

прироста на 8,5 %, стоимость кормовой единицы – на 1,2 %, себестоимость прироста – на 9,6 %.

5. Использование пророщенного зерна ячменя, замоченного в воде, увеличило продуктивность на 2 %, снизило затраты кормов на 1,8 %, себестоимость прироста – на 1,94 %.

Литература

1. Алимов, Т. К. Состав и питательность пшеничных зародышей (обзор) / Т. К. Алимов // Сельское хозяйство за рубежом. – 2000. – № 12. – С. 37.
2. Богданов, Г. А. Кормление сельскохозяйственных животных / Г. А. Богданов. – М. : Колос, 1981. – 420 с.
3. Дергунов, Н. Нетрадиционное скормливание овса телятам до 6-месячного возраста / Н. Дергунов, А. Сухонос, В. Сиротинин // Молочное и мясное скотоводство. – № 7. – 2000. – С. 20-22.
4. Егоров, С. В. Эффективность использования пророщенного зерна для ягнят в подсосный период / С. В. Егоров, С. С. Мегедь, С. М. Фомин // Технологии современного животноводства в условиях Сибири. – Новосибирск, 1999. – С. 80-85.
5. Науменков, А. Н. Содержание витаминов В₁ и В₂ в рационах лошадей / А. Н. Науменков // Витаминное питание сельскохозяйственных животных. – М. : Колос, 1973. – С. 443-448.
6. Околелова, Т. Повышение ценности зерна проращиванием / Т. Околелова, В. Раздуев // Комбикорма. – 1999. – № 2. – С. 36-37.
7. Суханова, С. Ф. Содержание каротина и витамина Е в пророщенном зерне злаков / С. Ф. Суханова // Актуальные проблемы кормления животных в южном регионе Зауралья : сб. науч. тр. – Курган, 1998. – С. 37-42.
8. Суханова, С. Ф. Использование пророщенного зерна злаков жеребятми-отёмышами рысистых пород / С. Ф. Суханова // Научно-технический прогресс и резервы повышения эффективности коневодства России и стран ближнего зарубежья в новых экономических условиях. – М., 1998. – С. 66-68.
9. Pflugfelder, R. L. The role of germination in sorghum reconstitution / R. L. Pflugfelder, L. W. Rooney // Animal Feed Sc. Technol. – 1986. – Vol. 14. – № 3-4. – P. 243-254.

УДК 636.22/.28.084.523.001.57

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНЦЕНТРАТНОГО ПИТАНИЯ ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ СРЕДСТВАМИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЦИОНОВ

А.А. РАЙХМАН, кандидат сельскохозяйственных наук
УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»
А.М. ЛАПОТКО, кандидат сельскохозяйственных наук
Комитет по сельскому хозяйству и продовольствию Минского облисполкома

Реферат. Разработаны принципы моделирования рационов лактирующих коров с учётом реально существующих в республике Беларусь технологий содержания животных и раздачи кормов. Определены основные параметры модели, построенной по прин-

ципу целевого программирования.

Предлагаемая методика учитывает принципы «неделимости» кормовых ресурсов внутри группы объёмистых кормов при раздаче, что делает её практичной для промышленных технологий производства молока. Теоретические аспекты данной работы могут быть положены в основу конструирования типовых рационов для экономических зон с равноценными технологиями заготовки кормов.

Ключевые слова: продуктивность, рационы, моделирование, оптимизация, молочные коровы.

Введение. В решении проблемы ресурсосбережения при производстве молока существенное значение имеет правильное нормирование концентрированных кормов, состоящих, главным образом, из зерна злаковых и бобовых культур. Себестоимость рационов кормления напрямую зависит от уровня включения концентратов. С возрастанием продуктивности увеличивается потребность в энергии и обеспеченности протеином каждой энергетической единицы. Соответственно возрастают требования и к качеству включаемых в рацион объёмистых кормов. При этом общеизвестно, что чем ниже качество объёмистых кормов (по содержанию энергии, протеина и других питательных веществ), тем большее количество концентратов высокого качества нужно включать в рацион [1].

В нашей работе была поставлена задача – разработать такую модель рациона кормления коров, которая, с одной стороны, обеспечила бы оптимальное соотношение кормов при нормативном поступлении основных элементов питания, а с другой стороны – вписывалась бы в технологию раздачи кормов на ферме. Задача решалась средствами программы Solver, входящей в состав пакета прикладных программ MS Office. Модель была построена по принципу многоцелевого программирования. Целевое программирование является расширением линейного программирования, предполагающим наличие системы предпочтений при работе как минимум с двумя или несколькими целями. Это именно та ситуация, когда требуется довести несколько целей одновременно хотя бы до минимально удовлетворительных уровней. Цели имеют разный уровень значимости, а система предпочтений определяется человеком на эвристическом уровне через его интуицию [3, 4].

Материал и методика исследований. В нашем случае главной целью было сбалансировать рационы по обменной энергии, ориентируясь на её концентрацию в сухом веществе рациона (КОЭ). Второй по значимости была задача обеспечения достаточного поступления в организм протеина и сахара. При этом учитывалась организация технологического процесса на ферме. В рамках математической модели рациона это обстоятельство выступает в качестве ещё одного дополнительного ограничения. Следовало отыскать такое соотношение кор-

мов, которое оказалось бы наилучшим для различных уровней продуктивности и в то же время оставалось бы технологичным, поскольку не представляется возможным изменять его в рационах каждого отдельного животного. Константным (неизменным) надо считать соотношение кормов в группе травянистых кормов – сено, сенаж, силос. Для некоторых технологий подобное ограничение касается и корнеклубнеплодов, что делает систему ещё менее гибкой. Объясняется это тем, что объёмистые корма, как правило, раздаются мобильными кормораздатчиками и не могут быть распределены между животными в предусмотренных индивидуальными рационами количествах. Организовать дифференцированную раздачу корнеплодов возможно в системе привязного содержания. Таким образом, все корма можно разделить на три группы в зависимости от возможности их раздачи при привязном содержании. Беспривязная же система содержания позволяет варьировать в рамках только двух групп кормов – концентрированных и всех остальных. Однако здесь проще организовать разделение животных по уровню продуктивности, и в этом случае соотношение кормов объёмистой части рациона может оставаться постоянным.

В условиях интенсивного ведения молочного скотоводства в кормлении дойного стада перспективным является использование кормосмесей [2]. Они обеспечивают лучшую поедаемость кормов и высокую переваримость питательных веществ. Использование кормосмесей позволяет автоматизировать процессы приготовления и раздачи кормов. Для более тщательного балансирования рационов в зависимости от продуктивности и стадии лактации рекомендуется разделение животных по группам, что возможно как при беспривязном содержании, так и в поточно-цеховой системе производства молока. Однако далеко не во всех хозяйствах такая возможность существует.

Предлагаемая нами методика, основанная на оптимизационной модели, позволяет рассчитать соотношение кормов, получив требуемую по норме концентрацию энергии, а также сбалансировав рацион по протеину и сахару.

Результаты эксперимента и их обсуждение. За основу был взят традиционный набор кормов, характерный для лучших хозяйств Могилёвской области. По качеству все корма соответствуют стандарту первого класса, а их питательность приближается к лучшим показателям по Могилёвской области. Сюда входит сено среднего качества, сенаж разнотравный, кормовая свекла. Концентратная часть состоит из ячменной дерти и жмыха рапсового, используемого в качестве белковой добавки.

Если усреднить показатели концентрации энергии в зерновых кормах, а затем в сене и сенаже, то получатся следующие данные. КОЭ концентратах в среднем составит 12,48 МДж/кг, а в грубых кормах –

7,89 МДж/кг СВ.

Решив задачу выбора оптимального состава рациона средствами математической модели, получен следующий результат (табл. 1). Соотношение кормов в оптимальном рационе существенно отличается от такового в рационе, полученном через усреднение данных традиционным методом.

Таблица 1

Оптимальный рацион кормления коровы живой массой 500 кг
и удоем 16 кг молока в сутки

Показатели	Кол-во корма, кг	Сухое вещество, кг	ОЭ, МДж	Протеин, г	Сахар, г	Структура, %
Сено клевер-тимофеевка	2	1,66	13,72	106	52	10,45
Сенаж разнотравный	20,68	9,31	71,15	476	476	58,6
Свекла кормовая	13,74	1,65	22,66	124	549	10,38
Ячменная дерть	2,63	2,23	27,56	223	58	14,05
Жмых рапсовый	1,15	1,04	13,05	331	0	6,52
Итого		15,89	148,14	1260	1135	100
Норма		15,80	148,00	1260	1135	100
± к норме		+0,09	+0,14	0	0	0

Так, доля концентратов здесь составляет не более 21 % против 32 % в варианте, рассчитанном без использования средств моделирования. При этом мы получили идеальную сбалансированность по перевариваемому протеину и сахару.

Особенность решения с помощью математической модели заключается в том, что здесь не производится усреднение показателей внутри групп кормов, а наоборот, соотношение выбирается таким образом, чтобы, достигнув первой цели (концентрация энергии), максимально приблизиться ко второй (протеин) и третьей (сахар).

Рацион сбалансирован практически идеально, но остаётся открытым вопрос – насколько адекватно можно использовать одну и ту же кормосмесь из основных кормов для разных уровней продуктивности? Ведь в условиях реальной технологии невозможно обеспечить индивидуальный подход к каждому животному. Исключением можно считать раздачу комбикорма, которая производится во время доения и может быть точно нормирована. С учётом этого был подобран наиболее подходящий математический метод, реализуемый в дальнейшем через информационную компьютерную технологию. Мы исходили из возможности распределения трёх групп кормов при раздаче. Возможно изменение соотношения кормов только между группами, но не внутри их, так как это не технологично. Приведём соотношение кормов в процентах по обменной энергии, при котором достигается нормативная

концентрация её в сухом веществе рациона, при достаточной обеспеченности его протеином и сахаром (табл. 2).

Таблица 2

Соотношение основных групп кормов в рационах коров
в зависимости от продуктивности

Удой, кг/сут.	КОЭ в рационе, МДж/кг СВ	Концентриро- ванные корма, %	Свекла, %	Травянистые корма, %
16	9,315	20,569	10,377	69,054
18	9,510	23,724	11,172	65,105
20	9,705	26,879	11,967	61,155
22	9,900	30,033	12,761	57,205
24	10,095	33,188	13,556	53,255
26	10,290	36,343	14,351	49,306
28	10,485	39,498	15,146	45,356

Такие варианты кормления получены путём решения математической модели рационов, целевая функция которой направлена на минимум расхождения между потребностью в переваримом протеине и его поступлением с кормами. Здесь использовано так называемое нежесткое целевое ограничение. Это же касается и оптимизации по сахару. По этому показателю в модели задано « \geq » (не меньше). Главная же цель достигается введением системного (жесткого) ограничения для соответствия концентрации физиологически полезной энергии этому показателю, рекомендованному нормой кормления [2].

Для интерполяции полученной в модели зависимости можно воспользоваться регрессионными уравнениями, определёнными средствами пакета анализа данных, встроенного в Excel в качестве надстройки:

$$y_1 = -4,67 + 1,58 * x,$$

$$y_2 = +4,02 + 0,40 * x,$$

$$y_3 = +100,65 - 1,97 x,$$

где y_1 , y_2 , y_3 – количества в суточной кормовой даче группы концентратов, свеклы и грубых кормов соответственно;

x – среднесуточный удой молока 4%-ной жирности.

В приведённых зависимостях корма выражены в процентах по обменной энергии, т. е. при подстановке любого значения сумма трёх групп кормов равна 100 %. Для наглядности приведена диаграмма (рис. 1), из которой видно возрастание доли концентратов и снижение грубых кормов при повышении продуктивности животных. Данная система уравнений справедлива для кормов, качество которых приближается к таковому в наших исследованиях. При этом надо учитывать, что при удое более 28 кг в сутки будет недостаточно введения 1,5 кг рапсового жмыха и поэтому следует использовать дополнительные ис-

точники белка. Учитывая рекомендованное ограничение на ввод этого корма, рационы для коров с продуктивностью более 28 кг молока в сутки становятся дефицитными по белку и требуют дополнительного источника протеина, однако такой вариант нами не просчитывался. Включение в концентратную смесь этого корма больше указанного количества нежелательно, так как может привести не только к расстройству пищеварения, но и отрицательно повлияет на качество молока. Кроме того, нет гарантии, что экстраполяция результатов регрессионного анализа, как в сторону возрастания продуктивности, так и в сторону её снижения, даст результаты, адекватные потребностям животного. Найденная нами линейная зависимость существует, предположительно, лишь в известном интервале значений.

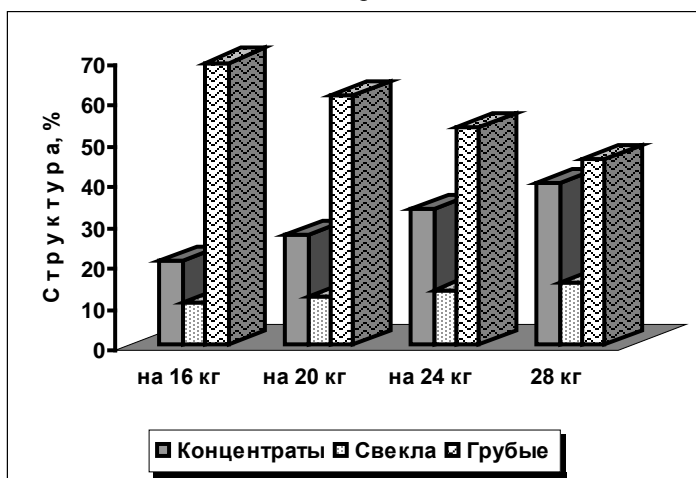


Рис. 1. Соотношение основных групп кормов в рационах коров с разной продуктивностью

Основная идея заключается не в доказательстве целесообразности повсеместного использования рассматриваемых закономерностей, а в принципиальной возможности отыскания требуемого соотношения методом компьютерного моделирования с дальнейшим использованием соответствующей ему регрессионной зависимости для составления рационов для некоторого интервала продуктивности

За счёт правильного распределения кормов удалось обойтись незначительными затратами концентратов, которые включают ячменную дерть и рапсовый шрот. Это возможно при условии, что качество объёмистых кормов взято достаточно высокое и приближается к стандарту первого класса.

Выводы. В решении определенных нами задач выявлены следующие

щие особенности конструирования рационов средствами целевого программирования с учётом технологических ограничений на их структуру:

1. Разработка рационов кормления молочного скота требует обязательного учёта возможностей технологии раздачи кормов. Это определяется степенью приближения к индивидуальному кормлению животных, которое возможно лишь в исключительных случаях. Обычно же раздача объёмистых кормов механизирована и не может обеспечить дифференцированное распределение их между животными на ферме. В большинстве случаев осуществляется усредненная раздача, когда соотношение ресурсов объёмистых кормов в рационе остается неизменным.

2. Применение целевого моделирования делает возможным расчёт оптимума при динамическом распределении кормов внутри групп, тогда как традиционный метод обеспечивает расчёт требуемого по норме показателя КОЭ (концентрацией обменной энергии) только при статическом (неизменном) соотношении кормов объёмистой группы. Это осложняет достижение других целей при оптимизации питания.

3. Обеспечивается максимальное приближение поступления протеина и сахара к нормативному показателю в области допустимых решений, определяемой главным параметром – КОЭ в сухом веществе рациона. Решить такую задачу методом линейного программирования с единственной целевой функцией достаточно сложно. Традиционные же методики (без применения компьютерного моделирования) весьма сложны и доступны только специалистам-математикам при несоизмерных затратах времени.

4. Результат получается одним проходом процедуры оптимизации (при большом количестве итераций, которые скрыты от пользователя, поскольку выполняются в оперативной памяти компьютера), тогда как методика линейного программирования реализуется несколькими проходами, каждый из которых ищет решение в пределах предыдущего. При этом перед каждым очередным проходом необходимо переопределять параметры модели.

5. Применяя алгоритм многоцелевой оптимизации, можно значительно увеличить количество оптимизируемых признаков. Однако после исчерпания ресурсов, затраченных на основные показатели, вторичные могут оказаться вне зоны допустимых решений. В этом случае дальнейшее усложнение (увеличение количества расчётных показателей) окажется бессмысленным.

В реальных условиях производства чаще ставится задача отыскания не «оптимального», а достаточно хорошего решения, максимально эффективного в конкретной ситуации. В любом случае, невозможно полностью уйти от эвристических методов решения производственных

задач составления рационов, основанных на интуиции. Вопрос лишь в том, каким образом приблизить абстрактную модель к реальному положению вещей, оставив специалисту право выбора наиболее целесообразного варианта из некоторого множества допустимых, полученных в процессе моделирования.

6. Теоретические аспекты, изложенные в этой работе, можно использовать для разработки типовых рационов в хозяйствах со сходными технологиями заготовки и раздачи кормов.

Литература

1. Григорьев, Н. В. Оптимизация уровня концентратов крупного рогатого скота // Проблемы и перспективы природопользования : науч. тр. Кировской лугоболотной опытной станции. – Киров, 1999. – С. 84-95.
2. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных : справочник / А. П. Калашников [и др.]. – М., 2003. – 456 с.
3. Экономическое моделирование в Microsoft Excel / Д. Мур [и др.]. – 6-е изд. – М. : Вильямс, 2004. – 1024 с.
4. Charnes, A. Management Models and Industrial Applications of Linear Programming / A. Charnes, W. Cooper. – New York : John Wiley, 1961.

УДК 636.084:519.8

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ РАСЧЁТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПИТАТЕЛЬНОСТИ СИЛОСА

А.Я. РАЙХМАН, кандидат сельскохозяйственных наук

Т.А. МЯСОЕДОВА

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

Реферат. Произведен сравнительный анализ косвенных методов оценки силоса, приготовленного из зелёной массы кукурузы. Подтвердилось предположение о более справедливой оценке корма по регрессионному уравнению, разработанному с учётом содержания основных групп органических веществ по сравнению с использовавшейся менее точной методикой расчета существовавшей ранее.

Ключевые слова: рацион, силос, питательность, кормовая единица, концентрация энергии.

Введение. Одним из наиболее ответственных моментов в оценке качества силосованных кормов является метод расчёта их общей питательности, традиционно выражающейся в кормовых единицах. Как известно, самым точным методом расчёта овсяных кормовых единиц считают классический, основанный на расчёте жираотложения по константам, предложенных О. Кельнером в начале XX века. На практике его реализовать крайне сложно из-за большой трудоёмкости опытов по оценке переваримости органических веществ кормов [1, 2]. Косвенные