

Введение Большое распространение в современной пищевой промышленности получили пищевые добавки для улучшения функционально-технологических свойств пищевых продуктов. Среди их большого разнообразия можно выделить крахмал, который очень часто используется в качестве загустителя, а также стабилизатора пищевой массы. Существует большое количество разновидностей крахмалов: рисовый, кукурузный, пшеничный, саговый, тапиоковый, очень большой популярностью пользуется картофельный крахмал из-за низкой температуры клейстеризации [1]. В связи с нестабильным поведением нативного крахмала, проводят его модификацию. Одним из наиболее безопасных способов является модификация с помощью амилолитических ферментов.

Биомодифицированные крахмалы получили широкое применение в изготовлении майонезов средней калорийности. Применение в технологии изготовления майонезов модифицированного пшеничного крахмала снижает его калорийность с 80 до 50% [2]. А также он используется в технологии производства хлебобулочной продукции, для снижения калорийности, придания пористости продукта [3]. Доказано действие пшеничного крахмала на реологические свойства восстановленного гранулированного продукта на основе облепихи [4]. Выявлено, что добавление пшеничного крахмала приводит к увеличению объема тортов, удельного объема пирогов. Кроме того, замедляется процесс черствления, увеличиваются сроки хранения, внесение 10% к массе сырья прежелатинизированного крахмала оказало положительное влияние на качество мучных кондитерских изделий [5]. Модификация заключается в изменении физико-химических свойств нативного крахмала для улучшения его характеристик. Это приобретает особое значение при использовании модифицированных крахмалов в повышенных дозах, в этом случае обеспечивается его утолщение; улучшаются желирующие свойства, адгезия, пленкообразующие характеристики [6]. В настоящее время активно исследуется возможность применения амилолитических ферментов для модификации крахмалов с целью улучшения их технологических характеристик [7, 8, 9].

Большинство ферментов, которые способны воздействовать на крахмал принадлежат к одному семейству, объединенному по гомологии аминокислотной последовательности: α -амилазное семейство или семейство 13 гликозилгидролаз согласно классификации Henrissat [10]. В связи с поиском новых ферментных препаратов бактериального происхождения, целью работы было изучить перспективу применения амилазного препарата *Bacillus licheniformis* для биомодификации пшеничного крахмала. Материалы и методы исследования В качестве объекта исследования выступали пшеничный крахмалы: нативный (ГОСТ Р 53501-2009) и ферментированные амилазой *Bacillus licheniformis*. Ферментацию проводили в течение от 1 до 4 часов, в зависимости от продолжительности ферментации биомодифицированные крахмалы были названы: В1-1, В1-2, В1-3 и В1-4, время ферментации 1, 2, 3 и 4 часа,

соответственно. Модификацию осуществляли в дистиллированной воде при $pH=7,5$. Концентрация крахмала в реакционной смеси 30 г/100 мл. Активность используемой амилазы в реакционной смеси была 8,3 У/г крахмала (для этого добавляли 1 мл к. ж. *Bacillus licheniformis*/100 мл реакционной смеси). Реакцию гидролиза останавливали путем добавления концентрированной серной кислоты до $pH=2$. Затем крахмал отделяли от жидкости фильтрованием и высушивали при 40 оС. Для дальнейших исследований готовили клейстеры крахмалов в концентрации 1% с предварительным завариванием и выдерживанием при 90 оС, 5 мин. Определение вязкости крахмалов. В коническую колбу отобрали 20 мл дистиллированной воды, в части воды (5 мл) развели крахмал массой 0,2 г, а затем оставшиеся 15 мл довели до кипения. Разведенный крахмал осторожно влили в кипяток. После чего смесь остужается до комнатной температуры. Отобрали 5 мл каждого образца крахмального клейстера и измерили массу на аналитических весах, затем на вискозиметре измеряли время истечения крахмального клейстера. Расчет производили по общепринятой формуле. Исследование устойчивости крахмалов к кислотному гидролизу. Для определения устойчивости к кислотному гидролизу использовали 10 мл 1% крахмального клейстера с добавлением 1 мл концентрированной серной кислоты. Смесь инкубировали при 37оС, отбирали пробы на для определения содержания глюкозы в течение 1 ч. Исследование термостабильности крахмалов. Для определения термостабильности крахмальных клейстеров (1% растворы) их подвергали обработки при 80, 100 и 150 оС в течении 30 мин. По окончании 30 мин растворы анализировали содержание глюкозы. Во всех случаях определение количества выделившейся глюкозы проводили антроновым методом [11]. Результаты исследований и обсуждение В результате ферментной обработки показатель вязкости крахмальных клейстеров уменьшился (рис. 1). Причем, наибольшее снижение вязкости наблюдали уже после одночасовой экспозиции фермента с крахмальным раствором. Увеличение времени обработки приводило к дальнейшему снижению этого показателя, но уже с меньшей скоростью. Рис. 1 - Влияние времени ферментации на вязкость пшеничного крахмала После получения ферментно-обработанных крахмалов была изучена их устойчивость к физико-химическим факторам. Исследование устойчивости пшеничных крахмалов к действию минеральной кислоты выявило большую резистентность у крахмалов, прошедших ферментную обработку 1-2 часа. С увеличением времени ферментной обработки устойчивость снижалась, что выражается в большем накоплении глюкозы в процессе гидролиза (рис. 2). Рис. 2 - Динамика накопления глюкозы при действии серной кислоты на пшеничные крахмалы В технологическом процессе при использовании крахмала большое значение имеет его поведение в стадии нагревания. В связи с этим была проведена проверка терморезистентности пшеничных крахмалов. Наибольшая устойчивость к нагреванию при 80оС, так же как и к действию кислоты, была

выявлена у образцов крахмальных клейстеров прошедших одно- и двух часовую ферментную обработку (рис. 3). Обработка при 100 оС повлекла за собой наибольшее выделение глюкозы из крахмалов BL-2, 3 и 4, что может свидетельствовать о высокой степени набухания крахмальных гранул именно при этой температуре и разрыве связей с выделением моносахаридов. Что касается образца BI-1, то выделение глюкозы при 100 оС было меньше, чем при 80 оС, что говорит о более низкой температуре разрыхления и набухания его крахмальных зерен. Критическое увеличение температуры обработки до 150 оС привела к уменьшению концентрации глюкозы в крахмальных клейстерах. Наибольшая устойчивость к воздействию высокой температуры наблюдалось в случае крахмалов с меньшим временем ферментации амилазой. Интенсивное выделение глюкозы в случае крахмала BI-3 и 4 может быть обусловлено более высокой температурой отжига полисахарида как следствие снижения молекулярной массы крахмальных цепей. Количество глюкозы в образце нативного крахмала в этом случае резко снизилось, что, скорее всего, было вызвано процессом отжига крахмальных зерен. Таким образом, с увеличением температуры повышается устойчивость у крахмалов прошедших одно- и двухчасовую ферментную обработку. Рис. 3 – Изменения количества глюкозы после нагревания крахмалов при различных температурах. Таким образом, полученные результаты по исследованию комплексной устойчивости модифицированных крахмалов к физико-химическим факторам показал, что по сравнению с нативным биомодифицированный крахмал, прошедший одночасовую обработку амилазным препаратом *Bacillus licheniformis*, более устойчив. При этом у него наблюдается пониженная температура набухания крахмального зерна. Увеличения времени обработки крахмалов используемым ферментом до 2 и более часов в концентрации 8,3 U/г крахмала приводит к сильному изменению физико-химических свойств, что фатально сказывается на кислотной терморезистентности. Используемый фермент имеет высокую активность, поэтому будет целесообразно для получения крахмалов с измененными свойствами применять его в более низкой концентрации. В перспективе, использование биомодифицированных крахмалов, полученных с помощью мультиферментных препаратов на основе альфа-амилаз, позволит получить безопасные крахмалы для пищевой промышленности.