

УДК 663.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ И ЕГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ И ПОЛНОТУ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА КРАХМАЛА ВОДНО-КАРТОФЕЛЬНОЙ МАССЫ

Колоскова О.В.

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»

E-mail: jkz-85@tut.by

РЕЗЮМЕ

Одним из важнейших технологических процессов при производстве концентрата на основе картофеля (полуфабриката натуральных напитков) является процесс осахаривания картофеля, который заключается в расщеплении высокомолекулярного полимера крахмала с помощью амилолитических ферментных препаратов до низкомолекулярных соединений – сахаров и декстринов. Значительное влияние на процесс осахаривания оказывает предварительная обработка картофеля. В статье представлены результаты исследований по изучению влияния степени измельчения картофеля и его предварительной тепловой обработки на продолжительность и глубину осахаривания крахмала картофеля.

В ходе исследований установлено, что при осахаривании водно-картофельной смеси, полученной из измельченного сырого картофеля, процесс ферментативного гидролиза носит длительный характер. Даже по истечении 5 часов обработки амилолитическими ферментами наблюдается присутствие свободного крахмала в водно-картофельной смеси, который, как предполагается, выделяется из клеток, не разрушенных при измельчении, но разрушающихся при длительном температурном воздействии во время гидролиза.

Установлено, что использование при гидролизе бланшированного картофеля приводит к сокращению продолжительности гидролиза водно-картофельной массы до 60–75 минут.

В ходе исследований зафиксировано, что увеличение коэффициента измельчения картофеля способствует сокращению продолжительности процесса осахаривания.

Ключевые слова: картофель, технология производства концентрата на основе картофеля, гидролиз крахмала, осахаривание, коэффициент измельчения, бланширование

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших технологических процессов при производстве концентрата на основе картофеля (полуфабриката натуральных напитков) является процесс осахаривания, который заключается в расщепление высокомолекулярного полимера крахмала с помощью амилолитических ферментных препаратов до низкомолекулярных соединений – сахаров и декстринов. Глубина гидролиза крахмала оказывает влияние на дальнейшие процессы при производстве концентрата – фильтрацию осахаренной водно-картофельной смеси, накопление ароматических веществ в концентрате при термообработке. Не до конца проведенный процесс ферментативной обработки может привести к содержанию в осахаренной массе некоторого количества высокомолекулярных полисахаридов, которые в дальнейшем могут привести к образованию нагара на поверхности оборудования в процессе упаривания концентрата и термообработки, формированию нерастворимых и плохо растворимых соединений, опалесценции напитков, вырабатываемых на основе концентрата из картофеля.

Значительное влияние на процесс осахаривания оказывает предварительная обработка картофеля. Так как крахмальные зерна локализованы в вакуолях картофельных клеток, без нарушения целостности клеточной стенки амилолитические ферменты не имеют доступа к крахмалу. В связи с этим важным моментом подготовки картофеля к воздействию ферментов является его измельчение с целью высвобождения крахмала. Очевидно, что чем больше крахмала будет доступно для фермента, тем выше будет выход готового продукта. Однако при разрушении картофельных клеток высвобождается не только крахмал, но и другие вещества клеточного сока, также происходит измельчение клеточных стенок, кусочки которых, распределяясь в гидролизуемой смеси, могут изменять доступ ферментов к субстрату. По этим причинам возникла необходимость изучения влияния степени измельчения картофеля на процесс осахаривания.

При производстве концентрата можно использовать сырой картофель, либо прошедший термообработку. Интерес представляет применение бланшированного картофеля. При бланшировании происходят изменения в тканях картофеля – инактивируются ферменты, происходит набухание и клейстеризация крахмала. С бланшированием связывают увеличение прочности клеточных стенок картофеля. При использовании бланшированного картофеля крахмал находится уже в клейстеризованном виде, что делает его доступным для ферментов. За счет увеличения прочности клеточных стенок и срединных пластин при воздействии тепла во время гидролиза не происходит разрушения частиц картофеля на более мелкие кусочки, не образуется сильно разваренной кашицы, которую в дальнейшем сложно разделить на осахаренное сусло и осадок путем фильтрации. Увеличение прочности клеточных стенок картофеля

наблюдается при бланшировании при температуре 50–80°C либо при бланшировании при температуре 60–70°C с последующим охлаждением [1,2].

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод, что интерес представляет исследование процесса гидролиза измельченного до разной степени сырого картофеля, а также картофеля подвергнутого перед измельчением бланшированию и бланшированию с последующим охлаждением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

При проведении исследований использовали доброкачественный продовольственный картофель. Содержание крахмала в используемом картофеле, определенное по методу Эверса [3], составило $15,7 \pm 0,3\%$.

Во время исследований использовали терочные устройства, позволяющие получить картофель с различной степенью измельчения, характеризующейся коэффициентом измельчения картофеля (E). Данный коэффициент характеризует массовую долю разрушенных клеток картофеля, а соответственно и степень извлечения крахмала [3].

Данный коэффициент рассчитывали по формуле [3]:

$$E = \frac{M_c}{M_o} * 100\% \quad (1)$$

где M_c – содержание свободного крахмала в измельченном картофеле (картофельной кашке), %; M_o – общее содержание крахмала в картофеле, %.

Для определения содержания свободного крахмала в измельченном картофеле, навески картофельной кашки, полученные при измельчении на разных терках, тщательно промывали на шелковом сите № 55 или капроновом № 61. Промытую кашку без потерь переносили в мерную колбу на 100 мл. Проводили определение содержания связанного крахмала поляриметрическим методом по Эверсу. Высчитывали содержание свободного крахмала, как разность общего содержания крахмала в картофеле и связанного крахмала в картофельной кашке [3].

В картофельные кашки, полученные с помощью различных терок с известными коэффициентами измельчения из картофеля с определенной крахмалистостью, добавляли воду, чтобы уровнять во всех кашках содержание свободного крахмала.

В ходе предварительных исследований было установлено, что при разведении, позволяющем получить содержание свободного крахмала в гидролизуемой смеси более 7,5%, при низких коэффициентах измельчения во время термообработки происходит значительное увеличение вязкости смеси, что препятствует нормальному протеканию ферментативного гидролиза, а в дальнейшем осложняет процесс фильтрации. В связи с этим

во время исследований содержание свободного крахмала в картофельно-водной смеси доводили до 7,2%.

Количества воды (W), которое необходимо ввести в смесь, определяется из следующих зависимостей:

$$M_{кр} = M_k * \frac{K_u}{100} * \omega_k \quad (2)$$

$$M_{кр} = \left(\frac{M_k}{100} * K_u + W \right) * \omega_{кс} \quad (3)$$

$$\frac{M_k}{100} * K_u * \omega_k = \left(\frac{M_k}{100} * K_u + W \right) * \omega_{кс} \quad (4)$$

$$W = \frac{M_k}{100} * K_u \left(\frac{\omega_k - \omega_{кс}}{\omega_{кс}} \right) \quad (5),$$

где $M_{кр}$ – масса высвобожденного крахмала, г,

M_k – масса картофеля, г

K_u – коэффициент измельчения, %

ω_k – массовая доля крахмала в картофеле,

$\omega_{кс}$ – массовая доля свободного крахмала в гидролизуемой смеси,

W – масса воды (г), которую необходимо добавить к измельченному картофелю, (с известным коэффициентом измельчения) для того, чтобы массовая доля крахмала в водно-картофельной смеси составила $\omega_{кс}$.

Ферментативный гидролиз водно-картофельной смеси проводили на водяной бане при температуре $65 \pm 2^\circ\text{C}$. Для гидролиза использовали ферментные препараты, обладающие α -амилазной и глюкоамилазной активностью: Ликвафло (Дания) и Сан Супер 360 Л (Дания).

Ликвафло – термостабильная бактериальная α -амилаза, которая может работать в широком диапазоне температур от 30°C до 110°C , диапазон pH 4,5–7,0, активность 1400 ед. АС/см³, рекомендуемая норма расхода 0,08–0,16 л на тонну крахмала. В водно-картофельную массу вносили фермент из расчета 224 ед. АС/кг крахмала.

Сан Супер 360 Л – комплексный ферментный препарат, включающий, главным образом, глюкоамилазу, некоторое количество протеазы и грибной кислотоустойчивой α -амилазы. Данный ферментный препарат проявляет достаточную активность при температуре 30 – 65°C , pH 4,0–6,0. Рекомендуемая норма расхода 0,6–0,7 л на тонну условного крахмала. Сан Супер 360 Л вносили в гидролизуемую массу из расчета 252 ед. ГлС/кг крахмала.

Согласно исследованиям А. V. Presečki и др. при совместном применении α -амилазы и глюкоамилазы наблюдается явление синергизма, гидролиз крахмала протекает быстрее, образуются продукты более глубокого распада крахмала, чем при их постадийном внесении в

гидролизуемую смесь, поэтому ферментные препараты вносили в гидролизуемую массу одновременно в виде 10%-ных растворов. [4].

При изучении влияния бланширования, основываясь на литературных данных [1], использовали 2 режима бланширования.

Очищенный картофель нарежали на пластины толщиной 15–25 мм и бланшировали при температуре 70–80°C в течение 7 минут. Далее пластины измельчали на различных терочных устройствах, разбавляли водой до одинакового содержания растворимых сухих веществ.

Еще одну партию картофеля нарежали на пластины толщиной 15–25 мм и бланшировали в течение 7–9 минут при температуре 60–70°C, затем охлаждали водой до 20°C. Пластины измельчали на различных терочных устройствах, разбавляли водой до одинакового содержания растворимых сухих веществ.

Осахаривание водно-картофельной смеси, полученной из бланшированного картофеля, проводили при тех же условиях, что и из свежего картофеля.

Контроль ферментативного гидролиза крахмала осуществлялся методом йодной пробы [3].

Хорошо гидролизованная масса должна иметь желто-коричневый, оранжевый или желтый цвет.

Параллельно определяли содержание сухих веществ в гидролизуемой смеси с помощью рефрактометра.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Было установлено, что имеющиеся в наличии терочные устройства позволяют получить кашку с коэффициентами измельчения 26, 43, 52, 58, 98 %. Как описано выше, из картофельных кашек путем добавления воды были приготовлены водно-картофельные смеси с содержанием свободного крахмала в жидкой фазе 7,2%.

В ходе экспериментальных исследований установлена нецелесообразность применения терочных устройств с коэффициентами измельчения 26 и 43%. Показано, что гидролиз при данных коэффициентах измельчения протекает успешно только при значительном разведении (содержание крахмала не более 3,5%). При таком разведении даже при полном гидролизе крахмала до глюкозы содержание сухих веществ в осахаренной массе составит не более 5,3% (с учетом сухих веществ клеточного сока). Это приведет к увеличению продолжительности упаривания фильтрата осахаренного сусла до конечного содержания сухих веществ 70±2% и к значительному увеличению энергозатрат.

Зависимость содержания сухих веществ в гидролизуемых смесях с различными коэффициентами измельчения картофеля от продолжительности осахаривания представлена на рисунке 1. Для сравнения представлена кривая полученная при осахаривании крахмального клейстера с содержанием крахмала 7,2%.

Наблюдения за процессом осахаривания проводили в течение 300 минут. На рисунке 1 видно, что во всех образцах наибольший рост содержания сухих веществ наблюдается в первые 40–60 минут, что свидетельствует о наибольшей скорости гидролиза крахмала на данном этапе. Дальнейшее ее замедление предположительно связано со снижением концентрации субстрата, а также с накоплением продуктов реакции, оказывающих на фермент ингибирующее действие.

Следует отметить, что во всех образцах кроме раствора крахмала окраска на протяжении 300 минут оставалась синей, что свидетельствует о наличии свободного крахмала в жидкой фазе гидролизуемых смесей.

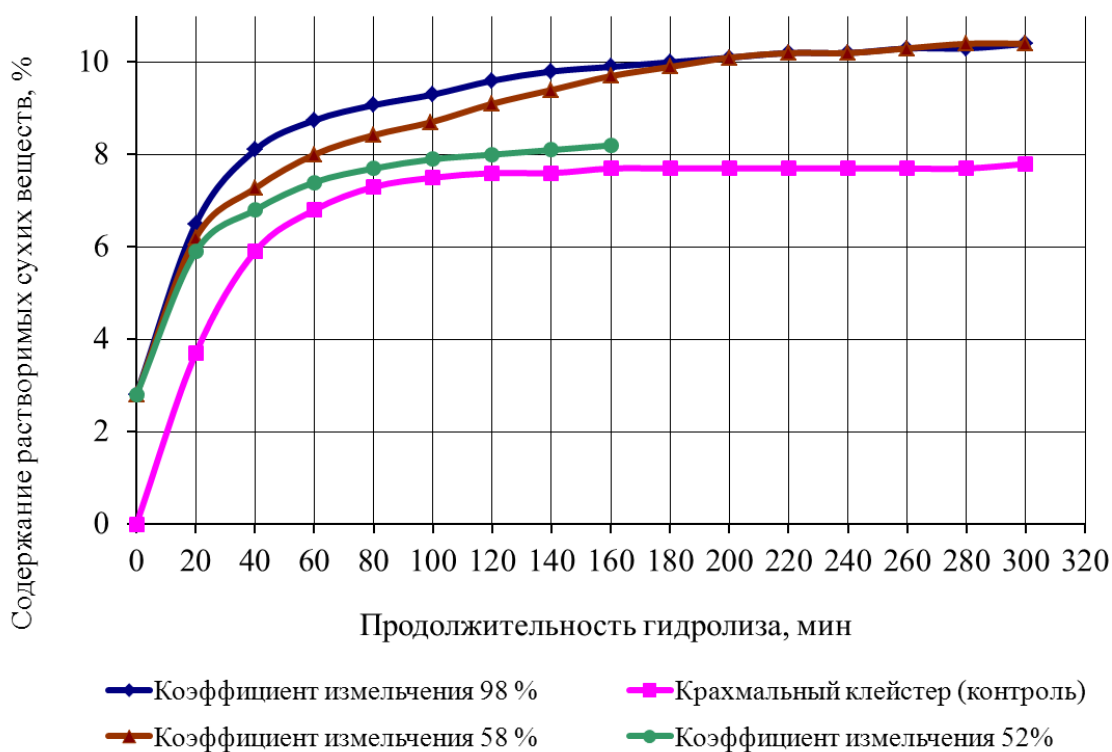


Рисунок 1 – Зависимость содержания растворимых сухих веществ в водно-картофельных смесях и крахмальном клейстере от продолжительности гидролиза

При гидролизе крахмала по истечении 80 минут окраска йодной пробы приобрела темно-коричневый цвет характерный для декстринов: произошла деструкция свободного крахмала. На протяжении всего времени наблюдения продолжался рост содержания растворимых сухих веществ, и, следовательно, процесс осахаривания. Так как масса продуктов полного гидролиза крахмала на 11,1% выше, чем масса гидролизуемого крахмала [5], расчетным путем можно установить, что при полном гидролизе крахмала до глюкозы содержание сухих веществ в исследуемом крахмальном растворе возросло бы до 8,0%. За 300 минут содержание растворимых сухих веществ в крахмальном растворе достигло 7,8%. Светло-коричневая окраска раствора наблюдалась на 100 минуте. При этом содержание сухих веществ составляло 7,5 %.

Проанализировав наблюдения за контрольным образцом, можно предположить, что подобную окраску йодной пробы в водно-картофельных смесях следовало бы ожидать при достижении содержания растворимых сухих веществ в жидкой фазе гидролизуемых водно-картофельных смесей примерно 10,3%, так как содержание сухих веществ клеточного сока в среднем составляло в гидролизуемых смесях 2,8%. Однако при значении растворимых сухих веществ 10,3% в водно-картофельных смесях, содержащих картофель с коэффициентами измельчения 58 и 98%, сохраняется сине-фиолетовое окрашивание йодной пробы. Можно предположить, что под воздействием температуры и механического воздействия при перемешивании нарушается целостность неразрушенных клеток картофеля, высвобождаются новые порции крахмала, что значительно увеличивает продолжительность гидролиза.

При коэффициенте измельчения картофеля 52% вязкость водно-картофельной смеси через 2,5 часа увеличивается настолько, что не удастся определить содержание растворимых сухих веществ с помощью рефрактометра, фильтрация данной смеси осложнена. Необходима большая степень разведения, однако она нецелесообразна с экономической точки зрения.

При гидролизе измельченного бланшированного картофеля наблюдается иная картина (рисунок 2). Деструкция крахмала (отсутствие сине-фиолетового окрашивания йодной пробы) наблюдается через 45–60 минут.

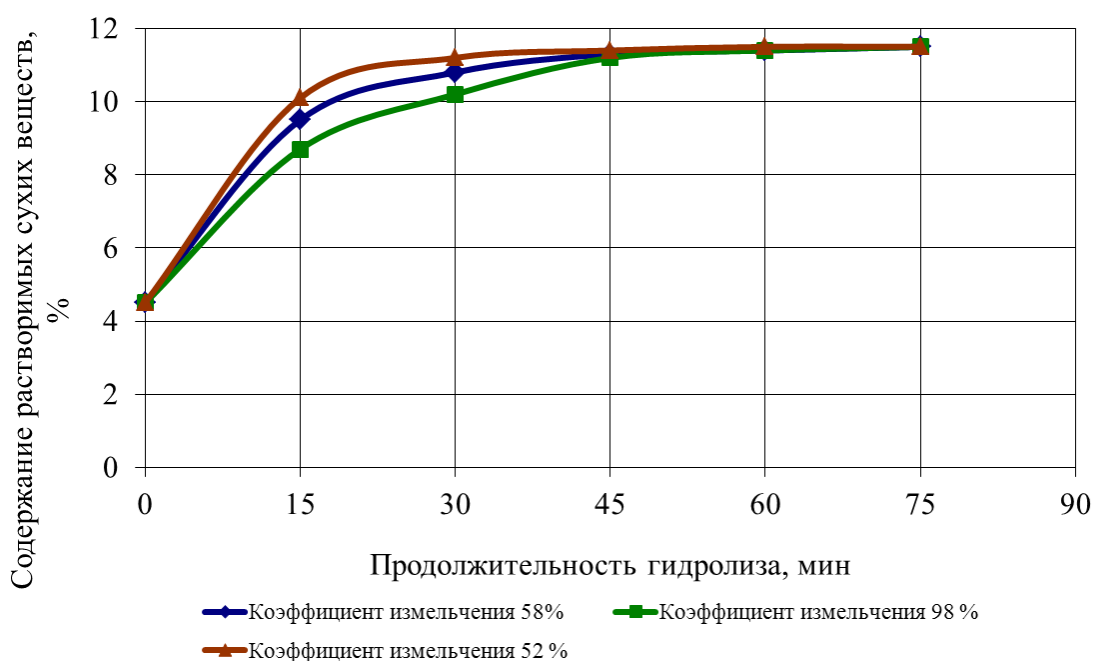


Рисунок 2 – Зависимость содержания растворимых сухих веществ в водно-картофельных смесях из бланшированного картофеля от продолжительности гидролиза

Из образцов бланшированного картофеля, измельченного на различных терочных устройствах и разведенного водой до одинакового содержания сухих веществ, в результате гидролиза были получены осахаренные продукты с примерно одинаковым содержанием сухих веществ.

Это свидетельствует о том, что во время гидролиза не происходит, или происходит незначительно, разрушение клеток картофеля, не разрушившихся во время измельчения.

Из графиков на рисунке 2 видно, что интенсивность роста содержания растворимых сухих веществ в гидролизуемой смеси тем больше, чем выше коэффициент измельчения. При коэффициенте измельчения 98% темно-коричневое окрашивание йодной пробы (отсутствие свободного крахмала в гидролизуемой смеси) наблюдается на 45 минуте, окончание гидролиза (светло-коричневое окрашивание йодной пробы) на 60 минуте. При коэффициентах измельчения 52 и 58% светло-коричневое окрашивание йодной пробы наблюдается на 75 минуте.

Следует отметить, что при использовании бланшированного картофеля с последующим охлаждением наблюдалась аналогичная картина.

Применение бланшированного картофеля позволяет получить водно-картофельные смеси, свободный крахмал которых гидролизуеться до низкомолекулярных соединений. При этом не происходит постоянного увеличения содержания свободного крахмала в гидролизуемой смеси вследствие нарушения целостности неразрушенных в процессе измельчения клеток, что сокращает время необходимое для ферментативного гидролиза свободного крахмала. Увеличение степени измельчения картофеля позволяет сократить время осахаривания картофельной смеси.

Следует отметить, что сокращение времени осахаривания связано и с тем, что крахмал в бланшированном картофеле уже клейстеризован, что делает его доступным для ферментов. В случае использования сырого картофеля некоторое время при достижении оптимальной температуры гидролиза (60–65°C) тратиться на клейстеризацию крахмала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При осахаривании водно-картофельной смеси, полученной из измельченного сырого картофеля, процесс ферментативного гидролиза носит длительный характер. Даже по истечении 5 часов ферментативной обработки наблюдается присутствие свободного крахмала в водно-картофельной смеси, который, как предполагается, выделяется из клеток, не разрушенных при измельчении, и разрушающихся при длительном температурном воздействии. Не до конца проведенный гидролиз может привести к наличию в осахаренной смеси высокомолекулярных соединений, приводящих к увеличению вязкости осахаренного

картофельного сусла и осложняющих процесс фильтрации. Присутствие высокомолекулярных соединений в фильтрате может привести к образованию нерастворимых или плохо растворимых соединений на следующих стадиях технологического процесса производства концентрата из картофеля (упаривания и термообработки), что приведет к образованию нагара на поверхности оборудования, а также снизит коллоидную стойкость концентрата из картофеля и напитков на его основе.

Использование при гидролизе бланшированного картофеля приводит к сокращению продолжительности гидролиза водно-картофельной массы до 60–75 минут.

В ходе исследований было установлено, что увеличение коэффициента измельчения способствует сокращению продолжительности осахаривания.

Литература

1. Andersson, A. Effect of preheating on potato texture / Andersson A. [et al.] // Critical reviews in food science and nutrition – 1994. – V. 34 (3) – P. 229 – 251.
2. Мазур, А.М. Машины и оборудование для переработки картофеля / А.М. Мазур – М: 1999. – 372 с.
3. Технология, технoхимический контроль и учет крахмало-паточного производства / М.Е. Бурман [и др.]. – 3-е изд. – Москва: Пищевая промышленность, 1972. – 411 с.
4. Vrsalović Presečki, A. Starch hydrolysis by the synergistic action of amylase and glucoamylase / A. Vrsalović Presečki [et al.] // New biotechnology, V. 25, Supplement 1, Abstracts of the 14th European Congress on Biotechnology / Taussig, Mike (ed). – Barcelona : Elsevier , 2009. – P.170.
5. Технология крахмала и крахмалопродуктов / Н.Н. Трегубов [и др.]; под общ. ред. Н.Н. Трегубова. – 5-е изд. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 472 с.

INVESTIGATION OF IMPACT OF GRINDING RATIO OF POTATO AND ITS PRE-HEAT TREATMENT ON THE DURATION AND COMPLETENESS OF ENZYMATIC HYDROLYSIS OF POTATO MIXTURE

KOLOSKOVA O.V.

SUMMARY

One of the most important processes in the manufacture of potato-based concentrate (semi-finished beverage) is a process of saccharification. Pre-treatment of potato has a significant impact on the process of saccharification. The article presents the results of studies on the effect of grinding ratio of potato and pre-heat treatment on the duration and depth of the saccharification of potato starch.

It was found that the process of saccharification of water-potato mixture obtained from crushed raw potato is durable. The presence of starch in water-potato mixture was found even after 5 hours of treatment by amylolytic enzymes. It is supposed to be released from the cells destroyed by prolonged exposure temperature.

It was found that the process of saccharification of water-potato mixture obtained from crushed blanched potato is about 60-75 minutes.

It was demonstrated that an increase in the grinding ratio of potato helps to reduce the duration of saccharification process.

Key words: potato, production technology of potato based concentrate, potato starch hydrolysis, saccharification, crushing ratio, blanching

Поступила в редакцию 30.04.2013 г.