

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МАКРОНУТРИЕНТНОГО И МИКРОНУТРИЕНТНОГО СОСТАВА НЕКОТОРЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР МЕТОДОМ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

А. Л. Новокшанова, О. А. Шихова, Д. Б. Никитюк

*Ценность зерновых культур рассматривается как с позиций макронутриентного, так и с точки зрения микронутриентного состава и имеет особенно большое значение при обосновании рецептур и проектировании новых поликомпонентных пищевых продуктов. Цель работы состояла в поиске и моделировании достоверных закономерностей между макро- и микронутриентными составляющими некоторых зерновых культур на основе применения методов статистического анализа. Обработка экспериментальных данных выполнена с применением программного пакета для статистического анализа STATISTICA. Для подтверждения общности биосинтетических процессов в растительной клетке анализ абстрагирован от видовых особенностей, сорта растения, агротехнических приемов и пр. Результаты исследования показали, что содержание белка положительно коррелирует с микронутриентным составом исследуемых зерновых культур. С вероятностью не менее 95 % можно ожидать, что при увеличении массовой доли белка в зерновой культуре на 1 % в среднем увеличится содержание калия на 29,583 мг%, кальция – на 3,121 мг%, тиамина (витамина В<sub>1</sub>) – на 0,042 мг%, рибофлавина (витамина В<sub>2</sub>) – на 0,0074 мг%. Полученные достоверные зависимости содержания калия, кальция, тиамина и рибофлавина от массовой доли белка в зерновых культурах могут с успехом использоваться в экспресс оценке их биологической ценности.*

*Ключевые слова: статистический анализ, корреляционно-регрессионный анализ, зерновые культуры, макронутриенты, микронутриенты, белок, калий, кальций, тиамин, рибофлавин.*

### ВВЕДЕНИЕ

Зерновые культуры – важнейшая составляющая растительного пищевого сырья. Благодаря относительно низкой стоимости, по сравнению с пищевым сырьем животного происхождения, зерновые культуры доступны всем слоям населения. Продукты на основе зернового сырья исторически являлись основными в рационе большинства народов.

Ценность зерновых культур рассматривается как с позиций макронутриентного, так и с точки зрения микронутриентного состава. Из макронутриентов это прежде всего углеводы и белки. Микронутриентный состав представлен набором различных витаминов и минералов. Однако при закупках зерновых культур и их переработке, в соответствии с действующей документацией, в качестве показателей, характеризующих состав, оценивают только содержание сухого вещества, золы и протеина [1, 2]. Возможно, это исторически сложившаяся практика – ранжировать пищевое сырье по наиболее ценному ингредиенту. Однако информация о микронутриентном составе злаковых и бобовых культур представляет боль-

шой интерес, поскольку свидетельствует не только о пищевой, но и о биологической ценности этого сельскохозяйственного сырья.

Особенно большое значение придается микронутриентному составу зерновых культур при обосновании рецептур и проектировании новых поликомпонентных пищевых продуктов.

Химический анализ витаминного и минерального состава в различном пищевом сырье, включая зерновые культуры, – это затратные и зачастую длительные процессы. Стандартные методы определения микронутриентного состава, несомненно, являются современными методами исследования. Здесь используются фотометрический и атомно-абсорбционный методы, метод капиллярного электрофореза, пламенно-фотометрический метод и другие [3, 4, 5]. Однако этап пробоподготовки в таких исследованиях самый трудоемкий. Он может включать мокрую или сухую минерализацию анализируемой пробы, выдержку образца при высоких температурах или давлении в течение нескольких часов, приготовление градуировочных растворов, построение графиков и пр. [6, 7, 8]. К тому же достоверные данные можно получить только в

сертифицированных и аккредитованных лабораториях и центрах, где исследование образцов имеет значительную стоимость. Могут быть и другие причины, например, удаленность лабораторного центра от места получения пробы и т. д.

Учитывая, что механизмы накопления сухих веществ в различных зерновых культурах схожи, сделано предположение о возможном существовании взаимосвязей между средневзвешенным макро- и микронутриентным составом зерновых культур без учета их сортовых, сезонных и географических колебаний, а также о возможности выявления этих зависимостей методами математической статистики. Обработка результатов наблюдений методом корреляционно-регрессионного анализа распространена в исследовании экономических данных. Однако практическая значимость данного метода применительно к химико-биологическим исследованиям недооценивается.

В связи с изложенным, **цель работы** состояла в поиске и моделировании достоверных закономерностей между макро- и микронутриентными составляющими некоторых зерновых культур на основе применения методов статистического анализа.

Объектом исследования служил химический состав некоторых зерновых, крупяных и зернобобовых культур, представленный в таблице 1 [9]. Обработка данных выполнена с применением программного пакета для статистического анализа STATISTICA.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты проведенного исследования, содержание белка положительно влияет на микронутриентный состав исследуемых зерновых культур. Усредненные данные о содержании белка, некоторых минералов и витаминов в ряде зерновых, крупяных и зернобобовых культур и результаты их статистического анализа представлены в таблице 1.

Критерии применения метода корреляционно-регрессионного анализа зависимостей предполагают выполнимость условий однородности и нормальности распределения в отношении значений факторных признаков. В нашем случае в качестве факторной переменной был взят показатель содержания белка (%) в зерне.

Таблица 1. Статистические показатели и характеристики положения опытных данных о содержании белка, некоторых минералов и витаминов в зерне

Вид зерновых	Факторная переменная	Зависимая переменная			
	белок, %	калий, мг%	кальций, мг%	витамин В <sub>1</sub> , мг%	витамин В <sub>2</sub> , мг%
Рис круглый	7,5	314	40	0,34	0,08
Греча	10,8	325	70	0,3	0,14
Ячмень	9,3	172	38	0,12	0,06
Пшено	11,5	211	27	0,42	0,04
Кукуруза	10,3	340	34	0,38	0,14
Геркулес	12,3	362	64	0,49	0,11
Горох целый	23,0	731	89	0,9	0,18
Чечевица	24,0	672	83	0,94	0,22
Среднее значение	13,92	417,20	57,40	0,51	0,12
Стандартное отклонение	3,337	200,827	23,040	0,277	0,056
Коэффициент вариации, %	24,0	48,1	40,1	54,0	45,4
Коэффициент асимметрии	0,837	0,750	0,227	0,612	0,211
Коэффициент эксцесса	-1,261	-1,147	-1,874	-1,160	-1,074
Коэффициент корреляции	1,000	0,934	0,858	0,955	0,837

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МАКРОНУТРИЕНТНОГО И МИКРОНУТРИЕНТНОГО  
СОСТАВА НЕКОТОРЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР  
МЕТОДОМ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Полученное в табл. 1 значение коэффициента вариации для данного признака не превышает 33 %, что свидетельствует об умеренной вариации его значений по совокупности наблюдений и достаточной степени ее однородности [10].

Достоверное соответствие эмпирического распределения нормальному закону доказывается при выполнении условия не превышения абсолютного значения показателя асимметрии ( $A_s$ ) и эксцесса ( $Ex$ ) их ошибок репрезентативности в 3 и более раз [11]. Значения ошибок репрезентативности вычисляются по формулам:

$$m_{As} = \sqrt{\frac{6}{n}}, \quad (1)$$

$$m_{Ex} = 2 \cdot \sqrt{\frac{6}{n}}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество наблюдений.

Для факторной переменной по формулам (1) и (2) значения ошибок репрезентативности асимметрии и эксцесса получились равны:

$$m_{As} = \sqrt{\frac{6}{12}} = 0,71; \quad m_{Ex} = 2 \cdot \sqrt{\frac{6}{12}} = 1,41.$$

Утроенные значения ошибок соответственно равны 2,12 и 4,24, значения коэффициентов асимметрии и эксцесса существенно их меньше, а значит, условие достоверной близости распределения значений содержания белка нормальному закону распределения также выполняется.

Таким образом, для данной совокупности наблюдений выполняются все предпосылки применения метода корреляционно-регрессионного анализа.

Значения парных линейных коэффициентов корреляции (табл. 1) указывают на наличие прямой тесной корреляционной зависимости между массовой долей белка и такими минеральными элементами, как калий и кальций, а также витаминами  $B_1$  и  $B_2$ .

На основе моделирования зависимостей в пакете для статистического анализа STATISTICA было установлено, что с увеличением содержания белка в данных зерновых культурах содержание исследуемых минералов достоверно увеличивается. Графически зависимости представлены на рисунке 1. Полученные модели являются статистически значимыми и достоверными на 5%-ном уровне значимости, что подтверждено критериями Стьюдента и Фишера (табл. 2).

Таблица 2. Результаты корреляционно-регрессионного анализа влияния содержания массовой доли белка ( $x$ ) в зерновой культуре на уровень содержания микронутриентов ( $y$ )

Содержание микронутриентов ( $Y$ ), мг%	Уравнение регрессии	F-статистика	p-уровень для F-статистики	Коэффициент детерминации, $R^2$
Калий	$\tilde{y}_x = 29,583x + 5,4031$	54,2	0,0001	0,871
Кальций	$\tilde{y}_x = 3,1206x + 13,961$	22,4	0,0015	0,737
Витамин $B_1$	$\tilde{y}_x = 0,0418x - 0,0685$	83,1	0,00002	0,912
Витамин $B_2$	$\tilde{y}_x = 0,0074x + 0,0203$	18,7	0,0025	0,701

На основании полученных моделей (табл. 1) можно с вероятностью не менее 95 % ожидать, что при увеличении массовой доли белка в зерновой культуре на 1 %:

– содержание калия увеличится в среднем на 29,583 мг%; значение коэффициента детерминации, равное 0,871, указывает на высокое аппроксимирующее качество модели – на 87,1 % изменчивость уровня содержания калия в зерне объясняется массовой долей белка (рис. 1, а);

– содержание кальция увеличится в среднем на 3,121 мг%, при этом значение коэффициента детерминации показывает,

что на 73,7 % изменчивость уровня содержания кальция в зерне объясняется массовой долей белка (рис. 1, б);

– содержание тиамин (витамина  $B_1$ ) увеличится в среднем на 0,042 мг%, значение коэффициента детерминации показывает, что формирование значений уровня тиамин в культуре на 91,2 % объясняется влиянием содержания массовой доли белка (рис. 1, в);

– содержание рибофлавина (витамина  $B_2$ ) увеличится в среднем на 0,0074 мг% и в соответствии со значением коэффициента детерминации на 70,1 % объясняется массовой долей белка (рис. 1, г).

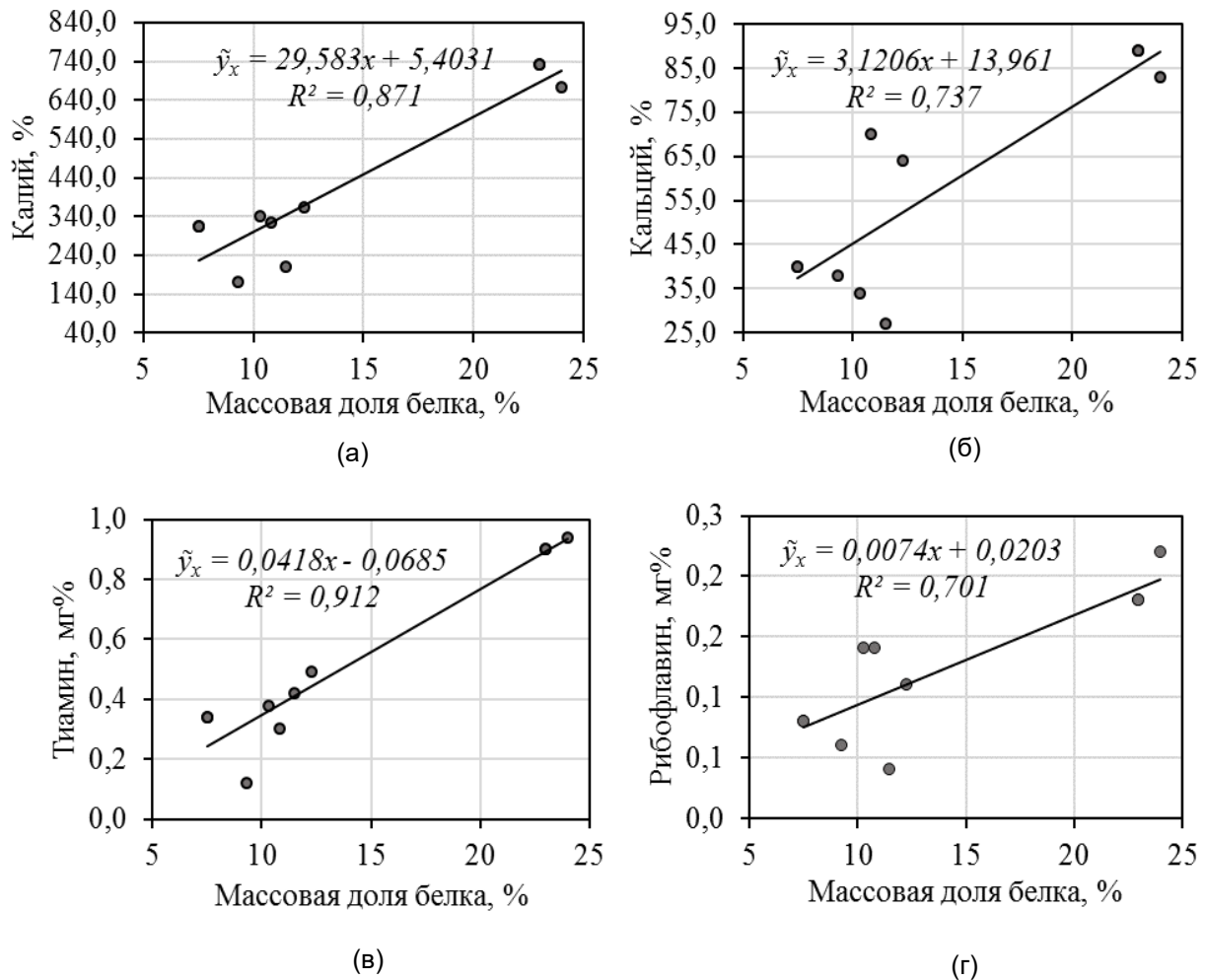


Рисунок 1 – Зависимость содержания микронутриентов от массовой доли белка в зерновых культурах

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С точки зрения физиологии и биохимии растений обменные процессы зависят от множества внешних и внутренних факторов. Однако взаимосвязи, выявленные между содержанием белка, калия, кальция, тиамина и рибофлавина в зерновых, крупяных и зернобобовых культурах, абстрагировано от видовых особенностей, сорта растения, агротехнических приемов и пр. лишь подтверждают общность биосинтетических процессов в растительной клетке.

Считаем, что в результате проведенных исследований получены достоверные зависимости содержания калия, кальция, тиамина и рибофлавина от массовой доли белка в зерне, которые могут с успехом использоваться в экспресс-оценке их биологической ценности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 53903-2010. Кукуруза кормовая. Технические условия. – Дата введения 01.07.2011. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53903-2010>.
2. ГОСТ Р 57543-2017 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира и влаги с применением спектроскопии в ближней инфракрасной области в режиме измерения спектров пропускания. – Дата введения 07.01.2018. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200146242>.
3. ГОСТ 26573.2-2014 Премиксы. Методы определения марганца, меди, железа, цинка, кобальта. – Дата введения 01.01.2016. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200113423>.
4. ГОСТ Р 56374-2015 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли катионов аммония, калия, натрия, магния и кальция методом капиллярного электрофореза. –

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МАКРОНУТРИЕНТНОГО И МИКРОНУТРИЕНТНОГО  
СОСТАВА НЕКОТОРЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР  
МЕТОДОМ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Дата введения 01.01.2016. Режим доступа:  
<http://docs.cntd.ru/document/1200119490>

5. ГОСТ Р 56372-2015 Комбикорма, концентраты и премиксы. Определение массовой доли железа, марганца, цинка, кобальта, меди, молибдена и селена методом атомно-абсорбционной спектроскопии. – Дата введения 01.01.2016. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200119647>

6. ГОСТ 30503-97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Пламенно-фотометрический метод определения содержания натрия. – Дата введения 01.01.1999. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200024416>

7. ГОСТ 27998-88 Корма растительные. Методы определения железа. – Дата введения 01.01.1990. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200024379>

8. Совместное вольтамперометрическое определение железа и меди в кормах и кормовых добавках / В. И. Дерябина [и др.] // Достижения науки и техники АПК, 2013. – №1. – С. 23–25.

9. Тутельян, В. А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания: справочник / В. А. Тутельян. – М.: Делли плюс, 2012. – 284 с.

10. Практикум по статистике: учебное пособие для бакалавров [Электронный ресурс] / О. А. Шихова [и др.]. – Электрон. дан. – Вологда; Молочное: ИЦ ВГМХА, 2013. – 316 с. – Систем. требования: Adobe Reader. – Электрон. версия печ.

публикации. – Режим доступа:  
<http://molochnoe.ru/bookdl/?id=127>.

11. Кремер, Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика [Электронный ресурс]: учебник для студентов вузов, обучающихся по экономическим специальностям / Н. Ш. Кремер. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 551 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=394979>.

**Новокшанова Алла Львовна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии молока и молочных продуктов ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА (Вологда, Россия) e-mail: [alnovokshanova@gmail.com](mailto:alnovokshanova@gmail.com).

**Шихова Оксана Анатольевна** – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры бухгалтерского учета и финансов ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА (Вологда, Россия), e-mail: [oksana-shikhova@yandex.ru](mailto:oksana-shikhova@yandex.ru).

**Никитюк Дмитрий Борисович** - член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией спортивной антропологии и нутрициологии, директор ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия) e-mail: [nikitjuk@ion.ru](mailto:nikitjuk@ion.ru).