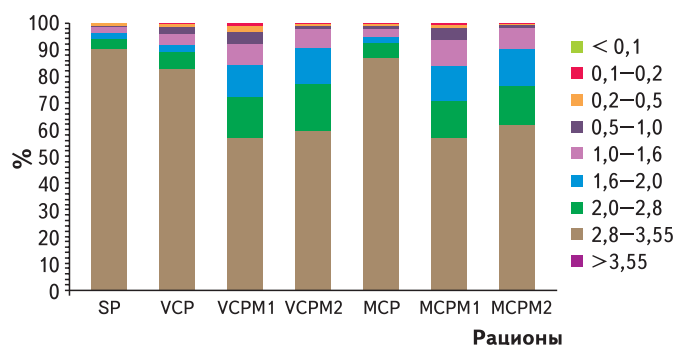


Рис. 1. Гранулометрический состав кукурузы (а) и пшеницы (б) при увеличении диаметра отверстий сита в молотковой дробилке



Примечание:

SP — стандартные гранулы комбикорма;

CP — гранулы корма, содержащие крупные частицы измельченного зерна;

VCPM1 — зерно очень грубого помола, смешанное с гранулами, содержащими мелкие частицы после одного просеивания;

VCPM2 — зерно очень грубого помола, смешанное с гранулами, содержащими мелкие частицы после двух просеиваний;

MCP — гранулы корма, содержащие частицы среднего размера;

MCPM1 — зерно умеренного помола, смешанное с гранулами, содержащими мелкие частицы после первого просеивания;

MCPM2 — зерно умеренного помола, смешанное с гранулами, содержащими мелкие частицы после второго просеивания.

Рис. 2. Гранулометрический состав рационов, определенный методом сухого просеивания

Таблица 1. Влияние рационов на показатели роста цыплят-бройлеров с 10-го по 31-й день жизни¹

Рацион	Потребление корма, г			Прирост живой массы, г			FCR ²		
	10–17 день	17–31 день	10–31 день	10–17 день	17–31 день	10–31 день	10–17 день	17–31 день	10–31 день
SP	535 ^a	2016 ^{ab}	2551 ^{abc}	456 ^a	1471 ^{ab}	1928 ^{ab}	1,17	1,37	1,32
VCP	533 ^a	2056 ^a	2589 ^a	454 ^{ab}	1467 ^{abc}	1921 ^{abc}	1,17	1,40	1,34
VCPM1	509 ^{bc}	1988 ^{ab}	2496 ^{bc}	435 ^c	1416 ^c	1851 ^d	1,17	1,40	1,40
VCPM2	522 ^{abc}	2009 ^{ab}	2531 ^{abc}	441 ^{bc}	1421 ^{bc}	1862 ^d	1,18	1,41	1,36
MCP	534 ^a	2041 ^a	2576 ^{ab}	460 ^a	1476 ^a	1936 ^a	1,16	1,37	1,32
MCPM1	503 ^c	1963 ^b	2467 ^c	434 ^c	1419 ^{bc}	1854 ^d	1,16	1,38	1,33
MCPM2	527 ^{ab}	2012 ^{ab}	2538 ^{abc}	439 ^c	1432 ^{abc}	1871 ^{bcd}	1,20	1,40	1,35
√MSE ³	17,3	53,1	62,1	11,9	38,5	47,8	0,037	0,032	0,028
P-значение	0,0003	0,0121	0,0013	<0,0001	0,0010	0,0001	0,3181	0,1438	0,1009

¹Девять повторов для каждого рациона.

²FCR (коэффициент конверсии корма) скорректирован с учетом смертности, где принимается во внимание вес погибшей птицы.

³√MSE — квадратный корень из средней квадратичной ошибки дисперсионного анализа.

^{a–d}Средние значения в столбце без общего надстрочного знака различаются ($P < 0,05$).

Таблица 2. Воздействие рационов на мышечный желудок и переваримость питательных веществ¹

Рацион	Мышечный желудок			Коэффициент иллеальной перевариваемости	
	pH	Относительная масса ²	Относительный вес содержимого ³	Крахмал	Белок
SP	3,17	1,00 ^c	0,30 ^b	0,975	0,835
VCP	2,86	1,06 ^{bc}	0,70 ^{ab}	0,968	0,874
VCPM1	2,95	1,26 ^a	0,71 ^a	0,982	0,860
VCPM2	2,78	1,27 ^a	0,87 ^a	0,985	0,883
MCP	3,17	1,06 ^{bc}	0,64 ^{ab}	0,984	0,855
MCPM1	2,83	1,21 ^{ab}	0,88 ^a	0,985	0,859
MCPM2	3,03	1,20 ^{ab}	0,77 ^a	0,976	0,856
√MSE ⁴	0,54	0,17	0,27	0,144	3,08
P-значение	0,643	0,012	<0,001	0,171	0,150

¹Девять повторов для каждого рациона.

²Масса пустого желудка, выраженная в % к массе тела.

³Содержание сухого вещества желудка, выраженное в % к массе тела.

⁴√MSE — квадратный корень из средней квадратичной ошибки дисперсионного анализа.

^{a–d}Средние значения в столбце без общего надстрочного знака различаются ($P < 0,05$).

Наименьшая масса желудка отмечалась ($P < 0,05$) при потреблении стандартных гранул рациона SP (табл. 2). Уровень сухого вещества в содержимом желудка был ниже ($P < 0,05$) также при скормливании рациона SP. По количеству бройлеров, потреблявших корм вволю, существенных различий между рационами не наблюдалось.

Данные, приведенные в таблицах 3 и 4, показывают, что в гранулометрическом составе корма, определенном методом сухого просеивания, наблюдалось явное снижение ($P < 0,05$) количества частиц размером более 2,8 мм, начиная со времени отсчета для обоих рационов, хотя разница для птицы, которой скормливали MCPM2, не была значительной через 1 и 2 часа. У бройлеров, которые потребляли рацион VCPM1, в желудке накапливались частицы размером от 1 до 2,8 мм ($P < 0,05$), в то время

как у получавших MCPM2 — частицы размером от 1 до 1,6 мм. Пробы собирали каждый час в течение 4 часов.

Между тремя гранулированными рационами (SP, VCP, MCP) не наблюдалось значительных различий в количестве частиц среднего размера (D50) в содержимом кишечника (табл. 5). Однако в двенадцатиперстной кишке птицы, потреблявшей корм SP, было меньше ($P < 0,05$) мелких частиц размером от 0,1 до 0,2 мм, чем при получении двух других рационов.

Не отмечалось значительных различий в распределении частиц в зависимости от размера в содержимом тонкой кишки при применении трех гранулированных рационов или подвздошной кишки при всех рационах. Между VCP и VCPM2 также не было значимых различий ($P > 0,05$) по размеру частиц в содержимом кишечника.



Таблица 3. Распределение частиц по размерам в рационе VCPM1

Время, ч	Размер частиц					
	>2,8 мм	2,0–2,8 мм	1,6–2,0 мм	1,0–1,6 мм	0,5–1,0 мм	<0,5 мм
0	61,20 ^a	14,70 ^b	10,70 ^b	7,90 ^b	3,30	2,20
1	48,70 ^b	18,50 ^a	15,10 ^a	11,30 ^{ab}	3,95	2,42
2	41,50 ^b	18,50 ^a	16,90 ^a	14,30 ^a	5,73	3,07
3	39,40 ^b	18,30 ^a	17,30 ^a	15,20 ^a	6,34	3,44
4	43,20 ^b	18,20 ^a	16,80 ^a	14,20 ^a	5,10	2,49
√MSE ¹	4,803	1,081	1,205	1,962	1,416	0,957
P-значение	<0,001	0,002	<0,001	0,002	0,104	0,444

¹√MSE: квадратный корень из средней квадратичной ошибки дисперсионного анализа.

^{a-b} Средние значения в столбце без общего надстрочного знака различаются ($P < 0,05$).

Примечание: VCPM1 — зерно очень грубого помола, смешанное с гранулами, содержащими мелкие частицы после одного просеивания.

Таблица 4. Распределение частиц по размерам в рационе MCPM2

Время, ч	Размер частиц					
	>2,8 мм	2,0–2,8 мм	1,6–2,0 мм	1,0–1,6 мм	0,5–1,0 мм	<0,5 мм
0	58,60 ^a	14,70	13,60	9,74 ^b	1,90	1,44
1	52,30 ^{ab}	15,30	16,20	11,30 ^{ab}	2,51	2,03
2	50,30 ^{ab}	15,20	16,50	12,20 ^{ab}	3,14	2,44
3	47,30 ^b	14,60	17,80	13,90 ^a	3,43	2,75
4	45,50 ^b	14,80	17,90	14,50 ^a	3,93	3,25
√MSE ¹	4,450	1,924	2,779	1,896	2,532	2,480
P-значение	0,023	0,984	0,363	0,046	0,877	0,916

¹√MSE: квадратный корень из средней квадратичной ошибки дисперсионного анализа.

^{a-b} Средние значения в столбце без общего надстрочного знака различаются ($P < 0,05$).

Примечание: MCPM2 — зерно умеренного помола, смешанное с гранулами, содержащими мелкие частицы после второго просеивания.

Таблица 5. Распределение частиц по размерам (в расчетных объемных %) содержимого двенадцатиперстной кишки

Рацион	Размер частиц					
	1,6–2,0 мм	1,0–1,6 мм	0,5–1,0 мм	0,2–0,5 мм	0,1–0,2 мм	0–0,1 мм
SP	0,20	4,10	19,50	22,40	13,00 ^b	40,80
VCP	0,10	2,80	15,30	23,00	16,20 ^a	42,60
MCP	0,10	1,70	13,00	25,40	17,30 ^a	42,50
√MSE ¹	0,185	2,9591	6,977	3,374	2,310	10,102
P-значение	0,701	0,330	0,184	0,209	0,003	0,922

¹√MSE: квадратный корень из средней квадратичной ошибки дисперсионного анализа.

^{a-b} Средние значения в столбце без общего надстрочного знака различаются ($P < 0,05$).

Примечания: Среднее значение (D50) объемного гранулометрического состава в двенадцатиперстной кишке: SP — 192 мкм, VCP — 160 мкм, MCP — 158 мкм; в тонкой кишке: SP — 246 мкм, VCP — 202 мкм, MCP — 205 мкм; в подвздошной кишке: SP — 359 мкм, VCP — 307 мкм, MCP — 336 мкм.

SP — гранулы; VCP — гранулы комбикорма, содержащие крупные частицы измельченного зерна;

MCP — гранулы комбикорма, содержащие частицы среднего размера.

ОБСУЖДЕНИЕ

Данное исследование демонстрирует, что изменение микро- и макроструктуры рационов может повлиять на продуктивность цыплят-бройлеров.

Более грубое измельчение является эффективным с точки зрения оптимизации производственного процесса, так как позволяет сырью легче проходить через отвер-

стия сита, уменьшает количество мелких частиц и потребление энергии, тем самым снижая производственные затраты. Кроме того, различия в гранулометрическом составе рационов на основе кукурузы и пшеницы, измельченными одним и тем же способом, соответствовали выводам Амегаи и соавт. (2008). Причиной могут

быть различия в твердости зерна (Dobraszczyk и соавт., 2002), в прочности межмолекулярных связей, присущих конкретному типу зерновых культур.

Уменьшение количества крупных частиц после гранулирования не противоречит результатам исследований Amerah и соавт. (2007); Engberg, Hedemann и Jensen (2002); Svihus и соавт. (2004). Из-за небольшого зазора между пресс-вальцами и матрицей более крупные частицы особенно подвержены истиранию, и это может объяснить, почему процесс гранулирования нивелирует различия в гранулометрическом составе.

Abdollahi и соавт. (2011) предположили, что сила трения, создаваемая в рабочих каналах матрицы, может способствовать дальнейшему измельчению крупных частиц. Кроме того, Đ. Vukmirović и соавт. (2017) обнаружили, что включение в рацион частиц более грубого помола (измельчение в молотковой дробилке на сите диаметром 9 мм) и увеличение зазора с 0,3 мм до 2 мм между пресс-вальцами и матрицей привели к большему измельчению крупных частиц, сохранив при этом качество гранул и снизив энергозатраты на гранулирование. *Следовательно, либо регулировка зазора между пресс-вальцами, либо увеличение диаметра гранул, либо отказ от использования крупных частиц в гранулах могут быть лучшим способом сохранения крупных частиц в рационе птицы.*

В эксперименте с бройлерами стало очевидным, что смешанный рацион (гранулированный комбикорм + частицы измельченного зерна) не способен поддерживать максимальное потребление корма и прирост живой массы по сравнению с полностью гранулированными рационами. Поскольку из смешанных рационов при просеивании были удалены мелкие частицы, то предполагалось, что потребление корма увеличится. Оказалось, что крупные частицы в смешанных рационах были недостаточно крупными (1,6–2,8 мм) и им не отдавалось предпочтение, что в конечном итоге повлияло на продуктивность бройлеров. Они охотнее потребляли частицы размером более 2,8 мм. Замечено, что скормливание смешанных рационов приводило к неоднородности поголовья по сравнению с полностью гранулированными рационами. Это могло быть связано с тем, что доминирующие особи потребляли в основном гранулы, что приводило к несбалансированному питанию, повлиявшему на однородность стада.

При изучении пищевого поведения птицы, получавшей смешанные рационы, было высказано предположение, что отсутствие различий во времени, затраченном на поедание рационов МСР, МСРМ1 и МСРМ2, объясняется тем, что количество мелких частиц во всех рационах было одинаковым. С раннего возраста цыплята могут выбирать из корма частицы разных размеров (Neves, Banhazi и Nääs, 2014). При скормливании рациона с однородным гранулометрическим составом, в отличие от неоднородного, птица не склонна потреблять его избирательно. В соответствии с опытом, проведенным Skinner-Noble, McKinney и Teeter

(2005), она тратила на поедание рассыпного комбикорма больше времени, чем гранулированного. Это также объясняет тот факт, почему бройлеры предпочитали частицы размером более 2,8 мм в смешанных рационах. Таким образом, стало очевидно, что гранулы и более крупные частицы (> 2,8 мм) были съедены в первую очередь из смешанных рационов VCPM1 и MСРМ2, несмотря на различную крупность. При этом проявлялось выраженное безразличие к более мелким частицам и/или фракциям, что подтверждает предыдущие выводы (Portella, Caston, и Leeson, 1988; Schiffman, 1969; Xu, Stark, Ferket, Williams и Brake, 2015). Это указывает на то, что крупные частицы измельченного зерна в смешанных рационах все же были мельче, чем предпочитают бройлеры.

Несмотря на то что доля грубых частиц (более 2 мм) в смешанном рационе была высокой (свыше 20%), это не оказало негативного влияния на илеальную переваримость крахмала и белка. Данные результаты совпадают с результатами предыдущих исследований, проведенных Abdollahi и соавт. (2019), которые не выявили разницы в переваримости азота и крахмала при потреблении рационов с разным размером частиц. В одном из исследований (Engberg, Hedemann и Jensen, 2002; Peron и соавт., 2005; Amerah и соавт., 2007) бройлерам скормливали гранулированный рацион, содержащий пшеницу либо грубого, либо среднего помола, и так же не было отмечено какого-либо влияния на потребление корма, прирост массы тела или количество корма на единицу прироста. Аналогичным образом результаты гранулометрического анализа, проведенного в анализаторе размера частиц Mastersizer, показали, что желудок демонстрирует впечатляющую способность измельчать компоненты корма в неизменно узком диапазоне размеров частиц, независимо от их исходного размера в рационе. По мере продвижения содержимого из верхней части тонкого кишечника в нижнюю наблюдалось увеличение доли более крупных частиц. Это свидетельствует о постепенном растворении мелких частиц, в то время как значительная часть крупных оставалась относительно нетронутой. В двенадцатиперстной кишке более 40% частиц имели размер менее 0,1 мм и менее 5% были размером более 1 мм, что подтверждает результаты исследования Ferrando и соавт. (1987), которые установили, что предельный размер частиц перед выходом из желудка составляет 500–1500 мкм. Кроме того, Hetland, Svihus и Olaisen (2002) обнаружили, что до 50% частиц в двенадцатиперстной кишке были менее 40 мкм. Помимо прочего, не было отмечено заметной разницы в размере частиц в тонкой кишке при поедании трех гранулированных рационов разной крупности, что соответствует наблюдениям Xu, Stark, Ferket, Williams, Pacheco и соавт. (2015). Они определили, что частицы содержимого после выхода из желудка в тонкую кишку имеют сопоставимое распределение при включении 25% и 50% кормов, содержащих крупно измельченную

кукурузу. Это исследование показало, что мышечной желудок способен уменьшать частицы корма до размера менее 0,2 мм, прежде чем они попадут в двенадцатиперстную кишку, и что доля грубых частиц не превышала уровня, который мог бы снизить способность мышечного желудка к тонкому измельчению.

Изучение гранулометрического состава содержимого кишечника показало, что и рацион VCP, и рацион VCPM2 эффективно измельчались в желудке цыплят-бройлеров. Около 10% частиц имели размер свыше 1 мм, что в целом согласуется с предыдущим выводом Svihus и соавт. (1997), которые выявили те же 10% частиц размером более 1 мм при кормлении как цельным, так и измельченным ячменем.

Однако относительная масса желудка не различалась при скармливании птице VCP (полностью гранулированный рацион) и VCPM2 (зерно очень грубого помола, смешанное с гранулами, содержащими мелкие частицы после двух просеиваний). Это свидетельствует о второстепенном значении частиц грубого помола, входящих в состав гранул, как средства стимуляции работы мышечного желудка. У бройлеров, потреблявших гранулированные комбикорма, наблюдалась меньшая масса желудка и кишечного тракта по сравнению с птицей, получавшей рассыпной корм (Engberg, Hedemann и Jensen, 2002; Munt, Dingle и Sumpra, 1995; Nir и соавт., 1994). Возможно, для того чтобы

компенсировать недостаток структурных компонентов в гранулированном корме, бройлеры поедали большее количество помета, который действует как стимулирующий механизм для желудка. Таким образом, добавление крупных частиц зерна к гранулам комбикорма может быть полезным для развития мышечного желудка.

ВЫВОДЫ

Птица хорошо переносила грубую микроструктуру рационов без негативных последствий. Однако снижение продуктивности, отмечаемое в случае смешанных рационов, может быть связано с проблемами в потреблении корма и с избирательным пищевым поведением в отношении крупных частиц, что приводит к дисбалансу в получении питательных веществ. Их переваримость и гранулометрический состав частиц в кишечнике не изменились, бройлеры эффективно справлялись с грубой структурой смешанных рационов благодаря лучшей стимуляции желудка. Таким образом, более крупные частицы потенциально могут улучшить здоровье и продуктивность птицы.

По материалам «British Poultry Science», октябрь, 2024 («Effect of grinding method and extent of pelleting of broiler diets on performance, feeding behavior and digestive tract functionality», S. Dhakal, H. Hetland & B. Svihus). ■

Перевод: Елена Четверова, компания ALB Group



ИНФОРМАЦИЯ

Сегодня развитие отечественного производства кормов для аквакультуры в России становится стратегической задачей. Если до 2022 г. зависимость от импортных кормов для лососевых достигала 90%, то по итогам 2023 г. самообеспеченность увеличилась до 25%, что в 2,5 раза больше, чем в 2021 г.

Согласно данным Росрыболовства, объем производства кормов за январь—август 2024 г. составил 41 тыс. т, превысив аналогичный показатель предыдущего года на 6,6 тыс. т.

К 2027 г. мощность российских предприятий планируется увеличить до более 220 тыс. т в год, а к 2030 г. полностью закрыть потребности рыбохозяйственного комплекса страны. Для достижения этой цели активно вводятся в эксплуатацию новые производства. В 2023 г. заработал завод в Беслане, а в 2024 г. — мощности

в Нижегородской и Курской областях, на которых в сумме будут выпускать 18,5 тыс. т кормов.

Особое внимание привлекает проект АО «Рыбные корма» в Астраханской области. В 2023 г. здесь введена первая очередь завода мощностью 25 тыс. т, ориентированная на производство кормов для форелевых и осетровых рыб. В сентябре 2024 г. началось производство высокоэнергетических кормов для лососевых с содержанием жира до 36%, отвечающих потребностям крупнейших производителей. Проектом предусматривается запуск второй очереди в 2025 г., что увеличит мощность до 50 тыс. т в год. Общий объем инвестиций в предприятие составит 4,4 млрд руб.

Важную роль в развитии отрасли играет государственная поддержка. В 2023 г. введены меры по компенсации 25% капитальных затрат на строи-

тельство и модернизацию предприятий по производству специализированных кормов. Это привлекло новых участников на рынок и стимулировало модернизацию существующих производств.

Рост объемов производства кормов тесно связан с увеличением производства товарной рыбы, которое в 2023 г. составило 402 тыс. т, что на 4,8% больше, чем годом ранее. Основными аквакультурными видами в Российской Федерации остаются лососевые, карповые и осетровые, а также такие гидробионты, как мидии, устрицы и гребешки.

Отечественные корма повышают эффективность рыбоводства, снижая затраты на импорт и обеспечивая высокое качество продукции. Развитие отрасли становится залогом устойчивости российской аквакультуры, что укрепляет ее позиции на внутреннем и внешнем рынках.