

**ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПЕРЕВАРИВАЕМОСТИ БЕЛКОВ ПРИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ИХ С КРАХМАЛОМ В СОСТАВЕ
КРАХМАЛЬНО-БЕЛКОВЫХ СУБСТРАТОВ****Д. С. Касимова, В. А. Алейник, С. М. Бабич, Ш. Х. Хамракулов**

Андижанский государственный медицинский институт, Андижан, Узбекистан

Ключевые слова: пепсин, крахмал, казеин, яичный белок, сывороточный альбумин, взаимодействие, гидролиз, переваривание.

Таянч сўзлар: пепсин, крахмал, казеин, тухум оқи, зардоб албумин, ўзаро таъсир, гидролиз, ҳазм қилиш.

Key words: pepsin, starch, casein, egg white, serum albumin, interaction, hydrolysis, digestion.

В работе изучались *in vitro* факторы влияния на изменение перевариваемости белков при взаимодействии их с крахмалом в составе крахмально-белковых субстратов. В результате исследования установлено, что с увеличением времени совместного присутствия и взаимодействия крахмала с белками отмечается снижение перевариваемости белков и увеличение содержания белков в составе крахмально-белковых субстратов. Данные изменения можно объяснить тем, что с увеличением времени взаимодействия крахмала и белков увеличивается количество крахмально-белковых комплексов, препятствующих гидролизу белков под влиянием пепсина. Кроме того с использованием субстрата, содержащего крахмал совместно с белками с увеличением времени взаимодействия крахмала и пепсина существенно не влияло на перевариваемость белков. Данные изменения показывают отсутствие взаимодействия между крахмалом и пепсином и отсутствии этого взаимодействия на перевариваемость белков под влиянием крахмала. Все это указывает на то, что единственным фактором, препятствующим перевариваемости белков под влиянием крахмала, являются крахмально-белковые комплексы, образующиеся при взаимодействии крахмала и белков.

**КРАХМАЛ – ОКСИЛ СУБСТРАТЛАРИ ТАРКИБИДАГИ КРАХМАЛ БИЛАН ЎЗАРО
ТАЪСИРЛАШГАНДА ОКСИЛЛАРНИ ҲАЗМ ҚИЛИШ ҚОБИЛЯТИНИНГ ЎЗГАРИШИГА
ТАЪСИР ҚИЛУВЧИ ОМИЛЛАР****Д. С. Касимова, В. А. Алейник, С. М. Бабич, Ш. Х. Хамракулов**

Андижон давлат тиббиёт институти, Андижон, Ўзбекистон

Иш крахмал-оксилли субстратлар таркибидаги крахмал билан ўзаро таъсирлашганда оксилларнинг ҳазм бўлишининг ўзгаришига таъсир қилувчи омилларни *in vitro*да ўрганди. Тадқиқот натижасида крахмалнинг оксиллар билан бирга бўлиш ва ўзаро таъсир қилиш вақтининг кўпайиши протеинли субстратлар билан оксилларнинг ҳазм бўлишининг пасайиши ва крахмал таркибидаги оксилларнинг кўпайиши аниқланди. Ушбу ўзгаришларни крахмал ва оксиллар ўртасидаги ўзаро таъсир вақтининг ошиши билан пепсин таъсирида оксилларнинг гидролизланишига тўсқинлик қилувчи крахмал-оксил комплекслари сонининг кўпайиши билан изохлаш мумкин. Бундан ташқари, крахмални оксиллар билан бирга ўз ичига олган субстратдан фойдаланиш, крахмал ва пепсин ўртасидаги ўзаро таъсир қилиш вақтини ошириш оксилларнинг ҳазм бўлишига сезиларли таъсир кўрсатади. Бу ўзгаришлар крахмал ва пепсин ўртасидаги ўзаро таъсирнинг йўқлигини ва крахмал таъсирида оксилнинг ҳазм бўлиши бўйича бу ўзаро таъсирнинг йўқлигини кўрсатади. Буларнинг барчаси крахмал таъсирида оксилларнинг ҳазм бўлишига тўсқинлик қиладиган ягона омил крахмал ва оксилларнинг ўзаро таъсирида ҳосил бўлган крахмал-оксил комплекслари эканлигини кўрсатади.

**FACTORS INFLUENCING THE CHANGE IN THE DIGESTIBILITY OF PROTEINS WHEN THEY
INTERACT WITH STARCH IN THE COMPOSITION OF STARCH-PROTEIN SUBSTRATES****D. S. Kasimova, V. A. Aleinik, S. M. Babich, Sh. Kh. Khamrakulov**

Andijan state medical institute, Andijan, Uzbekistan

The work studied *in vitro* the factors influencing changes in the digestibility of proteins when they interact with starch in the composition of starch-protein substrates. As a result of the study, it was found that with an increase in the time of co-presence and interaction of starch with proteins, there is a decrease in the digestibility of proteins and an increase in the content of proteins in the composition of starch-protein substrates. These changes can be explained by the fact that with increasing time of interaction between starch and proteins, the number of starch-protein complexes that prevent the hydrolysis of proteins under the influence of pepsin increases. In addition, using a substrate containing starch together with proteins, increasing the time of interaction between starch and pepsin did not significantly affect the digestibility of proteins. These changes indicate the absence of interaction between starch and pepsin and the absence of this interaction on protein digestibility under the influence of starch. All this indicates that the only factor preventing the digestibility of proteins under the influence of starch are starch-protein complexes formed during the interaction of starch and proteins.

Актуальность. Пищевые продукты представляют собой сложные системы, включающие несколько уровней структуры и взаимодействий, что затрудняет прогнозирование переваривания отдельных питательных веществ. Совсем недавно, [8] предположили, что

тройное взаимодействие основных макроэлементов, крахмала, белка и липидов, могут иметь решающее значение в поддержании гликемического ответа от крахмалистых продуктов питания. В то время как структурные аспекты бинарных взаимодействий крахмал-белок и/или липидов было исследовано в злаках [1,3,6], знание воздействия на ферменты, восприимчивые к таким взаимодействиям, все еще находится в зачаточном состоянии. На самом деле такие взаимодействия могут контролировать скорость и степень гидролиза макронутриентов, предоставляя возможность понять и предсказать влияние пищевых компонентов на скорость доставки питательных веществ актуальность для лечения нарушений обмена веществ, таких как диабет, ожирение и факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний, таких как циркулирующий холестерин и профили липидов. Чтобы решить эти вопросы, представляли интерес исследования о взаимодействии между всеми тремя макронутриентами и их влиянии на чувствительность к ферментам путем ингибирования специфических ферментов в смешанных ферментных системах с сохранением пищевой матрицы. Это позволяет отслеживать роль каждого отдельного макронутриента на ферментативную чувствительность других макронутриентов и их взаимодействие.

Крахмал и пища всегда являются многокомпонентными системами, поэтому взаимодействие между компонентами иногда важнее, чем физические и химические свойства отдельных компонентов; следовательно, необходимо их понять [5].

Ранее взаимодействия между макронутриентами и взаимозависимость процессов ферментативного гидролиза отдельных макронутриентов в значительной степени игнорировались [2].

Помимо этого, электростатическое комплексообразование белков с полисахаридами может ограничивать их восприимчивость к гидролитическому действию пищеварительных ферментов [7]. Включение белково-полисахаридных комплексов в различные типы пищевых матриц, как ожидается, окажет сильное влияние на их усвояемость, и, таким образом, это следует изучить в будущем, что может быть полезным для модуляции гормональных реакций и аппетита [4].

Цель исследования: изучить факторы влияния на изменение перевариваемости белков при взаимодействии их с крахмалом в составе крахмально-белковых субстратов.

Материал и методы. В работе изучалось *in vitro* влияние предварительного взаимодействия крахмала и белков на изменение содержания белка при воздействии раствора пепсина в составе крахмально-белковых субстратов. При этом использовался крахмал с белком без пред инкубации, крахмал с белком с 30 мин пред инкубацией, и крахмал с белком с 60 мин пред инкубацией. Также исследовали *in vitro* влияние предварительного взаимодействия крахмала и пепсина на изменение содержания белка при воздействии раствора пепсина в составе крахмально-белковых субстратов. В этих условиях использовался крахмал с пепсином без пред инкубации, крахмал с пепсином с 30 мин пред инкубацией, и крахмал с пепсином с 60 мин пред инкубацией. Спектрофотометрическим методом при длине волны 280 нм исследовалось содержание остаточного белка под влиянием пепсина, также содержание остаточного белка в присутствии крахмала под влиянием пепсина, которое выражалось в процентах по отношению содержания белка без влияния пепсина.

Статистическая обработка была проведена методом вариационной статистики с вычислением средних величин и их средних ошибок, определением коэффициента достоверности разности Стьюдента-Фишера (t). Статистически достоверными считали различия при $p < 0,05$ и менее.

Результаты. Из полученных результатов, где изучалось влияние взаимодействия крахмала и казеина на показатели гидролиза казеина под воздействием пепсина (рис. 1), было выявлено, что с применением субстрата, содержащего только казеин под влиянием пепсина, показатель остаточного казеина составлял $64 \pm 5,8\%$. Это было достоверно ($P < 0,001$) ниже по сравнению с аналогичными результатами казеина без воздействия пепсина. При этом под влиянием пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с казеином без пред инкубации, результат остаточного казеина был равен $65 \pm 6,1\%$ по отношению к таковому показателю казеина без воздействия пепсина. Данный результат был существенно выше подобного результата использования в качестве субстрата казеина под влиянием пепсина. В тоже время при воздействии пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с казеи-

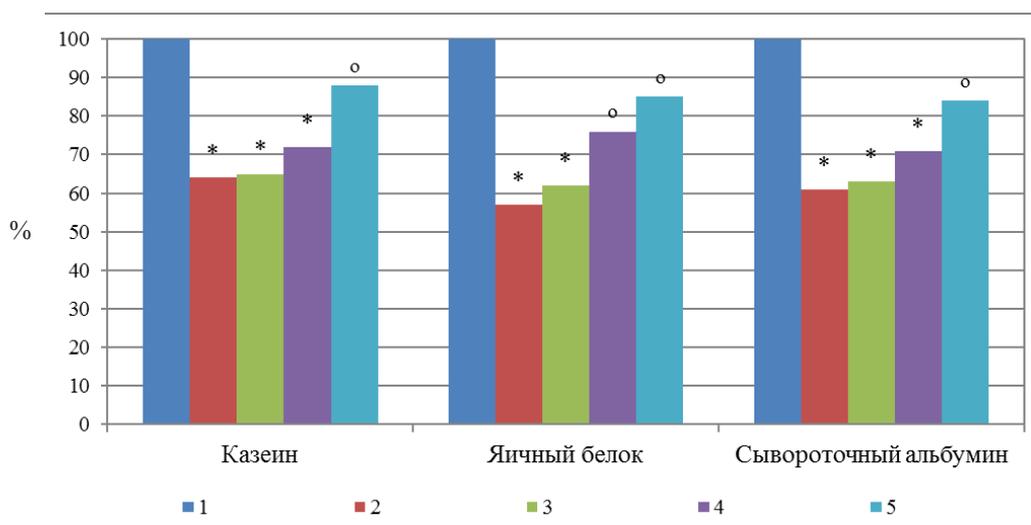


Рис. 1. Исследование изменения содержания белков под влиянием пепсина при использовании в качестве субстрата только белка, а также смеси крахмала и белка. 1- белок, 2 – белок + пепсин, 3 – крахмал + белок без пред инкубации, 4 - крахмал + белок 30 мин пред инкубации. 5 - крахмал + белок 60 мин пред инкубации.

* - достоверно отличающиеся величины изменения содержания белка по отношению к аналогичному показателю использования в качестве субстрата только белка без влияния пепсина.

o - достоверно отличающиеся величины изменения содержания белка по отношению к аналогичному показателю использования в качестве субстрата белка под влиянием пепсина

ном после 30 мин пред инкубации, результат остаточного казеина составлял $72 \pm 6,8\%$ по отношению к подобному результату казеина без влияния пепсина. Представленный показатель был не достоверно выше подобного результата применения в качестве субстрата казеина под воздействием пепсина. Тем не менее, под воздействием пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с казеином после 60 мин пред инкубации, показатель остаточного казеина составлял $88 \pm 8,3\%$ по отношению к аналогичному показателю казеина без воздействия пепсина. Эти изменения были достоверно ($P < 0,05$) выше подобного результата применения в качестве субстрата казеина под воздействием пепсина (рис. 1).

Кроме того было установлено, что влияние взаимодействия крахмала и яичного белка на показатель гидролиза под воздействием пепсина, с применением субстрата, содержащего только яичный белок, его остаточный показатель составлял $57 \pm 5,2\%$. Это было достоверно ($P < 0,001$) ниже по сравнению с аналогичными результатами яичного белка без воздействия пепсина. Вместе с тем под влиянием пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с яичным белком без пред инкубации, результат остаточного яичного белка был равен $62 \pm 5,8\%$, что было не достоверно ($P < 0,001$) ниже по отношению к таковому показателю яичного белка без воздействия пепсина. Данный показатель также был не значительно выше подобного результата использования в качестве субстрата яичного белка под влиянием пепсина. Помимо этого при воздействии пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с казеином после 30 мин пред инкубации, результат остаточного яичного белка составлял $76 \pm 6,9\%$, что было не достоверно меньше в сравнении с результатом яичного белка без влияния пепсина. Данный показатель был также достоверно ($P < 0,05$) выше подобного результата применения в качестве субстрата яичного белка под воздействием пепсина. Вместе с тем, под воздействием пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с яичным белком после 60 мин пред инкубации, показатель остаточного яичного белка составлял $85 \pm 7,9\%$ по отношению к аналогичному результату этого белка без воздействия пепсина результат был не достоверный. В тоже время был существенно и достоверно ($P < 0,01$) выше аналогичного результата применения в качестве субстрата яичного белка под воздействием пепсина (рис. 1).

При изучении полученных данных, где исследовалось влияние взаимодействия крахмала и сывороточного альбумина на показатели его гидролиза под воздействием пепсина (рис. 1). Было выявлено, что с применением субстрата, содержащего только сывороточный альбумин, остаточный показатель этого белка был равен $61 \pm 5,6\%$. Данный результат был

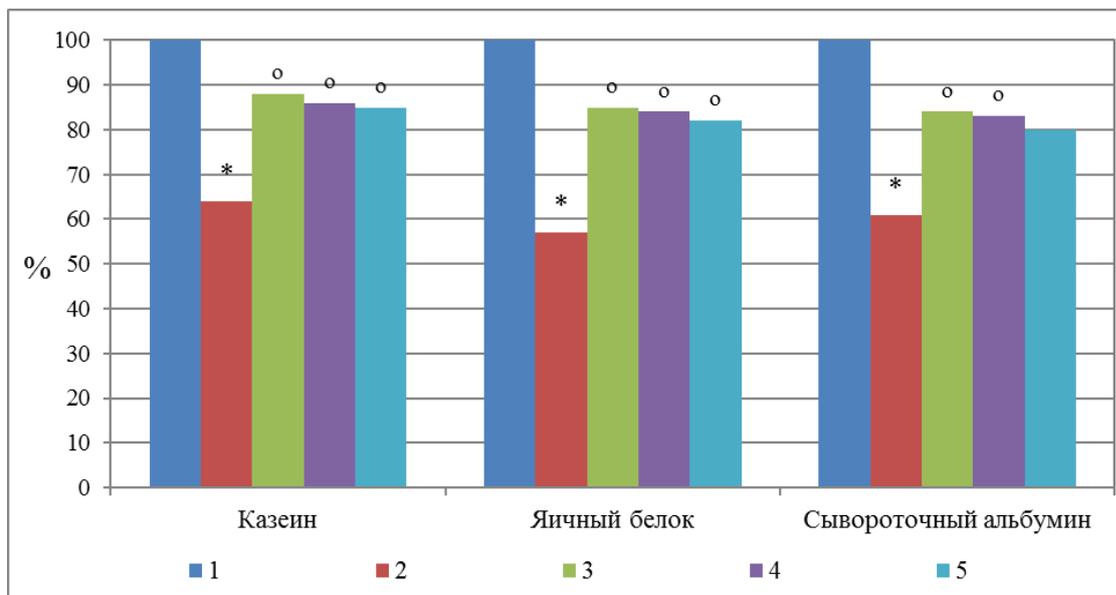


Рис. 2. Исследование изменения содержания белков под влиянием пепсина при использовании в качестве субстрата только белка, а также смеси крахмала и белка. 1- белок, 2 – белок + пепсин, 3 – крахмал + пепсин без пред инкубации, 4 - крахмал + пепсин 30 мин пред инкубации. 5 - крахмал + пепсин 60 мин пред инкубации.

* - достоверно отличающиеся величины изменения содержания белка по отношению к аналогичному показателю использования в качестве субстрата только белка без влияния пепсина.
 o - достоверно отличающиеся величины изменения содержания белка по отношению к аналогичному показателю использования в качестве субстрата белка под влиянием пепсина.

достоверно ($P < 0,001$) ниже по отношению к подобным результатам сывороточного альбумина без воздействия пепсина. Вместе с тем под влиянием пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с сывороточным альбумином без пред инкубации, остаточный результат данного белка составлял $65 \pm 6,1\%$ по отношению к таковому показателю казеина без воздействия пепсина был достоверно ($P < 0,001$) ниже. Также результат был не значительно выше аналогичного показателя применения в качестве субстрата сывороточного альбумина под воздействием пепсина. Помимо этого при влиянии пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с сывороточным альбумином после 30 мин пред инкубации, остаточный результат этого белка был равен $71 \pm 6,6\%$ и достоверно ($P < 0,05$) ниже по сравнению с аналогичными данными сывороточного альбумина без влияния пепсина. Данный показатель был не достоверно больше сходного результата использования в качестве субстрата сывороточного альбумина под влиянием пепсина. В тоже время, под действием пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с сывороточным альбумином после 60 мин пред инкубации, остаточный результат данного белка составлял $84 \pm 7,8\%$ и был не достоверно ниже по сравнению с подобным показателем сывороточного альбумина без воздействия пепсина. При этом данные изменения были достоверно ($P < 0,05$) выше результата использования в качестве субстрата сывороточного альбумина под воздействием пепсина (рис. 1).

В результате проведенных исследований, где изучалось влияние взаимодействия крахмала и пепсина на показатель гидролиза казеина под воздействием пепсина (рис. 2), было обнаружено, что с использованием субстрата, содержащего только казеин, показатель остаточного казеина составлял $64 \pm 5,8\%$. Это было ниже по сравнению с аналогичными результатами казеина без воздействия пепсина. При этом под влиянием пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с казеином без пред инкубации крахмала с пепсином, результат остаточного казеина составлял $88 \pm 8,3\%$ по отношению к таковому показателю казеина без воздействия пепсина. В тоже время при воздействии пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с казеином, после 30 мин пред инкубации крахмала с пепсином, показатель остаточного казеина составлял $86 \pm 8,3\%$. Данный показатель был достоверно ($P < 0,05$) выше подобного результата применения в качестве субстрата казеина под воздействием пепсина, также существенно не отличался от результатов без пред инкубации крахмала с пепсином. Вместе с тем, под воздействием пепсина на субстрат, содержащий крахмал сов-

местно с казеином после 60 мин пред инкубации крахмала с пепсином, результат остаточного казеина был равен $85 \pm 8,1\%$ по отношению к аналогичному результату казеина без воздействия пепсина. Представленные изменения были достоверно ($P < 0,05$) выше аналогичного результата применения в качестве субстрата казеина под воздействием пепсина, а также существенно не отличался от результатов без пред инкубации и 30 мин пред инкубации крахмала с пепсином. (рис. 2).

Помимо этого в проведенных исследованиях, где изучалось влияние взаимодействия крахмала и пепсина на показатель гидролиза яичного белка и сывороточного альбумина под воздействием пепсина отмечались аналогичные изменения как при изучении влияния взаимодействия крахмала и пепсина на показатель гидролиза казеина. Вместе с тем при воздействии пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно как с яичным белком, так и сывороточным альбумином, после 30 мин и 60 мин пред инкубации крахмала с пепсином, остаточные показатели этих белков существенно не отличались от воздействия пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с казеином. Также эти показатели были достоверно выше по отношению к аналогичным результатам без воздействия пепсина.

Обсуждение результатов. Из проведенных результатов исследований было установлено, что с применением в качестве субстрата содержащего только белки, под воздействием пепсина отмечалось достоверное снижение содержания их, по отношению к результату применения белков без воздействия пепсина. При этом под влиянием пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с белками без пред инкубации, остаточный результат остаточных белков был не существенно выше по отношению к подобному показателю белков под воздействием пепсина. В тоже время под влиянием пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с белками при 30 мин пред инкубации результат остаточных белков казеина и сывороточного альбумина был не достоверно и яичного белка достоверно выше по отношению к аналогичному результату белков под воздействием пепсина. Также не достоверно выше результатов влияния пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с белками без пред инкубации. Вместе с тем под влиянием пепсина на субстрат, содержащий крахмал совместно с белками при 60 мин пред инкубации результат остаточных белков был существенно и достоверно выше по отношению к аналогичным результатам белков под воздействием пепсина. Эти изменения показывают с увеличением времени пред инкубации или совместного присутствия и взаимодействия крахмала с белками отмечается снижение перевариваемости белков и увеличение содержание белков в составе крахмально-белковых субстратах. Данные изменения можно объяснить тем, что с увеличением времени взаимодействия крахмала и белков увеличивается количество крахмально-белковых комплексов препятствующих гидролизу белков под влиянием пепсина.

Кроме того при изучении увеличения времени взаимодействия крахмала и пепсина на показатели гидролиза белков под воздействием пепсина, было обнаружено, что с использованием субстрата, содержащего крахмал совместно с белками с увеличения времени взаимодействия крахмала и пепсина существенно не влияло на перевариваемость белков. Это показывает об отсутствии взаимодействия между крахмалом и пепсином и отсутствии этого взаимодействия на перевариваемость белков под влиянием крахмала. Все это указывает на то, что единственным фактором препятствующим перевариваемости белков под влиянием крахмала являются крахмально-белковые комплексы образующиеся при взаимодействии крахмала и белков.

Выводы: Полученные результаты показывают, что с увеличением времени совместного присутствия и взаимодействия крахмала с белками отмечается снижение перевариваемости белков и увеличение содержание белков в составе крахмально-белковых субстратах. Данные изменения можно объяснить тем, что с увеличением времени взаимодействия крахмала и белков увеличивается количество крахмально-белковых комплексов препятствующих гидролизу белков под влиянием пепсина. Кроме того с использованием субстрата, содержащего крахмал совместно с белками с увеличения времени взаимодействия крахмала и пепсина существенно не влияло на перевариваемость белков. Данные изменения показывает об отсутствии взаимодействия между крахмалом и пепсином и отсутствии этого взаимодействия на перевариваемость белков под влиянием крахмала. Все это указывает на то, что единственным фактором, препятствующим перевариваемости белков под влиянием

крахмала, являются крахмально-белковые комплексы, образующиеся при взаимодействии крахмала и белков.

Использованная литература:

1. Annor, G. A., Marcone, M., Bertoft, E., & Seetharaman, K. In vitro starch digestibility and expected glycemic index of kodo millet (*Paspalum scrobiculatum*) as affected by starch-protein-lipid interactions // *Cereal Chemistry*. – 2013. – Т. 90. – №. 3. – С. 211-217.
2. Bhattarai R. R., Dhital S., Gidley M. J. Interactions among macronutrients in wheat flour determine their enzymic susceptibility // *Food Hydrocolloids*. – 2016. – Т. 61. – С. 415-425.
3. Eliasson A. C., Tjerneld E. Adsorption of wheat proteins on wheat starch granules // *Cereal chemistry*. – 1990. – Т. 67. – №. 4. – С. 366-372.
4. Fontes-Candia, C., Jiménez-Barrios, P., Miralles, B., Recio, I., López-Rubio, A., & Martínez-Sanz, M. Development of polysaccharide-casein gel-like structures resistant to in vitro gastric digestion // *Food Hydrocolloids*. – 2022. – Т. 127. – С. 107505.
5. Ledezma C. C. Q. Starch interactions with native and added food components // *Starch in food*. – Woodhead Publishing, 2018. – С. 769-801.
6. Marze S. Bioaccessibility of nutrients and micronutrients from dispersed food systems: impact of the multiscale bulk and interfacial structures // *Critical reviews in food science and nutrition*. – 2013. – Т. 53. – №. 1. – С. 76-108.
7. Mouécoucou, J., Villaume, C., Sanchez, C., & Méjean, L. Effects of gum arabic, low methoxy pectin and xylan on in vitro digestibility of peanut protein // *Food Research International*. – 2004. – Т. 37. – №. 8. – С. 777-783.
8. Parada J., Santos J. L. Interactions between starch, lipids, and proteins in foods: Microstructure control for glyce-mic response modulation // *Critical reviews in food science and nutrition*. – 2016. – Т. 56. – №. 14. – С. 2362-2369.