

К ВОПРОСУ О ЗНАЧЕНИИ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ БЕЛКОВО-ПОЛИСАХАРИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ПРОЦЕССЕ ЖЕЛУДОЧНОГО ПИЩЕВАРЕНИЯ**О. С. Мамажонова, В. А. Алейник, А. Г. Худоярова, С. М. Бабич**

Андижанский государственный медицинский институт, Андижан, Узбекистан

Ключевые слова: Белково-полисахарид, фермент, молочной сыворотка, альгинат, пептиды, β -лактоглобулин, желудочный гидролиз, крахмал, альбумин, казеин, крахмально-белковый комплекс, желудочный сок, гидролиз белков, протеаз желудка.

Таянч сўзлар: Протеин-полисахарид, фермент, зардоб, алгинат, пептидлар, β -лактоглобулин, меда гидролизи, крахмал, альбумин, казеин, крахмал-оқсил комплекси, меда шираси, оқсил гидролизи, ошқозон протеазалари.

Key words: Protein-polysaccharide, enzyme, whey, alginate, peptides, β -lactoglobulin, gastric hydrolysis, starch, albumin, casein, starch-protein complex, gastric juice, protein hydrolysis, stomach proteases.

Изучили влияние желудочного гидролиза белков на образование белково-полисахаридных комплексов. Исследование проводили *in vitro*, в работе использовали желудочный сок, растворы крахмала, казеина, альбумина, а также гидролизаты казеина, альбумина. Сделано заключение, что использование смеси крахмала и казеина или альбумина способствует значительному снижению светопропускания, которое является обратной величиной увеличения помутнения раствора. При этом увеличение помутнения может являться следствием образования крахмально-казеиновых или крахмально-альбуминовых комплексов. В тоже время применение смеси крахмала и гидролизата казеина или гидролизата альбумина способствует более высокому светопропусканию или понижению помутнения раствора, что может являться следствием низкого образования комплексов крахмала и гидролизатов белков. Полученные результаты также демонстрируют, что гидролиз белков пепсинами желудка способствует снижению количества белково-полисахаридных комплексов.

ОШҚОЗОНДА ҲАЗМ ҚИЛИШ ЖАРАЁНИДА ПРОТЕИН- ПОЛИСАХАРИД КОМПЛЕКСЛАРИ ДА-РАЖАСИНИ ПАСАЙТИРИШНИНГ АҲАМИЯТИ**О. С. Мамажонова, В. А. Алейник, А. Г. Худоярова, С. М. Бабич**

Андижон Давлат тиббиёт институти, Андижон, Ўзбекистон

Оқсилларнинг меъда гидролизининг оқсил-полисахарид мажмуаларининг ҳосил бўлишига таъсири ўрганилди. Тадқиқот ўтказилди *in vitro*, меъда шираси, крахмал, казеин, албумин эритмалари, шунингдек казеин ва албумин гидролизатларидан фойдаланилган. Бундан шундай хулоса келиб чиқадики, крахмал ва казеин ёки албумин аралашмасидан фойдаланиш ёруғлик узатишнинг сезиларли пасайишига ёрдам беради, бу эса эритманинг лойқалиги ортишига тескари пропорционал дир. Шу билан бирга, лойқалик ортиши крахмал-казеин ёки крахмал-албумин комплекслари шаклланиши натижасида бўлиши мумкин. Шу билан бирга, крахмал ва казеин гидролизат ёки албумин гидролизат аралашмасидан фойдаланиш крахмал комплекслари ва оқсил гидролизатларининг паст шаклланиши натижасида бўлиши мумкин юкори ёруғлик узатиш ёки эритма паст лойқалик хисса қўшади. Олинган натижалар, шунингдек, ошқозон пепсинлари томонидан оқсилларнинг гидролизи оқсил-полисахарид комплекслари сонининг камайишига ёрдам беради.

THE IMPORTANCE OF REDUCING THE LEVEL OF PROTEIN-POLYSACCHARIDE COMPLEXES IN THE PROCESS OF GASTRIC DIGESTION**O. S. Mamazhanova, V. A. Aleinik, A. G. Khudaiarova, S. M. Babich**

Andijan state medical institute, Andijan, Uzbekistan

The effect of gastric hydrolysis of proteins on the formation of protein-polysaccharide complexes was studied. The study was conducted *in vitro*, gastric juice, starch, casein, albumin solutions, as well as casein and albumin hydrolysates were used in the work. It is concluded that the use of a mixture of starch and casein or albumin contributes to a significant decrease in light transmission, which is the inverse of the increase in turbidity of the solution. Simultaneously, an increase in turbidity may be a consequence of the formation of starch-casein or starch-albumin complexes. Simultaneously, the use of a mixture of starch and casein hydrolysate or albumin hydrolysate contributes to higher light transmission or lower turbidity of the solution, which may be a consequence of the low formation of starch complexes and protein hydrolysates. The obtained results also demonstrate that the hydrolysis of proteins by pepsin of the stomach contributes to a decrease in the number of protein-polysaccharide complexes.

Пищевые белки и полисахариды являются двумя ключевыми структурными элементами пищевых веществ. Как правило, полисахариды могут образовывать различные типы физических комплексов с белками в зависимости от pH, ионной силы и распределения заряда биополимера. Формирование таких комплексов предполагает преобладание коротких сил

притяжения. Белково-полисахаридные взаимодействия могут быть сильными (продолжительными) или слабыми (обратимыми). Физико-химические факторы, такие как pH, ионная сила, отношение белка к полисахариду, полисахарид и заряд белка, а также молекулярная масса, влияют на образование и стабильность таких комплексов [5].

Осаждение представляет собой постоянную проблему для все более широкого применения белково-полисахаридных комплексов, но взаимосвязь между двумя типами фазового разделения не совсем понятна. Обнаружено, что образование комплексов и осаждение – это, по сути, разные явления, реагирующие на разные факторы, но их одновременность (например, с изменением pH) можно спутать с переходами из одного состояния в другое. Образование комплексов не превращается буквально в осадок, а скорее, что и комплексы, и осадок находятся в равновесии со свободным белком и полисахаридом, так что растворение одного и образование другого могут перекрываться во времени [2].

Фактор pH имеет большое значение для реализации многих межмолекулярных взаимодействий, поскольку влияет на ионизацию некоторых функциональных групп биополимерных соединений [1].

Белки обычно чувствительны к гидролизу под действием желудочных пепсинов, но когда они находятся во взаимодействии с полисахаридами, то, возможно, в меньшей степени могут разлагаться, чем свободные белки [4, 6].

Комплексообразование белка и полисахарида вызывает образование нерастворимых и растворимых комплексов, которые могут в различной степени противостоять деградации пепсина [3].

Цель исследования: изучить влияние желудочного гидролиза белков на образование белково-полисахаридных комплексов.

Материал и методы. В работе *in vitro* изучалось влияние белков казеина и яичного альбумина (альбумин) и их желудочных гидролизатов на взаимодействия с крахмалом и образование белково-полисахаридных комплексов. Исследовалась степень образования белково-полисахаридных комплексов по изменению при pH 2-7 и 520 нм светопропускания, соответствующего обратной величине помутнения жидкости, отдельно крахмала (0,2%), казеина (1,0%) и альбумина (1,0%), а также смеси крахмала (0,2%) + казеина (1,0%), крахмала (0,2%) + альбумина (1,0%). Кроме того, изучалось светопропускание совместной смеси крахмала (0,2%) + пепсинового гидролизата, полученного после 30 минутной преинкубации казеина (1,0%) с желудочным соком. Также крахмала (0,2%) + пепсинового гидролизата полученного после 30 минутной преинкубации альбумина (1,0%) с желудочным соком. Смеси крахмала с белками или с гидролизатами белков использовались для определения светопропускания после предварительной совместной 30 минутной их инкубации. Светопропускание при 520 нм определялась в процентах по отношению к светопропусканию воды.

Результаты. На основании полученных результатов изменения уровня светопропускания крахмала, было установлено, что этот показатель при pH 2 составлял $73 \pm 6.9\%$. С увеличением pH уровень светопропускания крахмала незначительно снижался, а при pH 5 достигал минимальных значений и составлял $64 \pm 6.2\%$, что находилось недостоверно ниже результата при pH 2. При дальнейшем увеличении pH отмечалось недостоверное увеличение степени светопропускания, и при pH 7 этот показатель составлял $70 \pm 6.5\%$ (Рис. 1А).

При этом уровень светопропускания казеина при pH 2 составлял $62 \pm 5.7\%$, что было не достоверно ниже результатов крахмала при pH 2. Дальнейшее увеличение pH способствовало снижению уровня светопропускания, и при pH 4 этот уровень составлял $45 \pm 4.1\%$, что было достоверно ниже аналогичного результата крахмала при pH 4. В тоже время при pH 5 величина светопропускания казеина достигала минимальных значений и составляла $45 \pm 4.1\%$, это находилось достоверно ниже подобных данных крахмала. Последующее увеличение до pH 6 вызывало увеличение светопропускания казеина, но этот показатель был достоверно ниже аналогичного результата крахмала. При pH 7 светопропускание казеина также увеличивалось и было недостоверно по отношению к такому же результату крахмала (Рис. 1А).

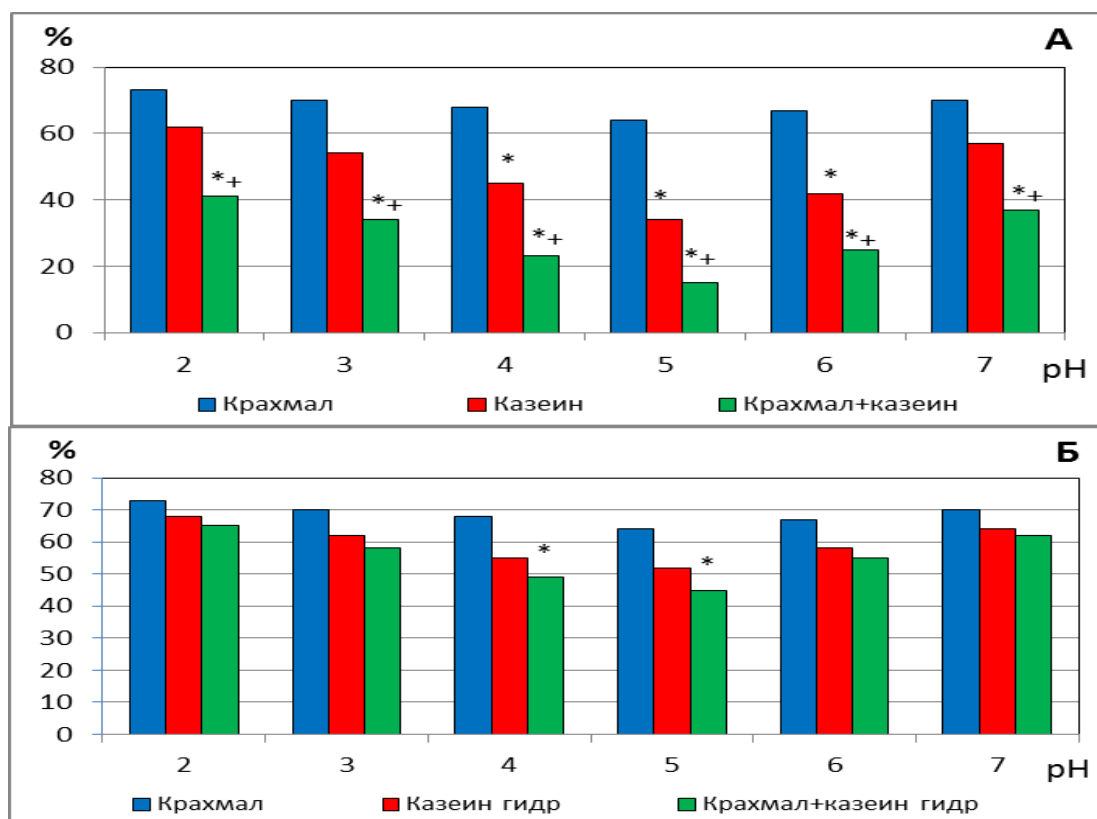


Рис. 1. Исследование светопропускания при различных значениях pH. А - раствора крахмала, казеина и смеси крахмала + казеина. Б - раствора крахмала, гидролизата казеина и смеси крахмала + гидролизата казеина.

* - достоверно отличающиеся величины светопропускания по отношению к крахмалу.

+ - достоверно отличающиеся величины светопропускания по отношению к казеину или гидролизату казеина.

По результатам изучения величины светопропускания смеси крахмала и казеина, при pH 2 показатель светопропускания составлял $41 \pm 3,9\%$, что было достоверно меньше отдельно как крахмала, так и белка. Дальнейшее увеличение pH способствовало дальнейшему достоверному снижению светопропускания смеси крахмала и казеина по отношению отдельно смеси крахмала и белка. При этом при pH 5 было выявлено минимальное светопропускание, составлявшее $15 \pm 1,6\%$. Последующее увеличение pH содействовало достоверному увеличению показателей светопропускания смеси крахмала и казеина, и при pH 7 этот показатель составил $37 \pm 3,9\%$, но этот результат был достоверно ниже аналогичных данных крахмала (Рис. 1А).

Степень светопропускания при pH 2 гидролизата казеина, составляла $68 \pm 7,1\%$, это было незначительно меньше аналогичных результатов крахмала. С увеличением pH уровень светопропускания гидролизата казеина уменьшался и был недостоверно ниже подобных результатов крахмала, а при pH 5 достигал минимального значения и

составлял $52 \pm 5,1\%$, но также недостоверного по отношению к подобным результатам крахмала. При дальнейшем увеличении pH отмечалось недостоверное увеличение светопропускания показателей гидролизата казеина, и эти результаты были недостоверны к таковым результатам крахмала, а при pH 7 показатель составлял $64 \pm 5,9\%$ (Рис. 1Б).

При исследовании уровня светопропускания смеси крахмала и гидролизата казеина, было обнаружено, что при pH 2 наблюдалось незначительно меньшее светопропускание ($65 \pm 6,3\%$), по сравнению с аналогичными показателями крахмала. С увеличением pH величина светопропускания смеси крахмала и гидролизата казеина по отношению к подобным результатам крахмала уменьшалась достоверно при pH 4 ($49 \pm 4,5\%$), и достигала достоверных минимальных значений при pH 5 ($49 \pm 4,5\%$). При дальнейшем увеличении pH отмеча-

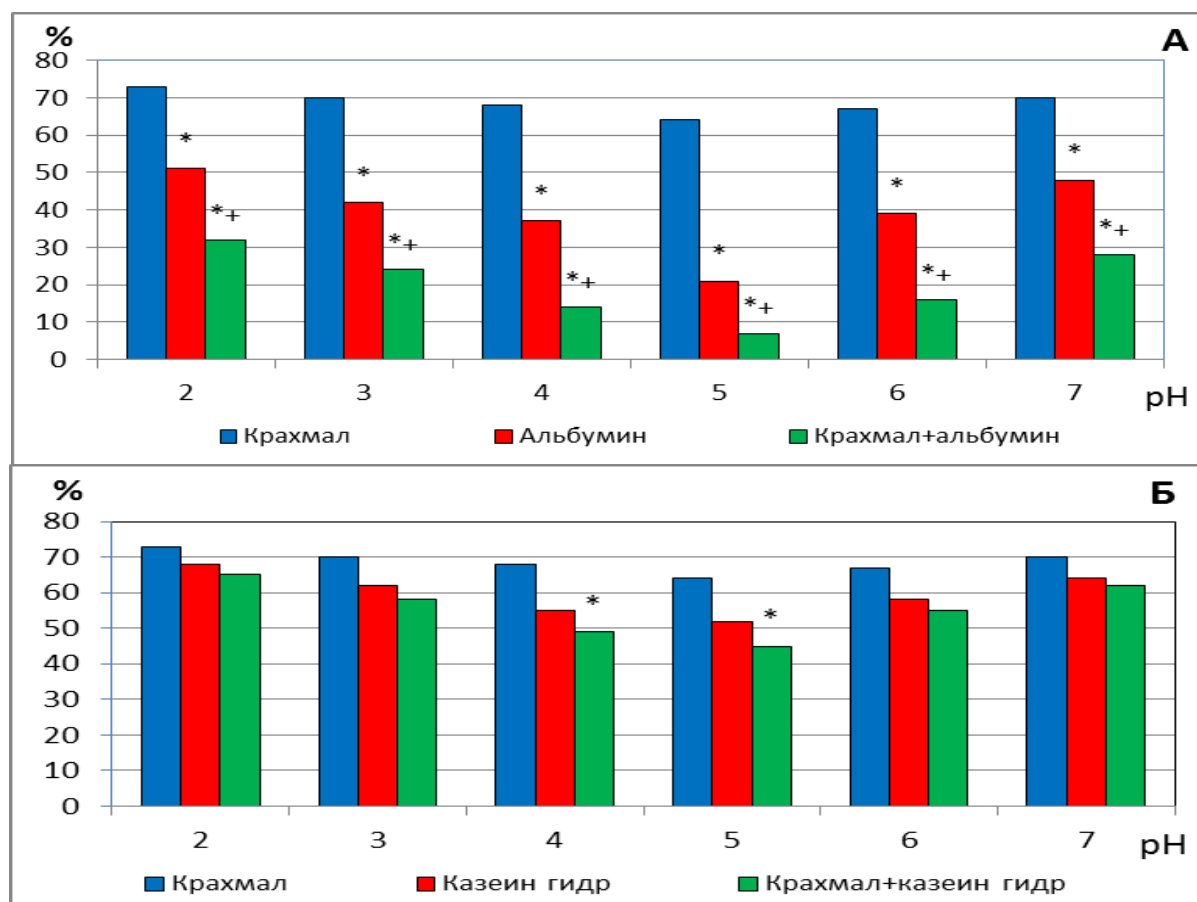


Рис. 2. Исследование светопропускания при различных значениях pH. А - раствора крахмала, альбумина и смеси крахмала + альбумина. Б - раствора крахмала, гидролизата альбумина и смеси крахмала + гидролизата альбумина.

* - достоверно отличающиеся величины светопропускания по отношению к крахмалу.

+ - достоверно отличающиеся величины светопропускания по отношению к альбумину или гидролизату альбумина.

лось недостоверное увеличение светопропускания смеси крахмала и гидролизата казеина, по отношению подобным данным крахмала (Рис. 1Б).

Результат исследования светопропускания альбумина при pH 2 составлял $51 \pm 4,9\%$, что находилось достоверно ниже подобных результатов крахмала. При этом увеличение pH, содействовало уменьшению показателей светопропускания до pH 5, когда этот показатель достигал минимума и составлял $21 \pm 2,4\%$, в тоже время этот результат был значительно и достоверно ниже по отношению к показателям крахмала. Дальнейшее повышение pH способствовало подъему светопропускания альбумина, но эти результаты были достоверно ниже аналогичных показателей крахмала, а при pH 7 составляли $48 \pm 5,1\%$ (Рис. 2А).

При изучении степени светопропускания смеси крахмала и альбумина, при pH 2 уровень светопропускания составлял $32 \pm 3,5\%$, что было достоверно меньше отдельно как крахмала, так и белка. Дальнейшее увеличение pH способствовало дополнительному достоверному снижению светопропускания смеси крахмала и альбумина по отношению отдельно крахмала и белка. При этом при pH 5 было выявлено минимальное светопропускание, составлявшее $7 \pm 0,6\%$. Последующее увеличение pH содействовало достоверному увеличению показателей светопропускания смеси крахмала и альбумина, и при pH 7 этот показатель составил $28 \pm 3,2\%$. Что также было достоверно ниже отдельно как крахмала, так и белка (Рис. 2А).

Из полученных данных обнаружено, что при pH 2 величина светопропускания гидролизата альбумина составляла $65 \pm 6,8\%$ и была незначительно меньше аналогичных результатов крахмала. С увеличением pH уровень светопропускания гидролизата альбумина умень-

шался и был недостоверно ниже подобных результатов крахмала. А при pH 5 достигал минимального значения и составлял $47 \pm 5,0\%$, но достоверно по отношению к подобным результатам крахмала. При дальнейшем увеличении pH отмечалось недостоверное увеличение показателей светопропускания гидролизата альбумина, а при pH 7 составлял $64 \pm 5,9\%$, что было недостоверно к таковым данным крахмала, (Рис. 2Б).

По результатам исследования уровня светопропускания смеси крахмала и гидролизата альбумина при pH 2, отмечалось незначительно меньшее светопропускание, по сравнению с аналогичными показателями крахмала, которое составляло $60 \pm 6,1\%$. Величина светопропускания смеси крахмала и гидролизата альбумина с увеличением pH уменьшалась и была по отношению к подобным результатам крахмала достоверно ниже при pH 4 и pH 5. При этом при pH 5 достигала достоверных минимальных значений и составляла $36 \pm 3,2\%$. Дальнейшее увеличение pH вызывало достоверное увеличение светопропускания смеси крахмала и гидролизата альбумина при pH 6 и недостоверное при pH 7 по отношению подобным данным крахмала (Рис. 2Б).

Обсуждение результатов. Полученные результаты этих исследований показали, что уровень светопропускания крахмала с увеличением pH незначительно снижался, а при pH 5 достигал минимума, и затем увеличивался до максимума при pH 7. В тоже время величина светопропускания казеина имела существенные изменения, с нарастанием кислотности уменьшаясь от pH 2 и достигая минимальных значений при pH 5. Эти изменения светопропускания были ниже, чем аналогичные данные крахмала, а при pH 4 и pH 5 были достоверно меньше результатов крахмала. С последующим нарастанием pH отмечалось увеличение светопропускания и при pH 6 достоверно, а при pH 7 не достоверно было ниже таковых показателей крахмала. При исследовании светопропускания смеси казеина и крахмала, обладающих способностью к образованию белково-полисахаридных комплексов, отмечалось также значительное изменение, которое проявлялось подобной динамикой изменения казеина с нарастанием от pH 2 до pH 7. При этом имелось снижение показателей светопропускания в диапазоне от pH 2 до pH 5 и при дальнейшем нарастании до pH 7 наблюдалось увеличение этих показателей. Тем не менее, все результаты от pH 2 до pH 7 были существенно и достоверно ниже, как показателей крахмала, так и казеина.

Проведенные исследования также показали менее выраженное снижение светопропускания гидролизата казеина, по отношению к таковым результатам крахмала, а также менее выраженное по сравнению с аналогичными результатами казеина. При этом наблюдалось менее выраженное снижение светопропускания смеси крахмала и гидролизата казеина, обладающих способностью к образованию белково-полисахаридных комплексов по отношению к таковым результатам крахмала, а также менее выраженное по сравнению с таковыми результатами смеси крахмала и казеина.

Кроме того, из полученных данных было установлено, что уровень светопропускания альбумина имел значительно выраженные изменения, при этом отмечалось от pH 2 уменьшение светопропускания, которое достигало минимальных значений при pH 5. Все эти изменения светопропускания были также существенно и достоверно ниже результатов крахмала, а также меньше таковых результатов казеина. С дальнейшим увеличением до pH 7 наблюдалось повышение светопропускания, и эти показатели увеличения были достоверно ниже таковых данных крахмала. В тоже время отмечалось значительное изменение светопропускания смеси альбумина и крахмала, обладающих способностью к образованию белково-полисахаридных комплексов, которое проявлялось подобной динамикой изменения альбумина с нарастанием от pH 2 до pH 7. При этом имелось снижение показателей светопропускания в диапазоне от pH 2 до pH 5 и при дальнейшем нарастании до pH 7 наблюдалось увеличение этих показателей. Тем не менее, все результаты смеси альбумина и крахмала от pH 2 до pH 7 были существенно и достоверно ниже, как показателей крахмала, так и смеси крахмала и казеина.

Также полученные результаты показали незначительное снижение светопропускания гидролизата альбумина, в сравнении с аналогичными результатам крахмала, а также ниже по сравнению с подобными результатами гидролизата казеина. Кроме того, отмечалось менее выраженное снижение светопропускания смеси крахмала и гидролизата альбумина, обладающих способностью к образованию белково-полисахаридных комплексов, по отношению к таковым результатам крахмала, а также менее выраженное по сравнению с таковыми результатами смеси крахмала и казеина.

Таким образом, использование смеси крахмала и казеина или альбумина, обладающих способностью к образованию белково-полисахаридных комплексов, способствует значительному снижению светопропускания, которое является обратной величиной увеличения помутнения раствора. При этом можно говорить об увеличении помутнения, что может являться следствием образования крахмально-казеиновых или крахмально-альбуминовых комплексов. В тоже время применение смеси крахмала и гидролизата казеина или гидролизата альбумина способствует более высокому светопропусканию или снижению помутнения раствора, что может являться следствием низкого образования комплексов крахмала и гидролизатов белков. Полученные результаты также демонстрируют, что гидролиз белков пепсинами желудка способствует снижению количества белково-полисахаридных комплексов, которые могут препятствовать гидролизу белков под влиянием пепсинов в желудке.

Выводы: Использование смеси крахмала и казеина или альбумина способствует значительному снижению светопропускания, которое является обратной величиной увеличения помутнения раствора. При этом увеличение помутнения может являться следствием образования крахмально-казеиновых или крахмально-альбуминовых комплексов. В тоже время применение смеси крахмала и гидролизата казеина или гидролизата альбумина способствует более высокому светопропусканию или снижению помутнения раствора, что может являться следствием низкого образования комплексов крахмала и гидролизатов белков. Полученные результаты также демонстрируют, что гидролиз белков пепсинами желудка способствует снижению количества белково-полисахаридных комплексов.

Использованная литература:

1. Курченко, В. П., Алиева, Л. Р., Буткевич, Т. В., & Гавриленко, Н. В. Механизм взаимодействия хитозана с белками молочной сыворотки //Труды Белорусского государственного университета. Серия: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. – 2013. – Т. 8. – №. 1. – С. 45-51.
2. Comert, F., Malanowski, A. J., Azarikia, F., & Dubin, P. L. Coacervation and precipitation in polysaccharide-protein systems //Soft Matter. – 2016. – Т. 12. – №. 18. – С. 4154-4161.
3. Koutina, G., Ioannidi, E., Melo Nogueira, B. M., & Ipsen, R. . The effect of alginates on in vitro gastric digestion of particulated whey protein //International Journal of Dairy Technology. – 2018. – Т. 71. – №. 2. – С. 469-477.
4. Koutina, G., Ray, C. A., Lametsch, R., & Ipsen, R. The effect of protein-to-alginate ratio on in vitro gastric digestion of nanoparticulated whey protein //International dairy journal. – 2018. – Т. 77. – С. 10-18.
5. Schmitt, C., Sanchez, C., Desobry-Banon, S., & Hardy, J. Structure and technofunctional properties of protein-polysaccharide complexes: a review //Critical reviews in food science and nutrition. – 1998. – Т. 38. – №. 8. – С. 689-753.
6. Zhang Z., Zhang R., McClements D. J. Control of protein digestion under simulated gastrointestinal conditions using biopolymer microgels //Food Research International. – 2017. – Т. 100. – С. 86-94.