

Министерство образования и науки Российской Федерации
Ивановский государственный химико-технологический университет

Н.В. Степычева

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ
ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Учебное пособие

Иваново 2013

Степычева, Н.В.

Научные основы производства продуктов питания: учеб. пособие / Н.В. Степычева; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2013. – 80 с. ISBN 978-5-9616-0475-7

Учебное пособие включает основные положения лекционного курса по дисциплине «Научные основы производства продуктов питания», входящей в вариативную часть профессионального цикла дисциплин направления 260100 «Продукты питания из растительного сырья».

В нём рассмотрены научные основы производства хлеба, макаронных и мучных кондитерских изделий, технологии бродильных производств, консервирования плодов и овощей.

Предназначено для подготовки студентов очной и заочной форм обучения направления 260100 профилей подготовки «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов» и «Технология хлеба, макаронных и кондитерских изделий».

*Учебное пособие выполнено при содействии студентки
группы 4/29 ИГХТУ Рогозиной Елизаветы*

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета.

Рецензенты:

ИЦ «Качество» г. Иваново; кандидат химических наук Т.К. Акаева
(ФГБОУ ВПО Костромской государственный университет)

ISBN 978-5-9616-0475-7

© Степычева Н.В., 2013

© ФГБОУ ВПО «Ивановский
государственный химико-
технологический университет»,
2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное учебное пособие включает основные положения лекционного курса по дисциплине «Научные основы производства продуктов питания», входящей в вариативную часть профессионального цикла дисциплин направления 260100 «Продукты питания из растительного сырья».

Дисциплина «Научные основы производства продуктов питания» является логическим продолжением курса «Введение в технологию продуктов питания», в котором студенты ознакомились с основами технологий производства продуктов питания из растительного сырья. Также дисциплина базируется на результатах изучения дисциплин естественно-научного цикла, в том числе «Биохимия», «Органическая химия», «Химия природных органических соединений», «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» и дисциплин профессионального цикла: «Пищевая химия», «Физико-химические основы и общие принципы переработки растительного сырья». Это одна из основных теоретических дисциплин направления 260100, ибо без знания научных основ технологий пищевых производств невозможны сознательные и эффективные подходы к разработке и организации технологических процессов пищевых производств.

В учебном пособии систематизированы научные и практические основы производства хлеба, макаронных и мучных кондитерских изделий, технологии бродильных производств, консервирования плодов и овощей. При изложении материала была выбрана концепция управления процессами, протекающими на основных стадиях получения продуктов питания из растительного сырья для прогнозирования качества готового продукта. Для этого необходимы знания химических, физико-химических, биохимических, микробиологических и коллоидных процессов, протекающих при производстве данных продуктов, а также влияния этих процессов на качество готовой продукции. Следует отметить, что в условиях применения новых технологий, вариативных свойств сырья, использования новых технологических добавок и улучшителей, внедрения нового поколения оборудования эти знания особенно востребованы.

В результате освоения данного материала обучающийся должен уметь провести анализ физических, химических, биохимических, микробиологических и коллоидных превращений структурных компонентов сырья и использовать полученные знания для управления основными технологическими процессами переработки растительного сырья, выбрать оптимальный режим проведения технологических операций для повышения эффективности производства продуктов питания из растительного сырья и улучшения качества готовой продукции.

Все это имеет существенное научное и практическое значение при подготовке бакалавров-инженеров для современного производства.

Глава 1 НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБА, МАКАРОННЫХ И МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Раздел 1 НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБА

1.1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЫРЬЯ ХЛЕБОПЕКАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1.1.1 МУКА КАК КОМПОНЕНТ ТЕСТА

Мука представляет собой продукт, полученный из зерна путем дробления или размола, в процессе которого ядро зерна (эндосперм) доводится до требуемой крупности помола, а оболочки зерна (отруби) тщательно отделяются. Химический состав муки зависит от состава исходного зерна и сорта муки.

При помоле зерна, особенно сортового, стремятся максимально удалить оболочки и зародыш, поэтому в муке в отличие от зерна содержится меньше пищевых волокон, минеральных веществ, жира, белка, а больше крахмала.

Более высокие сорта муки получают из центральной части эндосперма. Поэтому в их состав входит больше крахмала, но меньше белков, сахаров, жира, минеральных веществ, витаминов, которые сосредоточены в его периферийных частях. Химический состав муки представлен в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Химический состав муки, г на 100 г муки

| Вид и сорт муки | Белки | Сахара | Крахмал | Пищевые волокна | Жиры | Зола | Вода |
|-----------------|-------|--------|---------|-----------------|------|------|------|
| Пшеничная | | | | | | | |
| Высший | 10,3 | 1,6 | 68,5 | 3,5 | 1,1 | 0,5 | 14,0 |
| Первый | 10,6 | 1,8 | 66,7 | 4,4 | 1,3 | 0,7 | 14,0 |
| Второй | 11,6 | 2,2 | 62,0 | 6,7 | 1,8 | 1,1 | 14,0 |
| Обойная | 11,5 | 2,3 | 58,5 | 9,3 | 2,2 | 1,5 | 14,0 |
| Ржаная | | | | | | | |
| Сеяная | 6,9 | 0,7 | 65,3 | 10,8 | 1,4 | 0,6 | 14,0 |
| Обдирная | 8,9 | 0,9 | 60,7 | 12,4 | 1,7 | 1,2 | 14,0 |
| Обойная | 10,7 | 1,1 | 57,2 | 13,3 | 1,9 | 1,6 | 14,0 |

❖ Белковые вещества муки и их свойства

- *Белки пшеничной муки.* В пшеничной муке содержится 10...12 % белков. В муке преобладают простые белки – протеины. Белки муки имеют следующий фракционный состав (%): проламины – 35,6; глютелины – 28,2; глобулины – 12,6; альбумины – 5,2. Таким образом, белковые вещества муки в основном состоят из проламинов и глютелинов. Проламины и глютелины различных злаков имеют специфический состав, свойства и разные названия. Проламины пшеницы и ржи называются глиадином, а глютелин пшеницы –

глютенином. Соотношение глиаина и глютенина в пшеничной муке примерно одинаково.

Ценным специфическим свойством глиаина и глютенина является их способность образовывать клейковину при замесе и короткой отлежке теста. Сырая клейковина – комплекс нерастворимых белковых веществ муки (глиаина и глютенина), способных при набухании в воде образовывать эластичную массу. Глиаиновая и глутелиновая фракции различаются по структурно-механическим свойствам. Масса гидратированного глютенина – резинообразная, коротко растяжимая, упругая. Масса глиаина – жидкая, вязкая, лишенная упругости.

Сырая клейковина получается при отмывании пшеничного теста в воде. Содержание клейковины в муке (%): экстра, высший сорт – не менее 28, крупчатка, 1 сорт – не менее 30, 2 сорт – не менее 25, обойная – не менее 20.

Сырая клейковина содержит 30...35 % сухих веществ и 65...70 % влаги. Сухие вещества (СВ) клейковины на 80...85 % состоят из белков и на 15...20 % из различных веществ муки (липидов, углеводов и др.), с которыми глиаин и глутенин вступают в реакцию. В состав клейковинного белка входят 19 аминокислот, из незаменимых аминокислот преобладают лизин и треонин.

- *Белки ржаной муки.* Общее содержание белковых веществ в ржаной муке несколько ниже, чем в пшеничной (7...11 %). Однако пищевая ценность белков выше, т.к. в них содержится больше незаменимых в питании аминокислот, особенно лизина. Ржаная мука отличается от пшеничной тем, что содержит много водорастворимых белков – альбуминов (около 36 % от общей массы белковых веществ) и солерастворимых – глобулинов (около 20 %). Проламиновая и глутелиновая фракции ржаной муки значительно ниже по массе и в обычных условиях клейковину не образуют. Характерным для белков ржи является их способность к быстрому и интенсивному набуханию с последующей неограниченной пептизацией с образованием жидкой фазы – вязких коллоидных растворов, в которых вкраплены зерна крахмала, частицы ограниченно набухшего белка, частицы оболочек.

- *Свойства белков*

⇒ *Гидратация.* Белки связывают воду, т.е. проявляют гидрофильные свойства. При этом они набухают, увеличивается их масса и объем. Количество воды, связанной белками, может превосходить их по массе в 2...3 раза. Оптимальная температура для набухания белков клейковины 30 °С. Белки могут связывать воду адсорбционно (это та влага, которая удерживается на внешней поверхности мицелл) и осмотически (это та влага, которая находится во внутреннем пространстве мицелл). Нерастворимые в воде белковые вещества муки глиаин и глутенин связывают воду в основном осмотически (3/4 влаги). Осмотическое связывание влаги и вызывает набухание и резкое увеличение объема белков в тесте.

В зависимости от свойств муки возможно ограниченное и неограниченное набухание белков (растворение). У муки с сильной клейковиной почти до конца брожения происходит ограниченное набухание,

при этом свойства теста улучшаются. У муки со слабой клейковиной, наоборот, неограниченное набухание разжижает тесто.

⇒ *Денатурация*. Это сложный процесс, при котором под влиянием внешних факторов (температуры, действия химических реагентов) происходит изменение вторичной, третичной и четвертичной структуры белковой молекулы, т.е. ее пространственной структуры. При этом первичная структура, следовательно, и химический состав белка не меняется. Необратимая денатурация белка происходит при выпечке хлеба, при этом белки денатурируются полностью, свернувшийся белок образует прочный каркас, закрепляющий форму изделия.

⇒ *Гидролиз*. В присутствии воды под влиянием протеаз – ферментов, катализирующих гидролитическое расщепление белков, последние распадаются на более простые (полипептиды, три- и дипептиды) и в конечном итоге на аминокислоты. Этот процесс носит название протеолиз белков. Частичный протеолиз белка мы наблюдаем при тестоведении. Структура белковой молекулы упрощается, уменьшается ее способность к набуханию, увеличивается растворимость белков. Чем глубже идет эта реакция, тем слабее становится мука.

❖ Крахмал муки и его свойства

Крахмал – наиболее важный по пищевой ценности полисахарид. Он содержится в зернах как запасное, питательное вещество. Содержание крахмала в муке достигает до 70 %. В клетках крахмал образует зерна размером 0,002...0,15 мм. Крахмал – это смесь биополимеров двух типов: амилозы и амилопектина. Количественное соотношение амилозы и амилопектина в крахмале различных злаков составляет 1:3 или 1:3,5. Амилоза образует внутреннюю часть крахмального зерна. Отличается от амилопектина меньшей молекулярной массой и более простым строением молекулы. Молекула амилозы состоит из 300...6000 остатков глюкозы, образующих прямые цепи. Амилопектин составляет наружную часть крахмального зерна. Молекула имеет разветвленное строение и содержит от 5000 до 6000 остатков глюкозы. В горячей воде амилопектин набухает, а амилоза растворяется.

• *Свойства крахмала*

⇒ *Гидратация*. Структура крахмальных зерен кристаллическая, тонкопористая, поэтому он характеризуется значительной адсорбционной способностью. Связывает большое количество воды (в основном адсорбционно) при 30 °С, т.е. температуре теста. В теплой воде зерна крахмала набухают, образуя вязкий коллоидный раствор.

⇒ *Клейстеризация*. Крахмальные зерна при обычной температуре не растворяются в воде. При повышенной температуре крахмал набухает, образуя вязкий коллоидный раствор. При набухании вода проникает в макромолекулы, разрушает водородные связи между молекулами амилозы и амилопектина и

увеличивает объем крахмальных зерен. Этот процесс называется клейстеризацией крахмала. Температура клейстеризации ржаного крахмала составляет 50...55 °С, пшеничного – 62...65 °С. При выпечке хлеба крахмал клейстеризуется, связывая до 80 % влаги, находящейся в тесте, что обеспечивает образование сухого эластичного мякиша хлеба. Во время хранения хлеба крахмальный клейстер подвергается старению, выделяет поглощенную им влагу и переходит в прежнее состояние. Крахмальные зерна при этом уплотняются, уменьшаются в объеме, между ними образуются воздушные прослойки, поэтому черствеющий мякиш становится крошковатым. Ржаной крахмал не только легче подвергается клейстеризации и гидролизу, но и медленно стареет при хранении, что замедляет черствение хлебных изделий.

⇒ *Гидролиз*. В процессе брожения и расстойки часть крахмала под действием амилалитических ферментов подвергается гидролизу. Процесс гидролиза последовательно проходит три стадии: клейстеризацию, разжижение и осахаривание. В результате осахаривания крахмала образуется преимущественно мальтоза. Образование мальтозы необходимо для нормального брожения теста и качества хлеба.

❖ Ферменты

В производстве хлеба большое значение имеют гидролитические и окислительно-восстановительные ферменты. В зернах хлебных злаков ферменты сосредоточены главным образом в зародыше и краевых частях зерна. Ввиду этого в муке высоких выходов ферментов содержится больше, чем в муке низких выходов. Ферментативная активность у разных партий муки одного и того же сорта различна. Повышенная активность ферментов у незрелого, проросшего, морозобоинного зерна и зерна, пораженного клопом-черепашкой. Пониженная активность – у зерна, подвергнутого огневой сушке.

После замеса в полуфабрикатах начинаются ферментативные реакции разложения сложных веществ муки на простые вещества. Активность, с которой происходит разложение нерастворимых веществ муки на более простые водорастворимые вещества под действием ее собственных ферментов, называется автолитической активностью («автолиз» – саморазложение). Автолитическая активность пшеничной и особенно ржаной муки служит важнейшим показателем ее хлебопекарного достоинства. Автолитические процессы в полуфабрикатах при их брожении, расстойке и выпечке должны протекать с определенной интенсивностью. При повышенной или пониженной автолитической активности муки в худшую сторону изменяются структурно-механические свойства теста и характер брожения полуфабрикатов, возникают различные дефекты хлеба. Желательно, чтобы автолитический процесс разложения белков и крахмала теста происходил с определенной, умеренной скоростью. Для того чтобы регулировать автолитические процессы в производстве хлеба, необходимо знать свойства важнейших ферментов муки, действующих на белки и углеводы в процессе приготовления хлеба.

Обычно выделяют в отдельные комплексы ферменты и вещества, на которые они действуют.

Всего подобных комплексов в муке четыре:

- 1) углеводно-амилазный;
- 2) белково-протеиназный;
- 3) липидный, включающий липолитические и липоокислительные ферменты;
- 4) комплекс соединений, обуславливающих потемнение муки.

Кратко рассмотрим роль каждого комплекса ферментов муки.

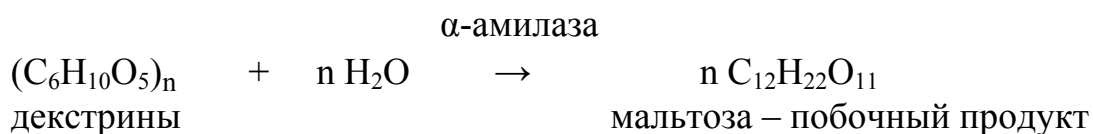
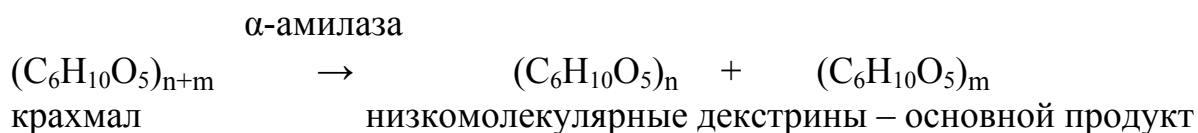
Роль углеводно-амилазного комплекса муки в хлебопечении

| Углеводно-амилазный комплекс | |
|------------------------------|---|
| Субстрат | Углеводы (крахмал) |
| Ферменты | Амилолитические (α - и β - амилазы) |
| Основная реакция | Гидролиз крахмала |
| Значение | С этим комплексом связана сахаро- и газообразующая способность муки |

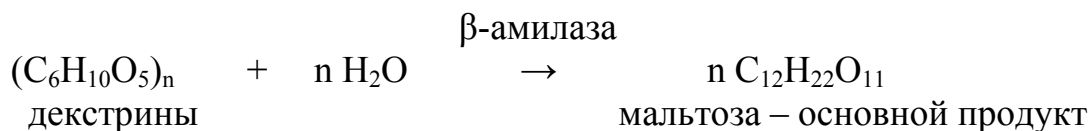
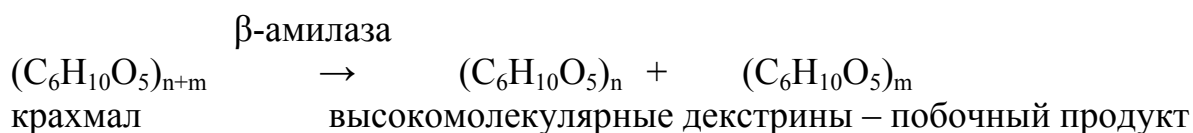
Ферменты: β -амилаза обнаружена в зернах нормального качества, а также в проросших зернах хлебных злаков; α -амилаза содержится только в проросших зернах, некоторое количество обнаружено и в ржаной муке нормального качества.

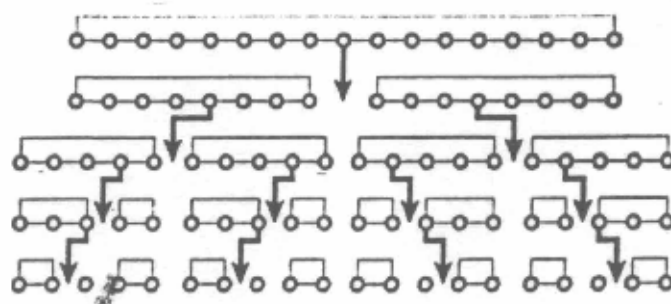
Механизм каталитического действия:

- α -амилаза гидролизует крахмал до декстринов низкой молекулярной массы, при этом образуется немного мальтозы (рис.1.1):

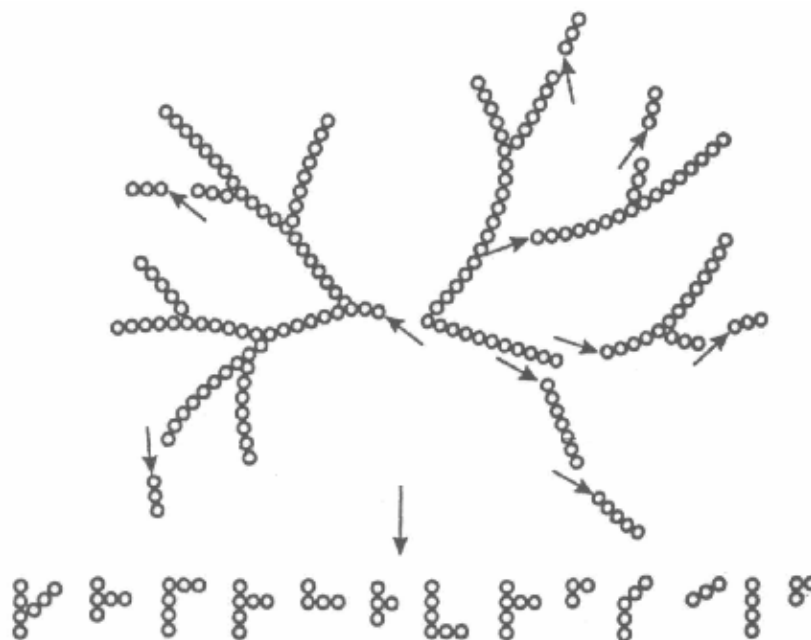


- β -амилаза разлагает крахмал до мальтозы, при этом в качестве вторичного продукта образуются высокомолекулярные декстрины (рис.1.2):





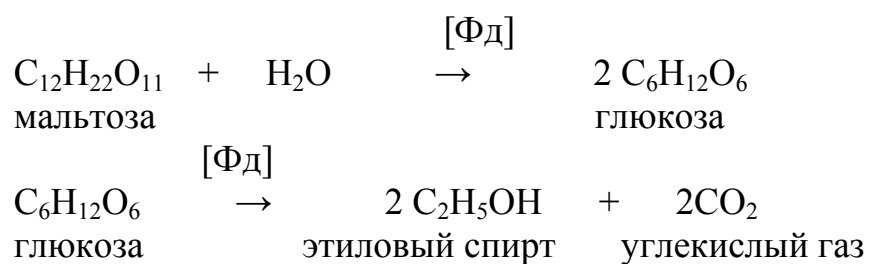
Гидролиз амилозы



Гидролиз амилопектина

Рис. 1.1. Гидролиз крахмала α -амилазой

Мальтоза далее участвует в процессе спиртового брожения, предварительно гидролизуясь ферментами дрожжей до глюкозы:



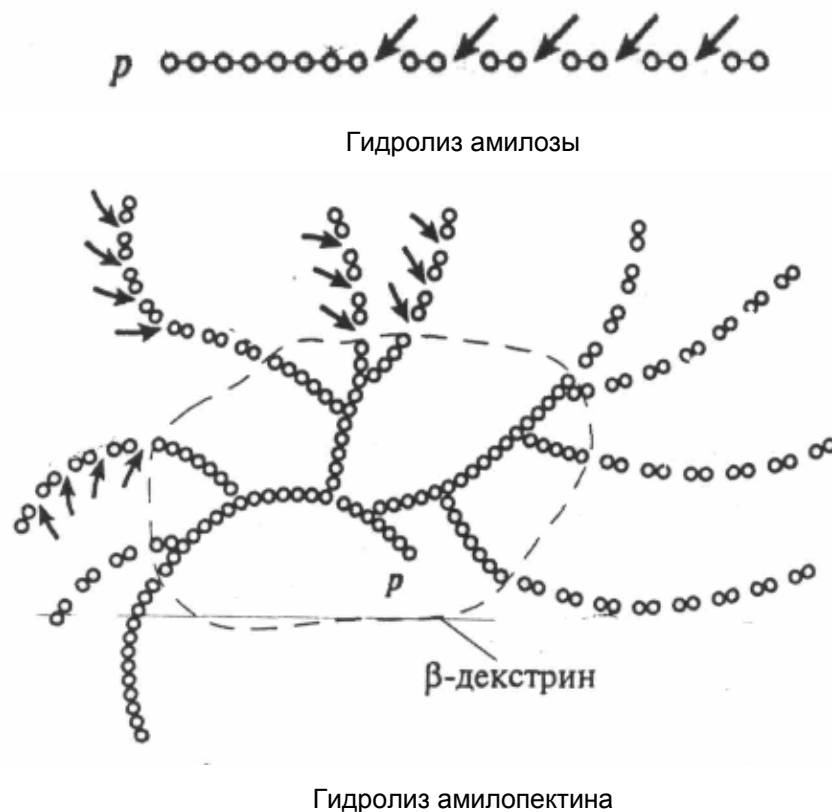


Рис. 1.2. Действие β -амилазы на крахмал

Технологическое значение амилаз:

β -амилаза улучшает качество хлеба. Так как собственных сахаров муки не хватает на весь цикл брожения полуфабрикатов (они сбраживаются в первые два часа брожения), то образование из крахмала под действием β -амилазы мальтозы обеспечивает основной цикл брожения теста.

Фермент α -амилаза ухудшает качество хлеба. Так как этот фермент превращает крахмал в декстрины, а последние плохо набухают в воде, то мякиш с большим содержанием декстринов становится липким и сыропеклым даже при нормальной влажности хлеба. Низкие хлебопекарные свойства муки из проросшего зерна обусловлены главным образом наличием активной α -амилазы.

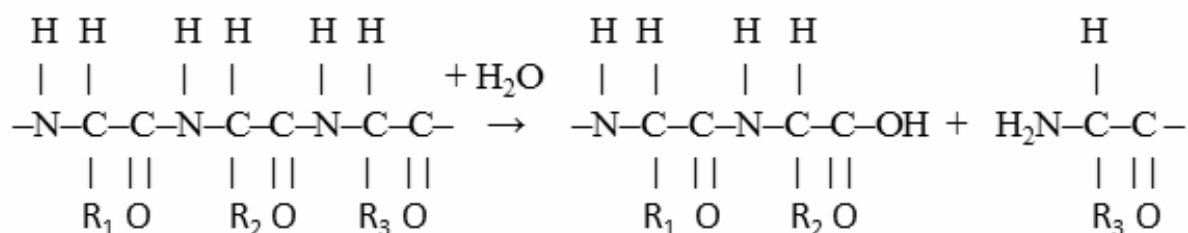
Таким образом, часть крахмала в процессе брожения осахаривается, другая часть, адсорбируя до 25...30 % воды от своей массы, обеспечивает качество выпекаемого хлеба – эластичный сухой мякиш.

Роль белково-протеиназного комплекса муки в хлебопечении

| Белково-протеиназный комплекс | |
|-------------------------------|--|
| Субстрат | Белки |
| Ферменты | Протеолитические (протеиназы) |
| Основная реакция | Гидролиз (протеолиз) белков |
| Значение | С этим комплексом связан основной фактор, определяющий хлебопекарные свойства муки – «сила» муки, которая характеризуется структурно-механическими свойствами теста или клейковины |

Ферменты – протеиназы типа папаин содержатся в зерне и муке разных злаков. Протеиназы из зерна нормального качества мало активны. Повышенная активность протеиназ наблюдается у муки, приготовленной из проросшего зерна, и особенно из зерна, пораженного клопом-черепашкой.

Механизм каталитического действия: при брожении теста протеиназы вызывают частичный протеолиз белков:



Под действием ферментов белок клейковины превращается в пептоны, полипептиды, конечным продуктом реакции являются аминокислоты. Чем глубже идет реакция, тем слабее становится мука.

Технологическое значение протеиназ: в результате действия протеиназ ухудшаются физические свойства клейковины, она становится более слабой, связывает меньшее количество воды (в норме до 200 % от своей массы), вследствие этого ухудшаются свойства теста и качество хлеба. В хлебопечении используется пшеничная мука средняя по силе. В ней в определенной степени должен протекать протеолиз, что позволяет получать хлеб хорошего качества (улучшается пористость и объем хлеба). Однако слишком интенсивный протеолиз (мука, пораженная клопом-черепашкой) отрицательно сказывается на качестве хлеба, тесто быстрее разжижается, хлеб получается расплывшимся с пониженным объемом и пористостью. Для улучшения качества хлеба из такой муки необходимо затормозить в ней протеолиз. Это достигается введением улучшителей окислительного действия, также тормозит протеолиз поваренная соль.

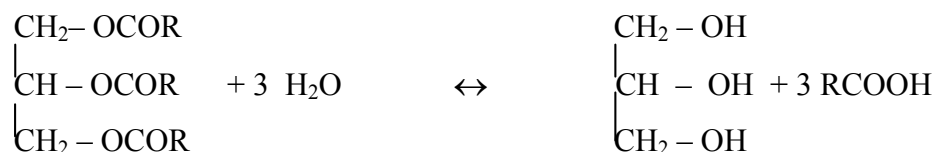
Роль липидного комплекса муки в хлебопечении

| Липидный комплекс | |
|-------------------------|--|
| Субстрат | Липиды (жиры) |
| Ферменты | Липаза, липоксигеназа |
| Основная реакция | Гидролиз жиров, окисление непредельных жирных кислот |
| Значение | При длительном хранении муки за счет этого комплекса происходит прогоркание муки |

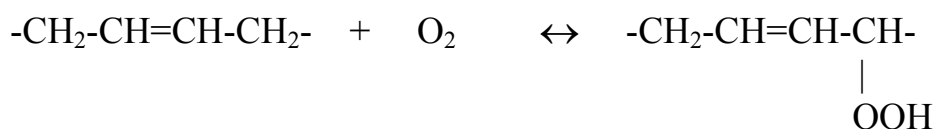
Ферменты: ферменты липаза и липоксигеназа широко распространены в объектах растительного происхождения. Пшеница и пшеничная мука обладают, хотя и сравнительно низкой, но все же практически значимой липоксигеназной активностью. При этом активность липоксигеназы пшеничной муки тем выше, чем выше зольность и содержание белка в ней.

Механизм каталитического действия

Липаза расщепляет жиры муки при хранении на глицерин и свободные жирные кислоты:



Свободные жирные кислоты, в основном ненасыщенные, могут подвергаться дальнейшим превращениям, в частности, окислению кислородом воздуха в присутствии липоксигеназы с превращением их в гидропероксиды:



Гидропероксиды, являясь неустойчивыми и высокоактивными соединениями, образуют альдегиды, кетоны, окиссоединения, которые придают муке неприятный запах и вкус.

Технологическое значение липидного комплекса: при хранении муки в неблагоприятных условиях в липидном комплексе протекают биохимические и физико-химические процессы, связанные с расщеплением триглицеридов, фосфо- и гликолипидов под действием ферментов. В результате образуются продукты, которые придают муке неприятный запах и вкус, вызывая ее прогоркание. Для предотвращения прогоркания муки необходимо инактивировать оба фермента. Для этого зерно перед помолом обрабатывают паром.

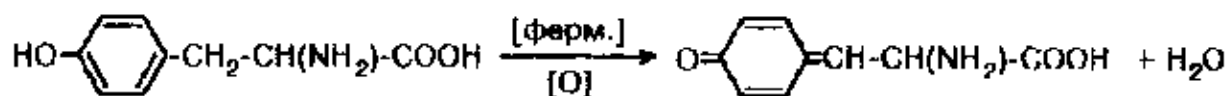
Роль комплекса соединений, обуславливающих потемнение муки

| Комплекс соединений, обуславливающих потемнение муки | |
|--|--|
| Субстрат | Аминокислота – тирозин |
| Ферменты | Полифенолоксидаза |
| Основная реакция | Окисление тирозина |
| Значение | Потемнение мякиша хлеба из сортовой муки |

Фермент полифенолоксидаза содержится главным образом в муке высоких выходов. В пшеничной муке 2 сорта наблюдается большая активность этого фермента, чем в муке высшего или 1 сорта. Следует отметить, что мука нормального качества не темнеет, хотя в ней в активном состоянии находится полифенолоксидаза. Причина в том, что в такой муке нет субстрата – свободного тирозина.

Субстрат – тирозин образуется при гидролизе белковых веществ, поэтому высокую способность к потемнению имеет мука из проросшего, морозобойного или пораженного клопом-черепашкой зерна, где протеолиз идет интенсивно.

Механизм каталитического действия: под действием фермента полифенолоксидазы аминокислота тирозин окисляется по следующей схеме:



В результате образования хиноидной структуры аминокислота приобретает темное окрашивание, вызывающее потемнение теста и мякиша хлеба.

Технологическое значение комплекса: содержание в муке свободного тирозина определяет в большей степени способность муки к потемнению, чем активность полифенолоксидазы. Оптимальными условиями для действия полифенолоксидазы является температура 40...50 °С, pH 7...7,5. При pH < 5,5 полифенолоксидаза неактивна, поэтому при переработке муки, имеющей способность к потемнению, рекомендуется повышать кислотность теста в допустимых пределах, либо смешивать муку со светлой, не темнеющей мукой.

1.1.2 ДРОЖЖИ КАК КОМПОНЕНТ ТЕСТА

Дрожжи – одноклеточные микроорганизмы, относящиеся к классу грибов – сахаромикетов. В свежих дрожжах содержится 75 % влаги и 25 % сухих веществ. В сухом веществе дрожжей содержится, %: белка – 50, углеводов – 41, жиров – 2, золы – 7.

Количество дрожжей в тесте зависит от следующих факторов:

1) *подъемной силы дрожжей:* чем меньше подъемная сила дрожжей, тем большее количество их следует употребить при замесе теста;

2) *длительности брожения*: чем скорее хотят получить выброженное тесто, тем больше дрожжей нужно употребить при замесе;

3) *способа приготовления теста*: при опарном способе требуется меньше дрожжей, чем при безопарном. Это связано с тем, что в опаре происходит некоторое размножение дрожжей; помимо этого при замесе теста на опаре дрожжи находятся в активированном состоянии;

4) *количества сахара в тесте*: чем больше в тесте сахара, тем больше дрожжей следует применить. Повышение концентрации сахара в жидкой фазе теста увеличивает в тесте осмотическое давление и вызывает плазмолиз (гибель) дрожжевой клетки, который и является причиной снижения ее жизнедеятельности, а при соответствующей концентрации сахара может привести к гибели дрожжевых клеток (в этом случае используют только химические разрыхлители);

5) *количества жира в тесте*: чем больше в тесте жира, тем больше дрожжей следует применить. Замедление газообразования в тесте вследствие добавления жира в больших количествах принято объяснять частичным как бы обволакиванием поверхности дрожжевых клеток адсорбированными пленками жира, который затрудняет прохождение растворимых, питательных веществ через оболочку клетки и подавляет их жизнедеятельность.

1.1.3 СОЛЬ КАК КОМПОНЕНТ ТЕСТА

Пищевая поваренная соль представляет собой природный хлорид натрия с очень незначительной примесью других солей. Соль хорошо растворима в воде и в основном используется в виде растворов.

В тесте без соли:

- брожение происходит значительно более интенсивно. При этом к концу брожения теста в нем остается значительно меньше несброженных сахаров;
- за период брожения структурно-механические свойства теста значительно ухудшаются в результате более интенсивного протеолиза и оно становится более жидким по консистенции и липким. Такое тесто с трудом проходит через округлительные и закаточные машины, замазывая поверхности их рабочих органов;
- тесто обладает пониженной газо- и формоудерживающей способностью;
- при расстойке тестовые заготовки (ТЗ) подовых изделий быстро и сильно расплываются;
- при выпечке ТЗ расплываются, и подовые изделия получаются плоскими, с малым отношением высоты к диаметру. Корка изделий слабо окрашена, т.к. недостаточно несброженных сахаров.

В тесте с удвоенной дозировкой соли:

- брожение происходит вдвое с меньшей интенсивностью, т.к. соль угнетает дрожжи, повышая осмотическое давление в тесте в 6 раз больше, чем сахар;

- структурно-механические свойства теста за период брожения изменяются мало. Тесто к моменту пуска на разделку остается более «крепким», упругим и не липким, хорошо проходит через тесторазделочное оборудование;
- расстойка идет медленно, причем ТЗ очень мало расплываются;
- изделия после выпечки получаются очень округлыми, с подрывами у боковой корки и со значительно более интенсивно окрашенной коркой, т.к. в тесте остается больше несброженных сахаров.

При опарном способе приготовления теста, учитывая все вышеизложенное, соль добавляют не в опару, а в тесто.

1.1.4 ВОДА КАК КОМПОНЕНТ ТЕСТА

Вода используется как растворитель соли, сахара и других видов сырья, для приготовления теста и других полуфабрикатов, на хозяйственные нужды (мойку оборудования, сырья и т.п.) и для теплотехнических целей (производство пара и т.п.).

Количество воды в пшеничном тесте зависит от следующих факторов:

1) *сорта хлеба*: для каждого сорта хлеба стандартом установлена предельно-допустимая влажность мякиша или целого изделия. Эта влажность и определяет максимальную влажность теста, а в связи с этим (с учетом рецептуры теста и влажности муки) количество воды, добавляемое на 100 кг муки;

2) *выхода муки*: чем выше выход муки (ниже сорт), тем больше воды может содержаться в тесте, т.к. частицы оболочек, содержащиеся в муке высоких выходов, обладают способностью связывать воду в большем количестве, чем частицы эндосперма;

3) *влажности муки*: чем суше мука, тем больше воды она может поглотить. Поэтому нормы выхода хлеба установлены на муку с определенной «базисной» влажностью (14,5 %) и соответственно корректируются при выработке хлеба из муки с большей или меньшей влажностью;

4) *количества сахара и жира*: чем больше в тесте сахара и жира, тем меньше требуется воды;

5) *силы муки*: чем сильнее мука, тем выше количество воды, которое следовало бы вносить в тесто для получения хлеба с наибольшим объемом и лучшей пористостью. Количество воды, вносимой в тесто из слабой муки, приходится снижать, что уменьшает выход хлеба.

1.2 ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ НА ОСНОВНЫХ СТАДИЯХ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБА

На рис.1.3 представлена функциональная схема производства пшеничных изделий безопасным способом. Подробно рассмотрим процессы, протекающие на основных стадиях производства изделий.

1.2.1 ЗАМЕС ТЕСТА

Цель замеса – перемешивание сырья для хлебобулочного изделия, предусмотренного рецептурой, до получения однородной массы. Отсутствие в этой смеси комочков муки обычно принимается за показатель завершенности процесса замешивания теста. Длительность замеса для пшеничного теста составляет 7...8 мин, для ржаного – 5...7 мин.

1.2.1.1 Процессы, протекающие при замесе теста

Длительность и интенсивность процесса замеса теста влияют на интенсивность протекания биохимических, физико-химических и коллоидных процессов в тесте. С самого начала замеса в тесте начинают происходить следующие процессы.

Микробиологические процессы, связанные с жизнедеятельностью дрожжей и кислотообразующих бактерий муки, в процессе замеса теста еще не успевают достичь необходимой интенсивности, при которой они могли бы играть практически ощутимую роль.

Физические и коллоидные процессы при замесе имеют наибольшее значение.

Основным процессом при замесе теста является набухание белков. Нерастворимые в воде белковые вещества муки, образующие клейковину, при замесе способны связать и поглотить воды в 2...2,5 раза больше своей массы, что составляет 35...40 % добавленной при замесе воды. Из этого количества воды менее четвертой части связывается адсорбционно, остальная часть – осмотически.

Осмотическое связывание влаги и вызывает в основном набухание и резкое увеличение объема белков в тесте.

В результате механического воздействия на набухшие белковые вещества, они как бы «вытягиваются» из содержащих их частиц муки в виде

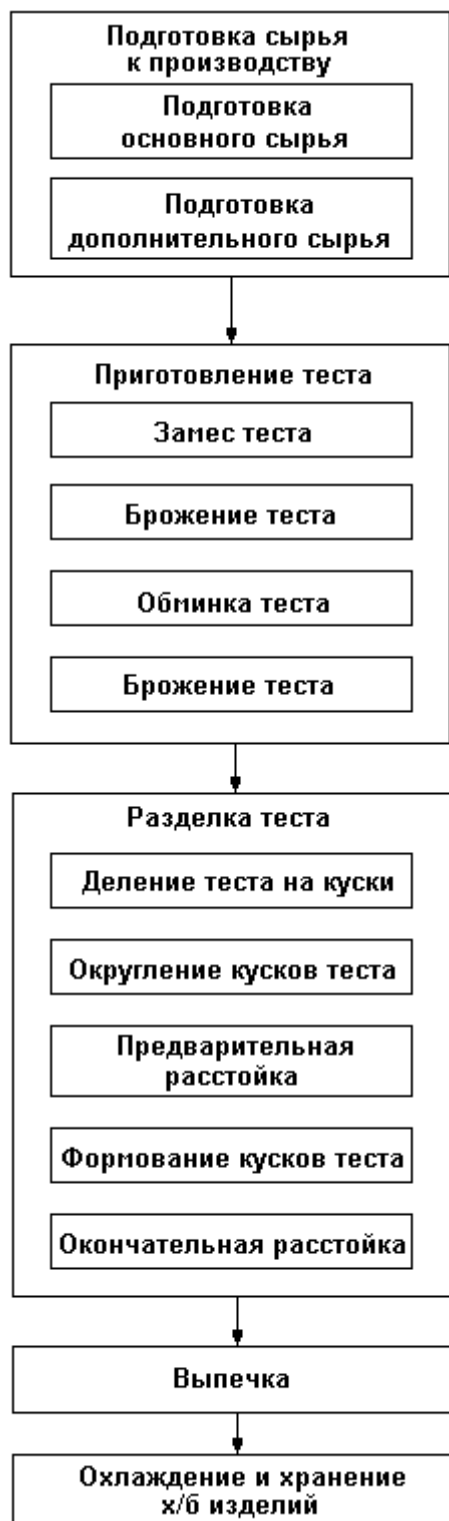


Рис.1.3. Функциональная схема производства хлебобулочных изделий

пленок или жгутиков, которые в свою очередь соединяются (вследствие слипания, а частично и образования химических связей – мостиков) между собой. В результате этого набухшие водонерастворимые белки образуют в тесте трехмерную, губчато-сетчатую, непрерывную, структурную основу – губчатый каркас, который и обуславливает структурно-механические свойства пшеничного теста (растяжимость и упругость). Этот белковый каркас называется клейковинным. В тесте в него вкраплены зерна крахмала и частицы оболочек.

В начальной стадии замеса механическая обработка вызывает смешивание муки, воды и другого сырья и слипание набухающих частиц муки в сплошную массу теста, что обуславливает и ускоряет его образование. Еще некоторое время механическая обработка может улучшать свойства теста, т.к. способствует ускорению набухания белков и образованию клейковинного каркаса. Дальнейший замес может привести к разрушению каркаса и к ухудшению структурно-механических свойств теста. Особенно это проявляется при замесе теста из слабой муки, в которой структурный остов наименее прочен.

Крахмал муки, взаимодействуя с водой, связывает ее адсорбционно (поверхностно), поэтому объем крахмальных частиц в тесте увеличивается незначительно. Установлено, что целые зерна крахмала муки могут связать влаги максимум 44 % в пересчете на сухие вещества (СВ) муки, поврежденные (их в муке около 15 %) зерна крахмала – до 200 %.

В тесте из муки большого выхода, например обойной, частицы оболочек зерна связывают до 150 % воды на СВ адсорбционно, вследствие наличия в них большого количества капилляров. Поэтому тесто из муки низких сортов замешивают с большей влажностью (46...49 %), чем тесто из муки первого и высшего сортов (43...44 %).

В ржаном тесте клейковинный каркас не образуется, поэтому ржаное тесто имеет незначительную упругость и эластичность, но обладает большей вязкостью. Значительная часть белков муки набухает неограниченно, т.е. впитывает так много воды, что образует вязкий раствор. Нерастворимые в воде пентозаны муки (слизи) обладают высокой гидрофильностью, поглощая при набухании воду, превышающую их массу в 10 раз, что повышает вязкость теста.

Биохимические процессы. Это гидролиз белков под действием протеолитических ферментов и гидролиз крахмала под действием амилолитических ферментов. Вследствие этих процессов увеличивается количество веществ, способных переходить в жидкую фазу теста, что приводит к изменению его структурно-механических свойств.

1.2.1.2 Структура полученного теста

Тесто после замеса представляет собой дисперсную систему, состоящую из трех фаз.

Твердая фаза – это набухшие нерастворимые в воде белки, зерна крахмала, частицы оболочек. Зерна крахмала и частицы оболочек придают тесту свойство пластичности.

Жидкая фаза – это свободная влага (несвязанная адсорбционно крахмалом, белками, частицами оболочек), в ней растворены водорастворимые вещества теста минеральные и органические (соль, сахар, водорастворимые белки, декстрины и т.д.).

Газообразная фаза представляет собой пузырьки воздуха, захваченного массой теста при замесе. Часть воздуха вносится также с массой муки и в очень небольших количествах – с водой. Количество газа в тесте в процессе замеса нарастает. При нормальной продолжительности замеса объем фазы достигает до 10 % от общего объема теста, при увеличенной длительности замеса – до 20 %.

Те процессы, которые способствуют адсорбции и особенно осмотическому связыванию влаги и ограниченному набуханию коллоидов теста приводят к увеличению количества и объема твердой фазы, улучшают структурно-механические свойства теста, делают его более густым по консистенции, упругим, эластичным и сухим на ощупь.

Те процессы, которые способствуют дезагрегации, неограниченному набуханию (растворению), пептизации и растворению составных частей теста и в связи с этим приводят к увеличению количества жидкой фазы в тесте, ухудшают структурно-механические свойства теста, делают его более жидким по консистенции, более тягучим, липким и мажущимся.

От соотношения фаз зависят свойства теста. Этим объясняются различные свойства пшеничного и ржаного теста. Пшеничное тесто эластичное, упругое, т.к. в нем преобладает твердая фаза, а ржаное – вязкое, пластичное. В ржаном тесте меньше твердой и газообразной фазы, но больше жидкой.

1.2.1.3 Факторы, влияющие на замес теста

Наибольшее влияние на структурно-механические свойства теста и качество хлеба оказывают влажность и температура теста.

Влажность теста оказывает существенное влияние на влажность изделий, выход хлеба и структурно-механические свойства теста. Тесто готовят с предельной влажностью, что обеспечивает стандартную влажность хлеба. Влажность теста незначительно (в большую сторону) отличается от влажности мякиша остывшего хлеба (для крупных изделий на 0,8...1 %; для батонов на 0,4...0,6 %; у мелкоштучных изделий практически одинаковы).

Если влажность теста окажется заниженной, то хлеб будет малого объема, округлой формы, с крошковатым, сухим, слабо разрыхленным мякишем. Влажность хлеба окажется ниже нормы, снизится выход хлеба, увеличится расход муки, такой хлеб быстрее черствеет.

Если влажность теста окажется повышенной, то мякиш будет влажный на ощупь, липкий, пористость крупная, толстостенная, хлеб будет тяжелый. У формового хлеба – плоская верхняя корка, подовый хлеб будет расплывчатой

формы. Снижается энергетическая ценность хлеба, при повышенной влажности изделия бракуют.

Необходимую температуру теста получают, обеспечивая нужную температуру воды на замес теста.

Повышение температуры теста приведет:

✓ К интенсификации спиртового и молочно-кислого брожения (в пределах 35°C). В результате интенсивного спиртового брожения в тесте к моменту выпечки может оказаться количество сахаров, недостаточное для нормального окрашивания корки. Кислотность хлеба может оказаться повышенной за счет интенсивного молочно-кислого брожения и хлеб по этому показателю может оказаться нестандартным.

✓ К ухудшению структурно-механических свойств теста. Повышение температуры теста в пределах $34...35^{\circ}\text{C}$ ослабит клейковину теста, что приведет к его разжижению. Объясняется это тем, что при повышении температуры теста увеличивается скорость процесса набухания и пептизации коллоидов муки, а также повышается активность ферментов теста. Поэтому повышенную температуру теста можно рекомендовать только при приготовлении его из сильной муки. Тесто из слабой муки целесообразно готовить при более низкой температуре.

1.2.2 БРОЖЕНИЕ ТЕСТА

Цель брожения – превращение углеводов и белковых веществ опары, закваски и теста под влиянием соответствующих ферментов муки, хлебопекарных дрожжей и молочно-кислых бактерий с целью накопления вкусовых, ароматических веществ, продуктов расщепления белков и углеводов муки.

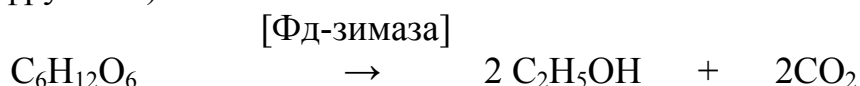
В производственной практике термином «брожение теста» определяется период брожения с момента замеса теста до деления на куски, но на самом деле брожение происходит, начиная с момента замеса теста в емкости, при делении на куски, формовании, при расстойке ТЗ и в начальный период выпечки.

1.2.2.1 Процессы, протекающие при брожении теста

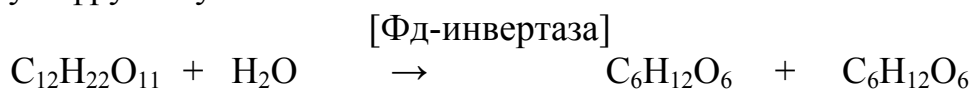
Микробиологические процессы

❖ Спиртовое брожение в тесте вызывается дрожжами. Важнейшей составной частью дрожжей являются ферменты. Главным ферментным комплексом является зимазный или зимаза. Процесс сбраживания дрожжами сахаров с образованием спирта и углекислого газа представляет собой цепочку окислительно-восстановительных реакций, катализируемых различными ферментами. Порядок сбраживания сахаров дрожжами следующий:

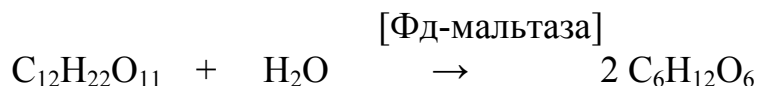
- под действием зимазы дрожжей сбраживаются моносахара (глюкоза, фруктоза):



- дисахарид – сахароза гидролизуется инвертазой дрожжей на глюкозу и фруктозу:



- после исчерпания сахарозы дрожжи начинают сбраживать мальтозу, которая предварительно гидролизуется мальтазой дрожжей на две молекулы глюкозы:



В первые 1...1,5 ч дрожжи сбраживают собственные сахара муки. Затем начинает гидролизоваться и сбраживаться мальтоза, образованная из крахмала.

Ускоряет процесс газообразования:

- увеличение количества дрожжей или повышение их активности;
- наличие достаточного количества сбраживаемых сахаров;
- добавление амилалитических ферментов, молочной сыворотки;
- повышение температуры с 26 до 35 °С (в два раза).

Тормозит процесс газообразования:

- повышенное содержание соли;
- повышенное содержание жира;
- повышенное содержание сахара.

Наиболее заметным признаком, указывающим на начало спиртового брожения, является равномерное увеличение объема теста. При брожении объем теста увеличивается приблизительно в 5 раз после расстойки по сравнению с первоначальным объемом, оно становится светлее и приобретает пористую структуру.

❖ Размножение дрожжей. Чем меньше содержание дрожжей в тесте, тем в большей мере происходит их размножение. Установлено, что при дозировке дрожжей 0,5 % к массе муки после 6 ч брожения увеличение количества дрожжевых клеток составило около 90 %, а при дозировке 2 % – лишь около 30 %. В тесте, содержащем более 2 % дрожжей, увеличения количества дрожжевых клеток после трехчасового периода брожения практически не происходило.

❖ Молочно-кислое брожение вызывается различными видами молочно-кислых бактерий (МКБ), которые вносятся в тесто в основном с мукой, дрожжами и заквасками. МКБ сбраживают фруктозу, глюкозу, сахарозу, мальтозу. Продуктами брожения являются молочная и летучие (уксусная, муравьиная, пропионовая и др.) кислоты. В пшеничном тесте доля молочной кислоты составляет 70 %, а летучих, в основном уксусной – около 30 %. При низком содержании летучих кислот хлеб кажется несколько пресным, при повышенном – резко кислым.

Оптимальная температура для спиртового брожения – 27...33 °С, для молочно-кислого брожения – 35...40 °С, т.е. повышение температуры теста влечет за собой нарастание его кислотности. Оптимальная температура брожения 26...32 °С.

Физические и коллоидные процессы. Состояние белков под действием кислот, ферментов и влаги значительно изменяется. Повышение кислотности теста ускоряет набухание и пептизацию белков. В тесте из сильной муки набухание проходит медленно, ограниченно, заканчивается только к концу брожения. Это уменьшает количество жидкой фазы в тесте и улучшает его физические свойства. В тесте из слабой муки структура белков непрочная, поэтому набухание происходит очень быстро, а белки частично пептизируются. Это приводит к быстрому увеличению количества жидкой фазы в тесте и его разжижению, что ухудшает физические свойства теста.

Тесто в процессе брожения становится менее вязким и более пластичным, улучшается состояние клейковинного каркаса. Под действием выделяющегося углекислого газа пленки клейковины растягиваются, а при делении и округлении слипаются снова, что способствует улучшению механических свойств теста, образованию мелкой и равномерной пористости в мякише изделий.

Биохимические процессы. Крахмал при брожении теста частично осахаривается, превращаясь под действием β -амилазы в мальтозу. Наиболее легко осахариваются поврежденные зерна крахмала. Мальтоза, образуемая из крахмала, является основным сахаром теста, т.к. другие сахара сбраживаются в первые часы брожения.

Белки теста при брожении подвергаются действию протеолитических ферментов муки, обуславливающему деполимеризацию макромолекул белка и гидролиз пептидных связей. Образующиеся при этом свободные аминокислоты при брожении теста частично используются дрожжами для питания, а при выпечке участвуют в реакции меланоидинообразования.

Для улучшения свойств теста, качества хлеба, структуры пористости мякиша в период брожения осуществляют кратковременный (1...3 мин) промес теста, называемый *обминкой*. Обминка теста из сильной муки ускоряет процесс набухания белков и также улучшает физические свойства теста. Тесто из слабой муки не следует интенсивно обминать, т.к. при механическом воздействии указанные процессы ускоряются и могут ухудшить физические свойства теста.

1.2.2.2 Критерии оценки готовности теста к разделке

Различают три состояния теста: «моложавое» или неготовое, «зрелое» – нормальное, «закисшее» или излишне бродившее. «Моложавое» тесто содержит мало продуктов протеолиза, клейковинный каркас не имеет оптимальной структуры. Тесто липковатое, т.к. процессы набухания компонентов муки еще не закончены и кислотность теста не достигает нормы. В тесте остается много несброженных сахаров. Хлеб из такого теста имеет ряд дефектов: пористость неравномерная, низкая; мякиш липкий, сыропеклый;

малый объем хлеба; на его поверхности пузыри с тонкой подгорелой коркой; иногда корка отстает от мякиша; пресный вкус хлеба и т.д. «Закисшее» тесто характеризуется повышенной кислотностью, малым содержанием несброженных сахаров, ослаблением клейковинного каркаса. Дефекты хлеба: бледная с трещинами корка, пустоты и разрывы в мякише, запах и вкус – кислые, хлеб расплывчатый.

Готовность теста определяется по титруемой кислотности. На малых предприятиях-пекарнях широко используют также органолептические методы определения готовности выброженного теста к разделке.

1.2.2.3 Способы, ускоряющие или замедляющие созревание теста

Для ускорения брожения теста применяют следующие технологические приемы:

- 1) увеличение дозировки дрожжей или их активация;
- 2) повышение дозировки опары (закваски) на приготовление теста или добавка порции спелого теста или закваски;
- 3) интенсивный замес ослабляет структуру белка и крахмала, тем самым интенсифицирует процесс брожения;
- 4) повышение начальной температуры теста до 32...33 °С ускоряет его созревание, однако повышение до 34...35 °С отрицательно действует на дрожжи и ослабляет клейковину;
- 5) добавление улучшителей (амилолитические ферменты, неферментированный солод и т.д.) стимулируют сахаро- и газообразование в тесте.

Если необходимо замедлить процесс брожения опары или теста, то можно использовать следующие приемы:

- 1) охлаждение полуфабрикатов до 24...26 °С: с этой целью опары и закваски заливают холодной водой с добавлением соли, что задерживает созревание на несколько часов. Соль снижает активность ферментов, укрепляет структуру белков, подавляет жизнедеятельность микрофлоры;
- 2) добавление в полуфабрикат пищевой соды: это задерживает созревание полуфабрикатов на 8...10 часов. Сода нейтрализует накопившиеся в тесте кислоты, замедляет процесс спиртового брожения. В опары из пшеничной муки рекомендуют добавлять 0,5 %, в закваски из ржаной муки – 0,7...0,8 % соды от массы муки. Соду предварительно растворяют в воде при температуре 18...20 °С и перемешивают раствор с массой полуфабриката. Соду можно добавлять в тесто, когда другие способы неприемлемы.

1.2.3 РАЗДЕЛКА ТЕСТА

Деление теста на куски – тестовые заготовки (ТЗ) – и придание им определенной формы, структуры и внешнего вида, соответствующих выпеченным из них готовым изделиям, осуществляется при разделке теста.

1.2.3.1 Сущность процессов, слагающих процесс разделки

Разделка включает в себя следующие стадии:

➤ *Деление теста на куски.* Цель операции – получение ТЗ определенной массы. Деление теста осуществляется на тестоделительных машинах по объемному принципу. Допустимое отклонение массы отдельных кусков не должно превышать $\pm 1,5 \%$.

➤ *Округление кусков теста.* Цель операции – придание ТЗ шарообразной формы. Округление необходимо для сглаживания неровностей на поверхности кусков и создания пленки, которая препятствует выходу газов из теста в процессе предварительной расстойки. Наличие пленки дает равномерную пористость мякишу при выпечке. Округление ведут в тестоокруглительных машинах.

➤ *Предварительная расстойка.* Цель операции – кратковременная расстойка ТЗ после механического воздействия при делении и округлении для улучшения свойств и структуры. Предварительная расстойка ТЗ осуществляется на ленточных транспортерах или в расстоечных шкафах в течение 5...8 мин. При этом происходит ослабление возникших в тесте при делении и округлении внутренних напряжений (явление релаксации) и восстановление частично разрушенных отдельных звеньев клейковинного, структурного каркаса (явление тиксотропии). В итоге структурно-механические свойства теста, его структура и газодерживающая способность улучшаются.

➤ *Формование ТЗ.* Цель операции – придание ТЗ формы, соответствующей данному виду хлебобулочного изделия. Формование пшеничного теста проводится на тестозакаточных машинах, где сначала тесто раскатывается в блин, а затем его свертывают в рулон и прокатывают, а иногда еще и удлиняют.

➤ *Окончательная расстойка.* Цель операции – расстойка ТЗ после ее формования для разрыхления и образования необходимого объема. Если выпекать хлеб без окончательной расстойки, то он получится низкого объема с плотным, плохо разрыхленным мякишем, с разрывами и трещинами на корке. Для ускорения брожения и предотвращения заветривания наружных слоев теста окончательная расстойка проводится при температуре $36...38^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха $70...75 \%$. Длительность расстойки составляет от 25 до 120 мин в зависимости от вида изделия. Проводят процесс в расстойных шкафах.

➤ *Надрезка (наколы) ТЗ.* Цель операции – нанесение на поверхность ТЗ надрезов (наколов). Проводится для предотвращения появления на поверхности выпеченных изделий трещин, подрывов корки и других дефектов. С помощью механических надрезчиков, либо вручную ножом, смоченным водой на поверхность ТЗ наносят продольные, косые или поперечные надрезы или делают несколько наколов. ТЗ, обладающие высокими прочностными свойствами, должны иметь более глубокие надрезы.

1.2.3.2 Факторы, влияющие на длительность окончательной расстойки

⇒ *Хлебопекарные свойства муки.* ТЗ из слабой, а также муки с высокой автолитической активностью расстаиваются быстрее, чем ТЗ из муки сильной или содержащей мало сахара.

⇒ *Количество и качество дрожжей:* увеличение количества или активности дрожжей при достаточном содержании сахара в тесте ускоряет расстойку.

⇒ *Способ формования изделий:* ТЗ, помещенные в формы, расстаиваются более длительное время, чем подовые изделия, т.к. стенки формы предупреждают расплывание теста.

⇒ *Вид муки:* ржаное тесто расстается быстрее, чем пшеничное, т.к. оно содержит больше сахаров и лишено упругости, свойственной пшеничному тесту.

⇒ *Рецептура изделия:* значительное количество жира, сахара и др. сдобных веществ негативно влияет на дрожжи и увеличивает продолжительность расстойки.

⇒ *Влажность и температура теста:* тесто более влажное и теплое, а также более выброженное, расстаивается быстрее, чем тесто крепкое, холодное или моложавое.

⇒ *Улучшители хлеба,* стимулирующие процесс брожения (амилолитические ферментные препараты и т.д.), стимулируют и процесс расстойки; окислители, укрепляющие клейковину, удлиняют продолжительность расстойки.

⇒ *Параметры воздуха:* повышение температуры и влажности воздуха в расстойном шкафу (в определенных пределах) сокращают продолжительность расстойки. Повышение температуры более 45 °С отрицательно влияет на дрожжи и увеличивает продолжительность расстойки. Относительная влажность воздуха не должна быть выше 85 %, т.к. в противном случае тесто будет прилипать к доскам или кассетам для расстойки. Однако недостаточное увлажнение воздуха вызывает заветривание поверхности ТЗ и образование грубой корки, покрытой трещинами.

1.2.3.3 Критерии оценки готовности теста к выпечке

Конец расстойки определяют органолептически по увеличению объема теста, а также при легком нажатии пальцами на поверхность теста. По степени готовности различают недостаточную, нормальную и избыточную расстойку.

При недостаточной – следы от нажатия пальцев выравниваются быстро. Батон с недостаточной расстойкой будет иметь низкий объем, в разрезе почти круглую форму; хлеб имеет разрывы, через которые выпирает мякиш. Формовой хлеб при недостаточной расстойке имеет сильно округлую выпуклую верхнюю корку, подорванную вдоль боковых стенок. Это объясняется бурным брожением внутри ТЗ в первые минуты ее выпечки. При брожении образуется очень много газов, разрывающих корку там, где она тоньше, т.е. сбоку.

При нормальной расстойке следы от нажатия пальцев выравниваются медленно. Батон с нормальной расстойкой имеет овальную форму, переходящую в округлую от нижней корки к бокам.

При избыточной расстойке следы от нажатия пальцев не исчезают, что указывает на нарушение упругих свойств теста и чрезмерное ослабление клейковины. В первый период выпечки возможно оседание ТЗ. Батон будет сильно расплывшимся и плоским. У формового хлеба будет плоская или вогнутая верхняя корка, пористость неравномерная.

1.2.4 ВЫПЕЧКА ХЛЕБА

Цель выпечки – прогревание в пекарной камере выпекаемой тестовой заготовки (ВТЗ) до превращения ее в готовое изделие. При этом на поверхности ВТЗ и внутри нее протекает ряд сложных процессов.

1.2.4.1 Процессы, протекающие при выпечке тестовых заготовок

Физические процессы. Хлебные изделия выпекают в пекарной камере хлебопекарных печей при температуре паровоздушной среды 200...280 °С. Для выпечки 1 кг хлеба требуется 293...544 кДж тепла. Это тепло расходуется на испарение влаги из ВТЗ и на ее прогревание до температуры 95...97 °С в центре мякиша, при которой тесто превращается в хлеб; выше этой температуры мякиш не прогревается из-за его высокой влажности (45...50 %).

Таким образом, при выпечке в тесте происходят следующие физические процессы:

- прогрев ВТЗ;
- теплообмен и влагообмен с газовой средой и пекарной камерой;
- влагообмен внутри ВТЗ (перемещение влаги от мякиша к коркам).

В начале выпечки тесто поглощает влагу в результате конденсации паров воды из среды пекарной камеры; в этот период масса ВТЗ несколько увеличивается. После прекращения конденсации начинается испарение влаги с поверхности ВТЗ, которая к этому времени прогревается до 100 °С, превращаясь в сухую корку. Часть влаги при образовании корки испаряется в окружающую среду, а часть (около 50 %) переходит в мякиш, т.к. влага при нагревании перемещается от более нагретых участков (корки) к менее нагретым слоям (мякишу). Поэтому влажность мякиша на 1,5...2,5 % выше влажности теста. Обезвоженная корка прогревается до 160...180 °С, мякиш до 95...97 °С, что указывает на то, что выпечка закончена.

Микробиологические процессы. Дрожжевые клетки при прогревании теста примерно до 35 °С ускоряют процесс брожения и газообразования до максимума. Примерно до 40 °С жизнедеятельность дрожжей в ВТЗ еще очень интенсивна, но при температуре свыше 45 °С газообразование резко снижается. Ранее было принято считать, что при 50 °С дрожжи отмирают.

Жизнедеятельность МКБ в зависимости от их температурного оптимума по мере прогревания ВТЗ сначала форсируется, после достижения температуры выше оптимальной для их жизнедеятельности замедляется, а затем совсем

прекращается. При прогревании ВТЗ до 60 °С считалось, что МКБ теста полностью отмирают.

Было установлено, что в мякише ржаного хлеба из обойной муки в ослабленном виде сохраняются отдельные клетки как дрожжей, так и МКБ. Это может быть объяснено как наличием очень незначительного количества свободной воды в мякише, так и очень кратковременным подъемом температуры центральной части мякиша до 90 °С.

Биохимические процессы. При выпечке содержащийся в ВТЗ крахмал, прошедший первые стадии процесса клейстеризации, частично гидролизуется. В результате его содержание в ВТЗ снижается. Атакуемость крахмала амилазами возрастает, т.к. крахмал даже в начальных стадиях его клейстеризации во много раз легче гидролизуется β -амилазой.

В пшеничном тесте из сортовой муки при относительно невысокой его кислотности β -амилаза инактивируется полностью при температуре 82...84 °С, а α -амилаза способна сохранять свою активность до конца выпечки. Поэтому гидролиз крахмала обусловлен в основном действием амилаз.

Ржаное тесто имеет кислотность в 3...4 раза более высокую, поэтому β -амилаза инактивируется полностью при температуре 60 °С, а α -амилаза – при 71 °С (в условиях повышенной кислотности). В интервале времени выпечки, когда β -амилаза уже инактивирована, а α -амилаза еще активна, в мякише хлеба накапливается значительное количество низкомолекулярных декстринов, придающих мякишу липкость и сыроватость на ощупь. Также установлено, что накопление декстринов продолжается до конца выпечки, и даже в первые часы хранения хлеба. Это объясняется тем, что после инактивации амилаз происходит кислотный гидролиз крахмала под действием молочной и уксусной кислот, образующихся в процессе брожения. Поэтому содержание водорастворимых веществ (декстринов, сахаров) в ржаном хлебе выше, чем в пшеничном, несмотря на более раннюю инактивацию амилаз.

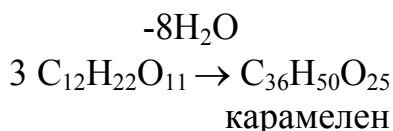
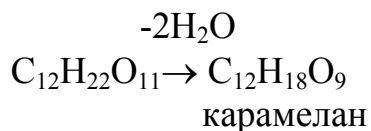
Сахара, образующиеся в ВТЗ в результате гидролиза крахмала, в первой части периода выпечки частично расходуются на брожение.

При выпечке также происходят изменения в белково-протеиназном комплексе муки. В ВТЗ до определенной степени ее прогрева происходит протеолиз белков. При температуре более 70 °С белки ВТЗ подвергаются термической денатурации.

Химические процессы.

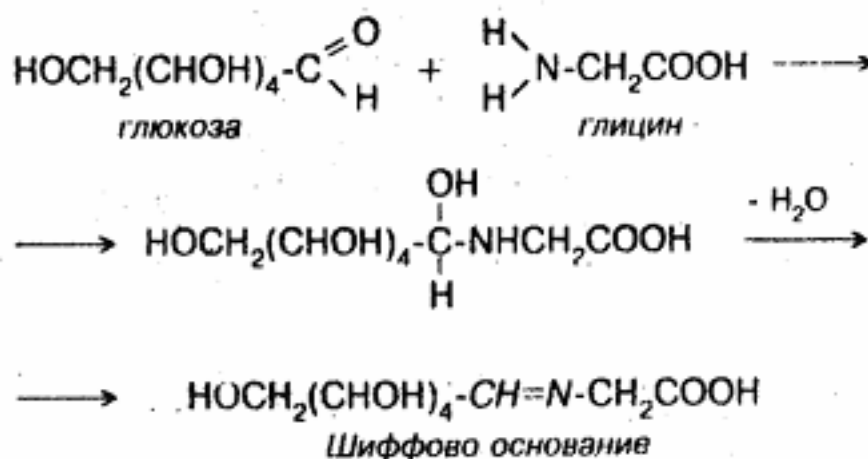
❖ Термическая декстринизация крахмала. Накопление декстринов и водорастворимых веществ в корке объясняется термической декстринизацией крахмала, т.к. ферментативный гидролиз в корке роли не играет из-за инактивации ферментов при высокой температуре (температура поверхности корки – 180 °С, а середины корки – 130 °С). При температуре 110...120 °С образуются светлые декстрины, а при температуре 120...140 °С – темные декстрины, обуславливающие окраску поверхности корки.

❖ Карамелизация сахаров. В результате карамелизации остаточных несброженных сахаров (не менее 2...3 %) при температуре 140...150 °С образуются продукты, обуславливающие окраску корки пшеничного хлеба (карамелан, карамелен и карамелин). Карамелизация сахарозы протекает по следующей упрощенной схеме:



При более сильном обезвоживании нагреваемой массы образуется темно-коричневое вещество – карамелин ($\text{C}_{24}\text{H}_{30}\text{O}_{15}$).

❖ Меланоидинообразование. При температуре 150...180 °С протекают реакции окислительно-восстановительного взаимодействия восстанавливающих сахаров с аминокислотами. В результате образуются темнокрашенные вещества – меланоидины (melas – темный, черный), которые играют роль не только в окрашивании корки, но и во вкусе и аромате хлеба. Образование меланоидинов с образованием окрашенной азометиновой группы $-\text{CH}=\text{N}-$) протекает по реакции Майяра:



В ходе выпечки образуются ароматические и вкусовые вещества, которые придают хлебу вкус и аромат. Таких веществ более 70. Это спирты, кислоты, альдегиды, сложные эфиры.

Коллоидные процессы при прогревании ВТЗ очень существенны, т.к. именно они обуславливают переход теста в мякиш хлеба.

Клейковина теста имеет максимум набухаемости примерно при 30 °С. Дальнейшее повышение температуры ведет к снижению ее способности

набухать. Примерно при 60...70 °С белки денатурируются и свертываются, теряют эластичность и растяжимость, освобождая при этом воду, поглощенную при набухании. Свернувшиеся белки образуют прочный каркас, закрепляющий форму хлеба.

По мере повышения температуры крахмал набухает все более и более интенсивно. Особенно возрастает набухание при температуре 40...60 °С. В этом же температурном интервале начинается клейстеризация крахмала, сопровождающаяся его набуханием. Клейстеризующийся крахмал поглощает воду, впитанную белками теста при их набухании и выделяющуюся в процессе денатурации белков. Однако этой влаги недостаточно для полной клейстеризации крахмала, и процесс протекает сравнительно медленно и заканчивается при прогреве мякиша до 95...97 °С. Клейстеризуясь, крахмальные зерна прочно связывают влагу, поэтому мякиш кажется более сухим, чем тесто.

Процессы клейстеризации и коагуляции белков обуславливают переход теста ВТЗ в состояние мякиша, резко изменяя при этом структурно-механические свойства теста и как бы фиксируя пористую структуру мякиша.

1.2.4.2 Факторы, влияющие на режим выпечки

Под режимом выпечки понимают ее продолжительность, а также температуру и влажность среды в разных зонах пекарной камеры.

- ❖ ВТЗ из слабого теста или изделия, получившие длительную расстойку, выпекают при более высокой температуре, чтобы предупредить расплывчатость изделий.
- ❖ Если изделия выпекают из «моложавого» теста, то температуру среды пекарной камеры несколько снижают, а продолжительность выпечки увеличивают для того, чтобы необходимые процессы созревания продолжались и в первые минуты выпечки.
- ❖ Изделия меньшей массы и толщины прогревают и выпекают быстрее и при более высокой температуре, чем изделия большего развеса и толщины. Если хлеб большей массы выпекать при высокой температуре, то корка может подгореть, в то время как мякиш еще не пропечется.
- ❖ Изделия с большим содержанием сахара выпекают при более низкой температуре и более продолжительное время, чем изделия, в которых содержится мало сахара, иначе корка получится слишком темной.
- ❖ Для гребешковых изделий в первой зоне предусмотрена повышенная температура и влажность, интенсивный подвод тепла снизу от пода печи. Формовые (ржаные, сдобные изделия) выпекают без увлажнения.

1.2.4.3 Критерии оценки готовности выпекаемого хлеба

Точное определение готовности хлеба имеет важное значение. Если хлеб недопечен, то он имеет много дефектов, а излишнее увеличение

продолжительности выпечки увеличивает упек, снижает производительность печи, вызывает перерасход топлива.

Объективным показателем готовности хлеба является температура в центре мякиша, которая в конце выпечки должна составлять 95..97 °С. Однако готовность изделий можно определять органолептически по следующим признакам:

- цвету корки – окраска должна быть светло-коричневая или коричневая;
- состоянию мякиша – мякиш готового хлеба сравнительно сухой и эластичный;
- относительной массе – масса пропеченного изделия меньше, чем масса неготового хлеба.

➤ *Причины образования липкого мякиша:*

- 1) увеличение температуры и уменьшение времени выпечки (быстро образуется верхняя корка, через которую не осуществляется влаго- и теплообмен);
- 2) плотная посадка ВТЗ на под печи;
- 3) качество муки (повышенная автолитическая активность);
- 4) избыток воды при замесе теста.

➤ *Причины образования бледной корки:*

- 1) недостаточное содержание сахаров в тесте: для нормального окрашивания корки в тесте на момент выпечки должно быть не менее 2...3 % несброженных сахаров;
- 2) нарушение режима выпечки: низкая температура и непродолжительная выпечка.

Контрольные вопросы

1. Какова роль углеводно-амилазного комплекса муки в хлебопечении?
2. Какова роль белково-протеиназного комплекса муки в хлебопечении?
3. Какие меры должен принять технолог, чтобы исключить потемнение пшеничной муки в процессе выпечки?
4. Какова роль коллоидных процессов при замесе теста?
5. В чем отличия спиртового брожения теста от молочно-кислого брожения?
6. Перечислите способы, ускоряющие или замедляющие созревание теста.
7. Назовите возможные дефекты ТЗ на стадии окончательной расстойки.
8. Перечислите факторы, влияющие на выбор режима выпечки.
9. Каковы предпосылки для активного протекания при выпечке реакции меланоидинообразования?
10. Каковы причины образования липкого мякиша хлеба при выпечке?

Раздел 2 НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

2.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАЗОВАНИЯ МАКАРОННОГО ТЕСТА

Макаронное тесто – это рецептурная смесь, вымешенная до однородной комковатой или крошкообразной структуры, влажность и температура которой соответствуют цели и условиям изготовления макаронных изделий. Макаaronное тесто отличается от других тестовых масс пищевого назначения по своему составу и способу приготовления. Основными его компонентами являются мука и вода. При замесе макаронного теста добавляют примерно половину воды, которую могут поглотить основные химические компоненты муки – крахмал и белки. Макаaronное тесто после замеса представляет собой сыпучую массу увлажненных комков и крошек. Связанное пластичное тесто получается из этой сыпучей массы после дальнейшей доработки – уплотнения ее под большим давлением в шнековой камере макаронного пресса.

2.1.1 ТИПЫ ЗАМЕСА ТЕСТА

В макаронном производстве в зависимости от ряда факторов используют несколько типов замеса теста (рис.1.4).

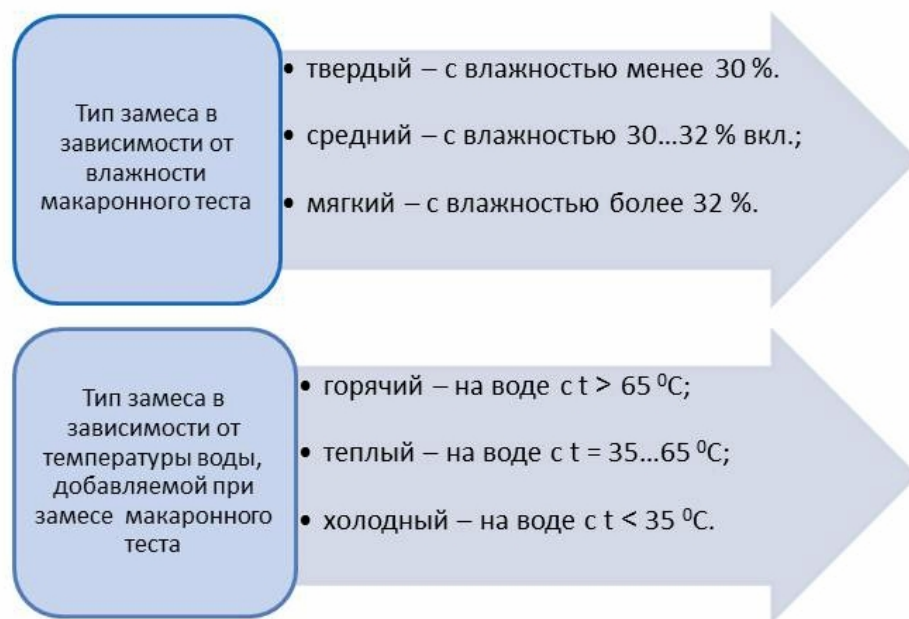


Рис.1.4. Классификация типов замеса макаронного теста

Тип замеса по влажности зависит от сорта муки, количества и качества клейковины, крупности помола, вида сушильной поверхности, материала матрицы, формы изделий. При использовании муки с низким содержанием клейковины желательно применять мягкий замес, а если клейковина муки липкая, тянущаяся – твердый. При изготовлении коротких изделий и макарон с кассетной сушкой для предотвращения слипания изделий между собой во время сушки лучше применять твердый или средний замес. При производстве

длинных изделий с подвесной сушкой (на бастунах) для придания изделиям большей пластичности, исключая растрескивание сырых изделий в местах перегиба на бастунах, применяют средний или мягкий замес. Мягкий замес применяют для гибких изделий с фигурной укладкой (в моток, бантик, гнездо), а твердый – для штампованных изделий сложной формы.

Тип замеса по температуре выбирают в зависимости от качества муки и формы изделий. Теплый тип замеса наиболее распространен в макаронном производстве, его применяют для муки нормального качества с содержанием клейковины не менее 28 %. На теплой воде процесс замеса происходит быстрее, чем на холодной. Если в производстве перерабатывается мука с пониженным содержанием клейковины, то рекомендуется использовать воду с температурой 30...45 °С. Холодный замес применяют при низком содержании и слабой клейковине в муке, при наличии теплой муки (в летнее время) или при формировании изделий сложной формы для получения очень вязкого и упругого теста. Горячий замес применяют для муки твердой пшеницы для макаронных изделий с содержанием клейковины более 38 % и чрезмерно упругой по качеству. При замесе теста с яичными или молочными добавками необходимо использовать воду с температурой не выше 40...45 °С.

2.1.2 ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ МАКАРОННОГО ТЕСТА

Замес теста – смешивание сырья, входящего в рецептуру макаронного теста. В результате этого смешивания происходят глубокие физико-химические изменения главных компонентов муки: крахмала и белков.

При приготовлении макаронного теста протекают биохимические, коллоидные и физические процессы. Основную роль при приготовлении макаронного теста играют *физические и коллоидные процессы*.

Основные компоненты муки белок и крахмал обладают различной водопоглотительной способностью. Взаимодействие воды с крахмалом и белком протекает в два этапа. На первом этапе происходит адсорбционное связывание воды. В результате на поверхности мучных частиц образуются тончайшие водяные пленки. Количество воды, связываемой адсорбционно, невелико. Процесс смачивания сопровождается выделением тепла. На втором этапе происходит впитывание воды частицами муки. На этом этапе имеет место поглощение воды под действием осмотического давления (осмотическое связывание влаги).

При температурных условиях получения макаронного теста его крахмальная часть обладает слабой способностью к набуханию. Крахмальные зерна удерживают влагу в основном своей поверхностью, т.е. адсорбционно.

Клейковина достигает максимума набухания в интервале температуры от 20 до 30 °С, при более высоких температурах ее набухаемость снижается. Набухание муки при замесе макаронного теста обусловлено в основном гидрационной способностью клейковины.

Клейковина муки мягкой пшеницы набухает быстро, но поглощает меньше воды. А клейковина муки твердой пшеницы, наоборот, набухает медленно, но поглощает больше воды.

Макаронное тесто после замеса представляет собой трехфазную дисперсную систему. Твердой дисперсной фазой являются увлажненные крахмальные зерна и остатки мучных крупок. Дисперсионной средой является пластифицированная клейковина. Третьей – газообразной фазой являются включения воздуха, захваченные при замесе. Эта трехфазная гетерогенная система обладает способностью уплотняться и упрочняться. Степень этого уплотнения зависит от режима замеса.

Режим замеса макаронного теста характеризуется двумя параметрами: интенсивностью (частотой вращения месильного органа) и продолжительностью замеса.

Интенсивный замес приводит к упрочнению структуры макаронного теста за счет более плотной упаковки частиц твердой фазы в дисперсионной среде и повышения адгезионной способности клейковины, которая прочнее склеивает частицы твердой фазы.

Усиление механического воздействия на тесто приводит к увеличению водопоглотительной способности клейковины. В результате возрастает количество сырой клейковины, редуцирующих сахаров и водорастворимого азота, т.е. процесс созревания макаронного теста ускоряется.

Чрезмерная механическая обработка вызывает ослабление упруго-вязких свойств макаронного теста из-за частичного разрушения белковой структуры, т.е. механической деструкции клейковины.

Тесто из муки твердой пшеницы для макаронных изделий требует большей продолжительности замеса, чем тесто из муки пшеничной хлебопекарной или общего назначения, т.к. проникновение влаги внутрь плотных крупчатых частиц происходит значительно медленнее, чем внутрь мелких частиц хлебопекарной муки.

Уплотнение теста. В шнековой камере масса увлажненных тестовых комков и крошек подхватывается лопастями вращающегося шнека и перемещается вдоль цилиндра к матрице. Шнек в этой части выполняет работу транспортирующего механизма, перемещающего сыпучий продукт. Частицы теста, тесно соприкасаясь друг с другом, постепенно сжимаются. Происходит уплотнение массы, превращение ее в крутое пластичное тесто. Воздух, заполняющий поры и промежутки между частицами теста, вытесняется в сторону загрузочного отверстия шнековой камеры. Давление от нуля повышается до 6...10 МПа.

Далее плотная связанная масса теста нагнетается в предматричную камеру (прессовую головку) и, преодолевая сопротивление матрицы, продавливается через формующие отверстия. Только 20 % подаваемого в матрицу теста выпрессовывается через ее отверстия, основная масса за счет противодействия закручивается в межвинтовом пространстве шнека и перемещается в противоположном направлении. Перед матрицей происходит послойное перемещение теста вперед и назад. Это ведет к переходу

механической энергии движения слоев теста в тепловую, в результате чего тесто приобретает большую пластичность, его температура повышается на 10...12 °С. Для поддержания оптимальной температуры теста перед матрицей шнековая камера снабжена водяной рубашкой. Оптимальной температурой формования является 45...50 °С. С повышением температуры вязкость теста уменьшается, и скорость формования возрастает. Однако выше температуры 55 °С начинается денатурация белков и клейстеризация крахмала. Тесто становится неэластичным, рвется, изделия получают с шероховатой поверхностью. Снижение температуры приводит к уменьшению скорости формования.

Вакуумирование теста – удаление воздуха из макаронного теста. Назначение вакуумирования заключается в удалении газообразной фазы из макаронного теста для улучшения качества макаронных изделий: их внешнего вида, прочностных и варочных свойств.

Для вакуумной обработки одно из корыт тестосмесителя, либо часть шнековой камеры герметически закрывается. Вакуум создается с помощью вакуумного насоса. Вакуумирование макаронного теста можно проводить в шнековом макаронном прессе либо на стадии замеса, либо на стадии уплотнения. Первый вариант более предпочтителен, так как из рыхлого крошковатого теста легче удалить воздух.

При увеличении длительности вакуумирования, давления прессования или при уменьшении остаточного давления в зоне вакуума содержание воздуха в тесте уменьшается. Установлено, что содержание воздуха меньше в тесте из муки твердой пшеницы для макаронных изделий, чем в хлебопекарной. Оптимальным режимом считается режим вакуумирования при остаточном давлении не более 40...10 кПа в течение не менее 7 мин.

При формовании теста после вакуумной обработки, прочность сырых изделий повышается в среднем на 40 %, а прочность сухих изделий в среднем на 20 %.

Вакуумированные изделия отличаются гладкой поверхностью более ярким желтым цветом, лучшими прочностными (сокращается доля крошки) и варочными свойствами: количество сухих веществ в варочной воде снижается, изделия более устойчивы к слипанию, лучше сохраняют форму при некотором увеличении длительности варки.

2.1.3 ДВИЖЕНИЕ ТЕСТА В ШНЕКОВОЙ КАМЕРЕ

При рассмотрении процесса перемещения и прессования макаронного теста в шнековой камере принято различать четыре зоны (рис. 1.5):

I – прием и транспортирование теста,

II – прессование (уплотнение),

III – перемещение спрессованного теста по виткам шнека,

IV – нагнетание спрессованного теста по шнеку к прессовой головке, подача его к матрице и выпрессовывание через формующие отверстия матрицы.

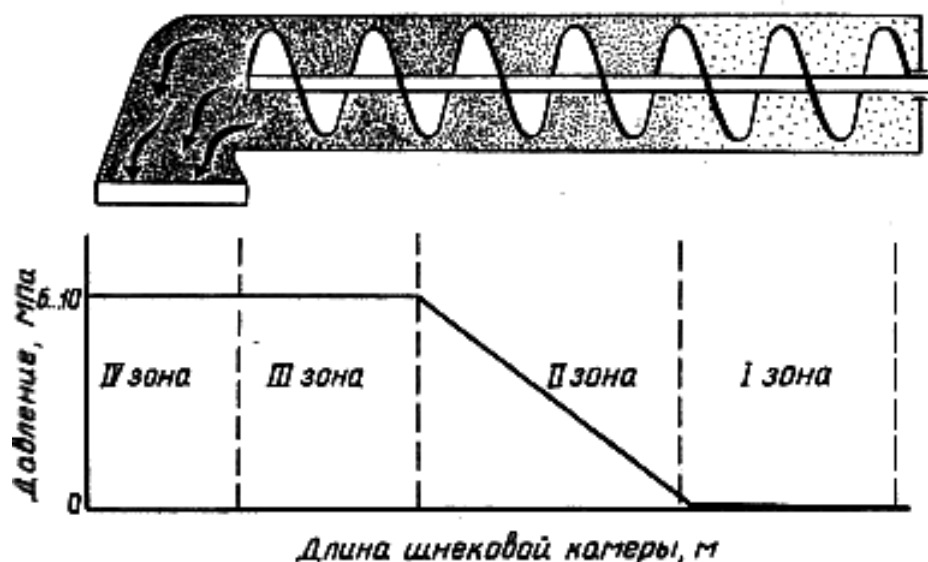


Рис.1.5. Деление прессующего устройства шнекового пресса на зоны

Из корыта тестосмесителя пресса макаронное тесто в виде неоднородной сыпучей массы, состоящей из отдельных комков и крошек, поступает в I приемную зону нагнетающего шнека. Здесь тесто частично заполняет межвитковое пространство шнека и, следовательно, не полностью покрывает поверхность витков шнека и шнековой камеры.

Непрерывная винтовая поверхность, образуемая витками шнека, при вращении соприкасается с частицами теста и оказывает на них давление. Частицы теста в I зоне перемещаются в основном поступательно, а от вращательного движения их удерживает сила собственной массы. Поскольку эта зона не заполнена тестом полностью и плотно, в ней отсутствует давление, и тестовая масса перемещается, как в обычном транспортном шнеке для кускового или сыпучего материала. Поэтому процесс перемещения в I зоне обусловлен степенью заполнения тестом объема винтовой полости и характеризуется отсутствием давления и в основном неизменной объемной массой комкообразного и крошкообразного теста. В этой зоне тестовая масса перемещается свободно и ее частицы не связаны одна с другой. Концом приемной зоны считается та часть шнековой камеры, где начинается уплотнение теста и происходит нарастание давления.

Во II зоне в отличие от I зоны тестовая масса уплотняется, и степень связанности частиц увеличивается. Сначала заполняется свободный межвитковый объем шнека, а затем тесто уплотняется за счет уменьшения промежутков между частицами и вытеснения из него значительного количества воздуха. При этом увеличиваются число и поверхность контактов между частицами теста. Далее происходит пластическая деформация самих частиц, которая приводит к сближению внутренних поверхностей, склеиванию частиц друг с другом клейковинными нитями и пленками. После этого наступает такой момент, когда вследствие слипания отдельных частиц в непрерывную связанную массу тесто перестает вести себя, как сыпучая масса, и начинает

оказывать сопротивление перемещению, как целое вязкопластичное тело. Частицы теста под воздействием вращающейся винтовой поверхности шнека получают два движения: поступательное – вдоль оси шнека, и вращательное – вокруг оси шнека. Во II зоне в результате постепенного сжатия и максимального уплотнения теста обеспечивается рост давления от нуля до величины давления прессования. С ростом давления тестовой массы увеличивается сила сцепления частиц между собой (прочность когезии) и с поверхностями шнека и шнековой камеры (прочность адгезии). В конце II зоны тесто, замедляя движение, плотно заполняет объем винтовой полости шнека. В этой зоне кроме основной операции прессования шнек, путем интенсивного перемешивания продолжает процесс замеса – проминку теста. Одновременные замес и прессование способствуют не только уплотнению, но и пластификации теста.

Тесто, уплотненное во II зоне, перемещается в III зону и под действием давления поддерживается в таком состоянии. Спрессованная масса теста, как и во II зоне, совершает вращательно-поступательное движение с относительным послойным перемещением частиц. К концу III зоны тесто приобретает сплошную однородную структуру, чему способствует продолжающийся в этой зоне процесс проминки теста. При этом в результате трения внутренних слоев теста между собой и трения теста о поверхность шнека и шнековой камеры происходит разогрев тестовой массы, в результате чего увеличиваются ее пластичность и текучесть.

В конце III зоны (последний виток шнека) спрессованная масса теста выходит из винтовой полости шнека и поступает в IV зону в виде закрученного пульсирующего потока. Выходя из шнека с неодинаковой осевой скоростью, тесто преодолевает силу давления в прессовой головке, входит в нее и распределяется по ее сечению. Давление в IV зоне обусловлено двумя факторами: величиной подачи теста вращающимся шнеком к матрице и сопротивлением формирующих отверстий матрицы продавливанию теста. Соотношение этих двух параметров определяет также и скорость выпрессовывания (формования) теста через матрицу, т.е. производительность прессы.

2.2 ОСОБЕННОСТИ СУШКИ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ КАК КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Макаронные изделия по своей структуре относятся к капиллярно-пористым материалам. Подобные материалы содержат влагу, которая связана с веществом силами различной природы. Причем характер связи влаги с материалом имеет решающее значение для процесса сушки. Как известно (по П.А.Ребиндеру), основными формами связи влаги с материалом являются химическая, физико-химическая и механическая.

В случае *химической связи* вода удерживается молекулами вещества за счет сил химического взаимодействия. Для ее удаления требуется подвод большого количества тепла или химическое воздействие на высушиваемый материал.

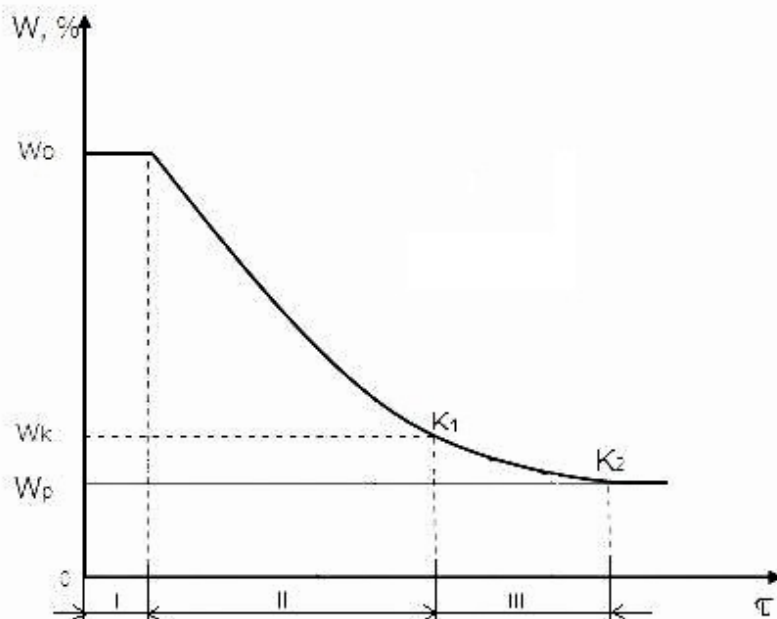


Рис. 1.6. Изменение влажности материала во времени (кривая сушки)

Физико-химическая связь предполагает наличие адсорбционно связанной, осмотически поглощенной и структурной влаги. Адсорбционно связанная влага наиболее прочно удерживается материалом. Осмотически поглощенная и структурная влага (влага набухания) менее прочно связана с материалом. Ее количество в материале во много раз превышает содержание адсорбционно связанной влаги.

Механически связанная влага – это влага, находящаяся в макро- ($r > 10^{-5}$ см) и микрокапиллярах ($r < 10^{-5}$ см) тела, а также влага смачивания. Капиллярная связь обусловлена силами поверхностного натяжения и капиллярным давлением. Капиллярная влага более прочно связана с материалом, чем влага набухания. Влага смачивания находится в порах и пустотах тела, а также на его поверхности. Это наименее прочно связанная влага.

Таким образом, наиболее трудно удаляемая при сушке влага – это адсорбционная, осмотическая, капиллярная и структурная.

Особенности протекания процесса сушки наглядно видны при рассмотрении кривых сушки. Кривые сушки характеризуют зависимость изменения влажности материала (в % к массе сухого вещества) во времени (рис. 1.6).

В начале процесса сушки влажность незначительно убывает в течение небольшого отрезка времени – участок I. Этот период соответствует прогреву материала.

Затем на участке II наблюдается линейная зависимость изменения влажности во времени, т.е. процесс сушки идет с постоянной скоростью.

В точке K_1 , когда влажность материала достигает своего критического значения W_k , скорость сушки начинает монотонно снижаться (отрезок K_1K_2) – участок III.

В точке K_2 влажность материала достигает равновесного при данных условиях (t, p) значения W_p . При этом скорость сушки становится равной нулю – процесс завершается.

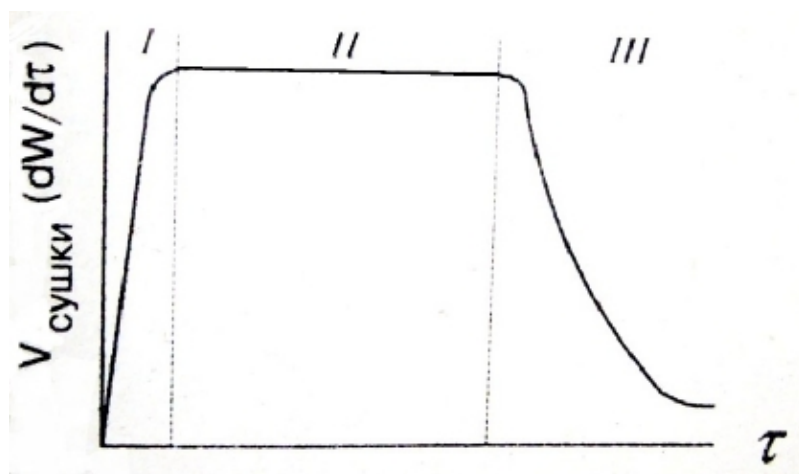


Рис. 1.7. Изменение скорости сушки во времени

Сушка макаронных изделий, как капиллярно-пористых материалов, также протекает в три периода (рис. 1.7).

Первый период (I) – период прогрева изделия по всему объему. В конце этого периода наблюдается значительный рост скорости сушки. Второй период (II) характеризуется постоянной скоростью сушки. Он обусловлен удалением, в

основном, той части влаги, которая наименее прочно связана с крахмалом. В третьем периоде (III) происходит обезвоживание белковой части изделий, которая удерживает влагу более прочно, чем крахмал.

Трудность сушки макаронных изделий заключается в том, что в слое крутого макаронного теста возникают большие градиенты влажности. Они приводят к развитию внутренних напряжений, что может обусловить растрескивание изделий. Поэтому при сушке необходимо создавать режимы, при которых разность между влажностью наружных и внутренних слоев была минимальна. Для реализации этого условия на практике используют трехстадийный или пульсирующий режим сушки (рис. 1.8).

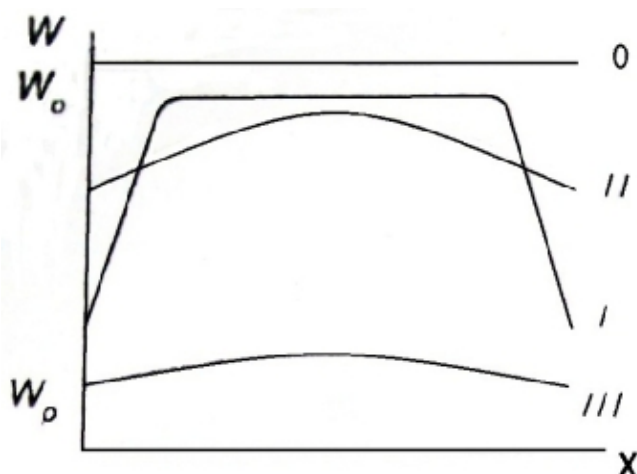


Рис. 1.8. Пульсирующий режим сушки макаронных изделий

0 стадия: $W = W_0 = \max$; $\frac{dW}{dx} = 0$

I стадия: $\frac{dW}{dx} \rightarrow \max$

II стадия: $\frac{dW}{dx} \rightarrow \min$

III стадия: $W \rightarrow W_p$; $\frac{dW}{dx} \rightarrow 0$

0 стадия – исходное (равномерное) распределение влаги по толщине X сырых макаронных изделий.

I стадия – жесткий режим сушки (высокая температура и низкая относительная влажность); при этом стабилизируется форма изделия, предотвращается его вытягивание и закисание.

II стадия – отволаживание; в сушильной камере создается высокая относительная влажность воздуха и температура; происходит увлажнение поверхностного слоя и, как следствие этого, снижается градиент влажности и внутренние напряжения.

III стадия – окончательная сушка; мягкий режим – скорость испарения влаги соизмерима со скоростью ее подвода из внутренних слоев изделия к наружным.

После завершения сушки макаронные изделия медленно охлаждаются (стабилизируются) в специальных накопителях и направляются на упаковку.

Контрольные вопросы

1. Дайте классификацию типов замеса макаронного теста в зависимости от влажности. Какой тип замеса следует применять при изготовлении коротких изделий и макарон с кассетной сушкой?
2. Дайте классификацию типов замеса в зависимости от температуры воды, добавляемой при замесе макаронного теста. Какой тип замеса следует применять при низком содержании и слабой клейковине в муке?
3. Какова оптимальная температура формования сырых макаронных изделий? Что будет, если температура на стадии формования станет выше оптимальной?
4. Сформулируйте основную цель вакуумирования теста. Каков оптимальный режим вакуумирования?
5. В какой зоне шнековой камеры макаронного пресса происходит пластификация теста? Чему это способствует?
6. Перечислите основные формы связи влаги с материалом. Какая влага наиболее трудно удаляется при сушке макаронных изделий?
7. Назовите причины, которые при сушке могут привести к растрескиванию макаронных изделий.
8. Дайте характеристику трехстадийного (пульсирующего) режима сушки.

Раздел 3 НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

3.1 ОСОБЕННОСТИ РАЗРЫХЛЕНИЯ КОНДИТЕРСКОГО ТЕСТА

Кондитерское тесто – кондитерский полуфабрикат, полученный замешиванием муки, сахара, жира и других добавлений и предназначенный для выпечки.

Разрыхлители, входящие в рецептуру большинства изделий, выполняют основную технологическую роль: разрыхляют тесто или тестовые заготовки и обеспечивают получение изделий пористой структуры. Известны три способа разрыхления кондитерского теста: механический; биологический (с помощью дрожжей) и химический (с помощью солей).

Разрыхление теста *механическим способом* происходит под воздействием диоксида углерода, кислорода или воздуха, поступающих под давлением или разряжением в тестомесительную машину при замесе теста. При выпечке пузырьки газообразной фазы расширяются и образуют пористую структуру (бисквитное тесто и полуфабрикат, белковый полуфабрикат).

Разрыхление теста *биологическим способом* происходит под действием диоксида углерода, выделяемого в результате брожения в присутствии дрожжей. Биологический способ применяется при выработке изделий с меньшим содержанием сахара и жира (крекеры, галеты, кексы).

Химический способ заключается в разрыхлении теста под действием диоксида углерода и газообразных веществ, выделяемых при разложении химических разрыхлителей. В производстве мучных кондитерских изделий он применяется как основной способ разрыхления теста при выработке изделий с высоким содержанием сахара и жира, которые угнетающе действуют на дрожжи.

При химическом способе разрыхления теста используются щелочные, щелочно-кислотные и щелочно-солевые разрыхлители.

Щелочные разрыхлители: гидрокарбонат натрия (двууглекислый натрий, питьевая сода), карбонат аммония, углеаммонийная соль.

Разрыхление теста химическими разрыхлителями происходит в процессе выпечки тестовых заготовок (печенье сахарное, затяжное, вафельные листы, пряники). При достижении температуры 60 °С разлагается карбонат аммония:



Выделяется около 82 % газообразных веществ (аммиак, диоксид углерода) и около 18 % паров воды.

Углеаммонийная соль, используемая как заменитель карбоната аммония, при разложении дает те же газообразные вещества, но в меньшем количестве:



Количество углеаммонийной соли по сравнению с карбонатом аммония по этой причине должно быть на 30 % больше. Изделия, разрыхленные карбонатом аммония или его заменителем, приобретают запах аммиака, который сохраняется некоторое время. Для устранения этого недостатка данный разрыхлитель используют вместе с гидрокарбонатом натрия.

При температуре 80...90 °С разлагается гидрокарбонат натрия:



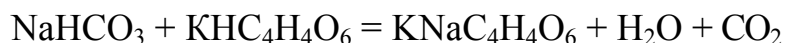
Большим недостатком гидрокарбоната натрия является образование при его разложении карбоната натрия Na_2CO_3 в количестве 63 % от массы гидрокарбоната, сообщающего изделиям щелочную реакцию. Щелочная реакция способствует реакции меланоидинообразования и карамелизации сахаров. Окраска поверхности изделия приобретает желтоватый оттенок разной интенсивности, а сами изделия – специфический привкус. При избытке проявляются неприятные привкус и аромат.

При разложении гидрокарбоната натрия выделяется в свободном виде только 50 % диоксида углерода.

Рецептурами предусмотрены дозировки гидрокарбоната натрия 0,4...0,7 % и карбоната аммония 0,5...0,08 % в зависимости от вида изделия. Допускается варьирование количества разрыхлителей в зависимости от качества муки в интервале ± 15 % для гидрокарбоната натрия (к массе разрыхлителя) и уменьшение дозировки карбоната аммония не более 50 % (к массе разрыхлителя). В производстве пряников куполообразной формы дозировка карбоната аммония превышает дозировку гидрокарбоната натрия более чем в два раза.

К щелочно-кислотным разрыхлителям относят разрыхлители, позволяющие получить изделия с нейтральной реакцией. Они состоят из гидрокарбоната натрия и какой-либо кислоты или кислой соли.

В качестве кислой соли может быть использован калий виннокислый. Кислые соли реагируют с гидрокарбонатом натрия в процессе выпечки следующим образом:

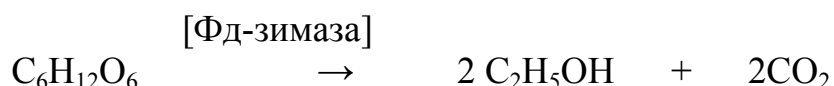


Если вместо кислой соли использовать кислоту, то реакция начинает проходить в тесте до выпечки.

Использование щелочно-кислотных и щелочно-солевых разрыхлителей не нашло применения в отечественной кондитерской промышленности, так как получаемые изделия по вкусу и аромату значительно отличаются от

традиционных изделий, привычных для потребителя. Однако их использование целесообразно при выработке специальных сортов диетического назначения.

Дрожжи позволяют устранить недостаток химических разрыхлителей и получать изделия, имеющие кислую реакцию. С участием амилалитических ферментов муки и дрожжей в тесте накапливаются сахара. Фермент дрожжей зимаза сбрасывает сахара с образованием углекислого газа и спирта.



Таким образом, разрыхление теста происходит в процессе тестообразования. Использование дрожжей по сравнению с химическими разрыхлителями приводит к удлинению производственного цикла и увеличению потерь.

3.2 ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СВОЙСТВА ТЕСТА И ПРОЦЕСС ТЕСТООБРАЗОВАНИЯ

Процесс тестообразования, свойства теста зависят в значительной степени от технологических параметров: температуры, продолжительности и интенсивности замеса.

Влияние температуры выражается в степени набухания коллоидов муки. С изменением температуры возрастает скорость диффузии молекул воды. Молекулы сахара частично дегидратируют, увеличивается количество свободной воды. Это приводит, с одной стороны, к более полному набуханию коллоидов муки, а с другой – к растворению кристаллического сахара.

С повышением температуры теста ускоряются физические, коллоидные и биохимические процессы, определяющие формирование теста с определенными структурно-механическими свойствами.

Изменением температуры регулируют структуру, физические и реологические свойства теста. В зависимости от этих свойств кондитерское тесто может быть отнесено к следующим трем основным видам:

- 1) упруго-пластично-вязкое (затяжное тесто, крекеры, галеты);
- 2) пластично-вязкое (сахарное и песочное тесто);
- 3) слабоструктурированное (вафельное и бисквитное тесто).

Пластично-вязкое тесто (сахарное, песочное) образуется в условиях ограниченного набухания коллоидов муки, поэтому температура его должна быть ниже, чем температура теста, обладающего упруго-пластично-вязкими свойствами (затяжное, крекерное, галетное). В таком тесте коллоиды муки должны быть более набухшими.

Для каждого вида теста существует свой оптимум температур, °С:

| | |
|---------------------------|---------|
| Сахарное, песочное..... | 22...25 |
| Затяжное..... | 38...40 |
| Галетное и крекерное..... | 32...35 |

| | |
|--|------------|
| Пряничное (пряники типа «Тульские»)..... | не выше 22 |
| Заварное..... | 28...36 |
| Бисквитное..... | 20...25 |
| Вафельное..... | до 20 |

На температуру теста оказывает влияние, прежде всего, температура сырья, входящего в рецептуру теста. Так же большое влияние оказывает температура жидких компонентов – воды и молока, идущих на замес. При этом необходимо учитывать не только температуру вносимых основных компонентов сырья, но и изменение температуры теста за счет выделения теплоты гидратации частичек муки, теплоты, выделяемой в результате химических реакций, перехода части механической энергии в тепловую при замесе теста.

Температура в помещении, где идет замес и обработка теста, не должна резко отличаться от температуры теста. Обработку теста с температурой 32...40 °С необходимо проводить в помещении с температурой не ниже 20 °С. При обработке теста в холодном помещении температура теста должна быть ниже обычной, иначе ухудшается качество изделий.

Продолжительность замеса теста влияет, прежде всего, на степень набухания коллоидов муки, а следовательно, на структуру и свойства теста.

Перемешивание составных компонентов теста в начальной стадии замеса способствует гидратации частичек муки, адсорбции молекул воды на поверхности белковых молекул и зерен крахмала. Благодаря перемешиванию теста происходит постепенная дегидратация набухших белковых мицелл, приводящая к их агрегированию и образованию структурного клейковинного каркаса в тесте.

Перемешивание ускоряет растворение кристаллического сырья, гидратацию молекул сахарозы, способствует более частым контактам частичек муки и пленок воды, набуханию коллоидов муки.

При перемешивании достигается равномерное распределение всех видов сырья в тесте, его однородность, что обеспечивает одновременное протекание коллоидных и биохимических процессов во всей массе теста.

Продолжительность замеса, естественно, будет зависеть от тех факторов, которые определяют протекание коллоидных процессов в тесте. К ним относятся: количество и качество клейковины муки, количество свободной воды, температура теста, интенсивность замеса.

Чем больше количество клейковины в муке и лучше ее качество, тем продолжительнее замес. Такая мука обладает большей водопоглотительной способностью и меньшей скоростью набухания.

Чем больше в тесте свободной и гидратированной воды, тем быстрее при перемешивании с мукой происходит образование теста. Продолжительность замеса в этом случае зависит от типа теста и необходимых его физических свойств. Для образования пластично-вязкого теста с ограниченно набухшими белками муки продолжительность замеса должна быть минимальной и достаточной для формирования однородного теста.

Продолжительность замеса упруго-пластично-вязкого теста зависит от соотношения массы свободной и гидратированной воды на единицу массы муки. Чем больше масса свободной воды в тесте, тем при прочих равных условиях короче продолжительность замеса, и наоборот.

С повышением температуры теста ускоряются диффузионные, коллоидные и биохимические процессы, участвующие в формировании структуры теста. Поэтому продолжительность замеса с повышением температуры уменьшается. Замес теста также ускоряется при повышении начальной температуры рецептурной смеси.

На продолжительность замеса теста влияет конструкция лопастей мешалки и частота вращения. Увеличение частоты вращения лопастей сокращает продолжительность замеса, т.к. быстрее достигается тот критический рубеж дегидратации белковых мицелл, за которым следует их агрегирование и образование структурного каркаса. Так, с изменением частоты вращения вала в месильной машине от 18...25 до 80 об/мин продолжительность замеса затыжного теста сокращается в три и более раз. Однако при этом необходимо учитывать, что чрезмерно высокая частота вращения лопастей мешалки может вызывать механическое разрушение клейковинного каркаса теста, кроме того, увеличится выделение теплоты за счет трения. В первом случае это ухудшает структурно-механические свойства упруго-пластично-вязкого теста, во втором – свойства пластично-вязкого теста.

При получении пластично-вязкого теста (сахарного и песочного) продолжительность замеса должна быть минимальной и обеспечивать равномерное распределение сырья и получение связанного теста. При получении упруго-пластично-вязкого теста (затыжное тесто, крекеры, галеты) время замеса увеличивают. Продолжительность замеса теста из муки со слабой клейковиной должна быть меньше, чем из муки с сильной клейковиной.

3.3 ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРНЫХ КОМПОНЕНТОВ ТЕСТА НА ЕГО СВОЙСТВА И ПРОЦЕСС ТЕСТООБРАЗОВАНИЯ

Влияние качества муки. Из свойств муки наиболее важными являются количество и качество клейковины. От содержания и качества клейковины в значительной степени зависит водопоглотительная способность муки, а следовательно, влажность теста и его структурно-механические свойства. Чем выше качество клейковины, тем больше мука при замесе теста поглощает воды. Возрастает влажность теста, отчего удлиняется процесс выпечки изделий. При использовании муки с сильной клейковиной наблюдается деформация изделий в процессе выпечки. Поэтому для получения пластично-вязкого теста используется пшеничная мука со слабой и средней по качеству клейковиной. Для получения упруго-пластично-вязкого теста – мука со слабой клейковиной.

Влияние сахаров. Установлено, что водопоглотительная способность муки и количество отмываемой сырой клейковины уменьшаются по мере увеличения количества сахара в тесте. В водном растворе молекулы сахарозы притягивают молекулы воды, покрываются гидратными оболочками, что увеличивает их

межмолекулярный объем, снижает скорость диффузии при осмотическом набухании белков муки. Таким образом, с увеличением количества сахара в тесте количество коллоидно-связанной воды будет уменьшаться, а количество гидратированной молекулами сахаров воды – увеличиваться, что будет приводить к разжижению теста. Чем больше концентрация сахара в жидкой фазе теста, тем меньше остается свободной воды, участвующей в набухании коллоидов муки, медленнее протекает процесс набухания белковых веществ. Кроме того, сахар повышает осмотическое давление в жидкой фазе теста, что также уменьшает набухание коллоидов муки. Таким образом, изменяя содержание сахара и воды в рецептуре изделия, можно регулировать структурно-механические свойства теста.

Влияние жиров. Важную роль в образовании структуры теста играют жиры. При этом имеет значение не только химический состав жира, но и его физическое состояние. Жиры должны быть пластичными, а не жидкими. В этом случае при замесе теста они образуют тонкие пленки, обволакивающие и смазывающие частицы муки, препятствуя проникновению воды. Значительная часть жира в тесте связывается клейковиной и крахмалом. Механизм взаимодействия липидов муки и вносимых жиров с компонентами теста в значительной мере зависит от химического состава используемого жира и муки. Чем выше содержание в жире триглицеридов ненасыщенных жирных кислот, тем он больше связывается белками. Жиры в зависимости от состава и свойств изменяют структуру белковых частиц либо путем прямого взаимодействия их с различными химическими группами в составе макромолекул белка, либо путем косвенного воздействия на его структуру, адсорбируясь на поверхности белковых молекул. Жиры изменяют свойства пшеничного крахмала при замесе теста в результате образования ими комплексов с амилозной фракцией крахмала.

Влияние количества воды. От количества воды, вносимой на замес, зависят влажность, консистенция теста, его физические свойства, скорости протекания коллоидных и ферментативных процессов в тесте. Вода способствует набуханию коллоидов муки, растворению составных частей муки и кристаллического сырья, вносимого в тесто. Количество воды, идущее на замес, зависит от вида теста и водопоглотительной способности муки. Последняя, в свою очередь, зависит от количества и качества клейковины, влажности, выхода и крупноты помола муки, физического состояния крахмальных зерен. При понижении влажности муки на 1 %, а также с увеличением выхода муки водопоглотительная способность повышается на 1,8...1,9 %. Чем крупнее частицы муки, тем меньше их удельная поверхность, следовательно, они меньше связывают воду за данный отрезок времени.

На водопоглотительную способность муки оказывают влияние присутствующие в тесте другие вещества, прежде всего сахар и жир. Водопоглотительная способность муки при добавлении 1 % сахара уменьшается на 0,6 %.

От количества добавленной воды зависит влажность теста, которая предопределяется соотношением между осмотической и адсорбционно-связанной водой, составными частями муки и количеством свободной и гидратированной воды, удерживаемой молекулами растворенных веществ. Чем больше масса адсорбционно-связанной, свободной и гидратированной воды в тесте, тем выше его влажность.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия «кондитерское тесто».
2. Почему для приготовления мучных кондитерских изделий наиболее широко применяют химический способ разрыхления?
3. Дайте рекомендацию по выбору щелочного разрыхлителя для мучных изделий.
4. Назовите основные виды кондитерского теста в зависимости от его структуры, физических и реологических свойств.
5. Как влияет температура на свойства теста и процесс тестообразования?
6. На какой фактор влияет в первую очередь продолжительность замеса?
7. Чем определяется продолжительность замеса упруго-пластично-вязкого теста?
8. С какой клейковиной может быть использована мука для получения пластично-вязкого теста?
9. На какие структурные компоненты муки влияют жиры в процессе тестообразования?
10. Почему увеличение количества сахара в тесте приводит к его разжижению?

Глава 2 НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ БРОДИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Раздел 1 НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПИВА



Функциональная схема производства пива приведена на рис. 2.1. В данном разделе будут рассмотрены основные процессы, протекающие на стадии приготовления пивного сусла и при брожении пива.

1.1 ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ПИВНОГО СУСЛА

Пивное сусло – это водный раствор экстрактивных веществ, извлеченных из применяемых для производства пива зернопродуктов. Наиболее значимой операцией при получении пивного сусла является приготовление затора, от качества проведения которой зависит экстрактивность пивного сусла и выход готового продукта. Большинство компонентов дробленного солода являются нерастворимыми, а в пиво могут перейти только растворимые вещества.

Цель затирания – экстрагирование растворимых веществ солода и несоложенного сырья и превращение под действием ферментов нерастворимых веществ в растворимые с последующим переводом их в раствор. Вещества, перешедшие в раствор, называют *экстрактом*.

Затирание включает три стадии: смешивание дробленного солода и несоложенного зернового сырья с водой, нагревание и выдержка полученной смеси при определенном температурном режиме. Смесь дробленных зернопродуктов с водой называют *затором*.

Приготовление затора начинают со смешивания дробленного солода и другого сырья с водой при температуре 37...40 °С в соотношении 1 : 4.

Рис. 2.1. Функциональная схема производства пива

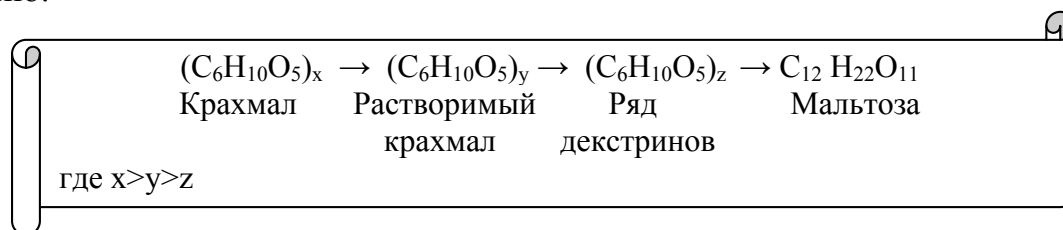
а) Основные процессы, протекающие при затирации

Основное количество экстракта образуется при затирации, благодаря действию ферментов, поэтому процессы, протекающие при затирации это, прежде всего, *биохимические процессы*.

❖ *Действие амилолитических ферментов на крахмал при затирации*

В дробленном солоде и несоложенном сырье содержится значительная часть крахмала, не растворяющегося в воде, который в процессе затирации подвергается расщеплению амилолитическими ферментами (α - и β -амилазами).

В общем виде гидролиз крахмала можно представить как ступенчатую реакцию:



Гидролиз крахмала условно делят на три стадии:

⇒ *клеистеризация крахмала*: нарушение структуры крахмальных зерен вследствие ослабления и разрыва водородных связей между макромолекулами амилозы и амилопектина;

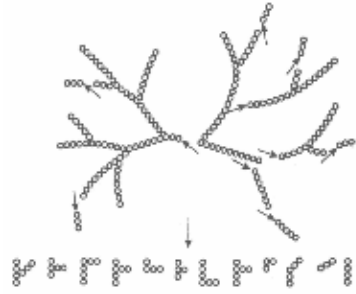
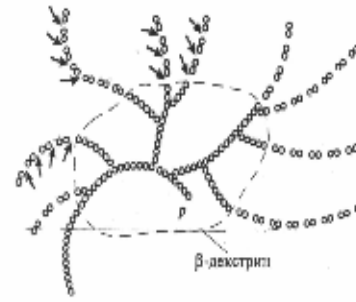
⇒ *разжижение крахмального клейстера*: длинные цепочки молекул крахмала разрываются под действием ферментов, образуются декстрины, вязкость клейстера уменьшается;

⇒ *осахаривание* – превращение большей части крахмала в сахара, преимущественно в мальтозу.

На стадии гидролиза крахмала ферменты работают по-разному (табл.2.1).

Таблица 2.1

Действие амилолитических ферментов на крахмал при затирации

| | | |
|---------------------------------|--|---|
| α -амилаза 70...75 °C | α -амилаза оказывает <i>декстринизирующее действие</i> на крахмал. Она разрывает в молекуле крахмала связи, преимущественно в середине цепей амилозы и амилопектина, образуя при этом низкомолекулярные декстрины и немного мальтозы |  |
| β -амилаза 62...65 °C | β -амилаза оказывает <i>осахаривающее действие</i> на крахмал. Она последовательно отщепляет от нередуцирующих концов цепей по два остатка глюкозы, т.е. мальтозу. Поэтому продуктами гидролиза крахмала являются в основном мальтоза и высокомолекулярный β -декстрин |  |

Таким образом, α - и β -амилаза не могут полностью гидролизовать крахмал. При совместном их действии гидролиз может достичь только 95 %. Полного гидролиза крахмала можно достичь, добавляя глюкоамилазу микробного происхождения, в виде ферментного препарата, которая отщепляет от нередуцирующих концов молекулы крахмала по одному остатку глюкозы.

Температурный оптимум для действия α -амилазы примерно 70°C , для β -амилазы – около 63°C . Поэтому, если необходимо в сусле иметь больше декстринов, то осахаривание проводят при высоких температурах $70\ldots75^{\circ}\text{C}$ и, наоборот, для накопления большего количества мальтозы, а следовательно, для более глубокого сбраживания, следует процесс вести при $62\ldots65^{\circ}\text{C}$.

Гидролиз крахмала амилазами контролируют по йодной реакции, так как крахмал и продукты его гидролиза дают разный цвет с йодом.

Амилодекстрины (синий) \rightarrow Эритродекстрины (красно-бурый) \rightarrow
Ахродекстрины (цвет не изменяют) \rightarrow Мальтодекстрины (цвет не изменяют) \rightarrow
Мальтоза \rightarrow Глюкоза (цвет не изменяют)

При затирании солода и несоложенных материалов к гидролизу крахмала предъявляют следующие требования:

- сусло не должно содержать амилодекстринов и эритродекстринов, которые дают окрашивание с йодом;
- кроме мальтозы, в сусле должно содержаться определенное количество ахродекстринов и мальтодекстринов, которые придают пиву полноту вкуса, повышают его вязкость.

Обычно при нормально проведенном затирании в результате гидролиза крахмала образуется $70\ldots80\%$ «сырой» мальтозы. К «сырой» мальтозе относят все продукты гидролиза крахмала, обладающие редуцирующей способностью (то есть способностью восстанавливать фелингову жидкость) и пересчитанные на мальтозу.

Светлый солод дает большее количество мальтозы, темный – декстринов. Мальтоза относится к сбраживаемым углеводам, т.к. в дальнейшем легко сбраживается дрожжами, декстрины – к несбраживаемым, т.к. дрожжами не сбраживаются. Для каждого сорта пива должно быть определенное соотношение сбраживаемых углеводов к несбраживаемым. Например, для светлых сортов пива $1:(0,22\ldots0,33)$, для темных сортов пива $1:(0,43\ldots0,54)$.

❖ *Действие протеолитических ферментов на белки при затирании*

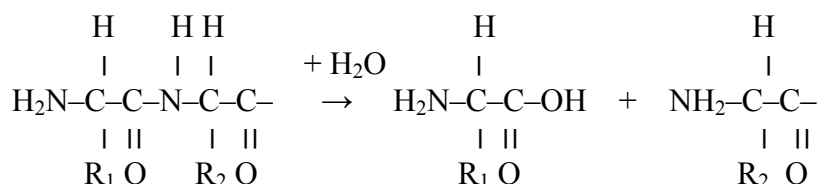
Для получения полноценного пивного сусла расщепление белковых веществ солода и несоложенного зернового сырья имеет такое же большое значение, как и гидролиз крахмала. Часть белковых веществ (около 20 % от их общей массы) расщепляется еще при солодоращении, а при затирании разложение белковых веществ продолжается (расщепляется около 15 % от их общей массы). Этот процесс называют протеолизом.

Протеолитические ферменты (протеазы) – группа ферментов, гидролизующих белок. Классификация ферментов приведена на рис.2.2.

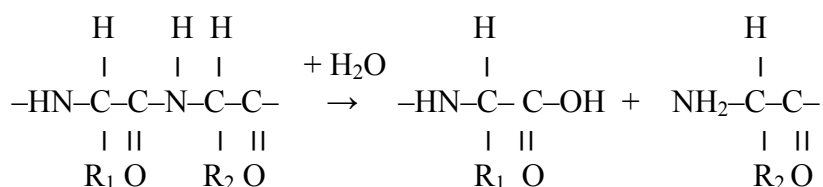


Рис.2.2. Классификация протеолитических ферментов

Среди протеаз различают пептидазы, которые катализируют отщепление от концов пептидной цепи свободных аминокислот:



В отличие от них другая подгруппа протеолитических ферментов, называемая протеиназами, катализирует гидролиз пептидных связей в точках, удаленных от конца молекулы, в результате чего белковая молекула распадается на пептиды:



При солодоращении образуются преимущественно низкомолекулярные продукты протеолиза, а в процессе затирания – высокомолекулярные соединения.

Объясняется это тем, что при солодоращении активнее действуют пептидазы, образующие низкомолекулярные соединения. Оптимальное значение pH для действия этих ферментов находится в слабощелочной среде, близкой к нейтральной. В заторе же поддерживается pH 5,5...5,8, т.е. неблагоприятная для экзопептидаз среда и они чувствительны еще к температуре, с повышением которой инактивируются.

В заторе преимущественно действуют эндо-ферменты, образующие высокомолекулярные соединения – пептоны и полипептиды. Оптимальные условия для действия протеиназ: pH 5,5...6,5, температура 40...50 °C.

Гидролиз белка идет по схеме:

Белок → Пептоны → Полипептиды → Дипептиды → Аминокислоты

Продукты гидролиза белков подразделяются на 3 фракции (по Лундину):

- ⇒ к фракции А относятся высокомолекулярные азотистые соединения, которые снижают стойкость пива;
- ⇒ к фракции В – пептоны, полипептиды, относящиеся к ПАВ и способствующие пенообразованию;
- ⇒ к фракции С – низкомолекулярные соединения – дипептиды и аминокислоты – необходимы для питания дрожжей; аминокислоты также участвуют в образовании вкуса и аромата.

Около 35 % белков (от общего содержания в сырье) должно переходить при затирании в сусло. Рекомендуется следующее соотношение фракций продуктов гидролиза белка (%): А : В : С – 25:15:60. Поэтому недостаточный гидролиз белка приводит к резкому снижению органолептических свойств пива и его стойкости при хранении.

Гидролиз белков проводят при температуре 45...50 °С (белковая пауза), так как именно при этой температуре образуются белковые соединения со средней величиной молекул. Продукты протеолиза, составляющие около 1/3 азотистых веществ затора, потребляются дрожжами при сбраживании пивного сусла, а также придают пиву полноту вкуса, пеностойкость, способствуют связыванию диоксида углерода. Белковые вещества, не подвергшиеся гидролизу (около 2/3 от их массы), выводятся с дробиной.

❖ *Действие цитолитических ферментов на некрахмальные полисахариды при затирании*

Цитолитические ферменты гидролизуют гемицеллюлозы и гумми-вещества, входящие в состав клеточных стенок зернового сырья. При этом образуются декстрины, глюкоза, ксилоза и арабиноза. Продукты гидролиза некрахмальных полисахаридов повышают выход экстракта, снижают вязкость раствора, благоприятно влияют на вкус пива, образование пены и ее устойчивость.

b) Факторы, влияющие на затирание и выход экстракта

Основные факторы, влияющие на выход экстракта и его состав, – это соотношение фермент : субстрат, продолжительность процесса, температура и pH затора.

❖ *Концентрация затора.* С увеличением концентрации затора ферментативные реакции замедляются. Поэтому концентрация затора обычно не превышает 16 %. Обычно на затирание 100 кг зернопродуктов расходуют 350...500 дм³ воды.

❖ *Температура.* Влияние температуры обусловлено температурным оптимумом и термостабильностью ферментов. Так, при 63 °С образуется большое количество мальтозы и мало декстринов. С повышением же температуры до 70 °С гидролиз крахмала протекает быстрее, но вследствие инактивации β-амилазы накапливаются преимущественно декстрины.

Важнейшими при затирации являются температурные паузы, которые задаются при следующих оптимальных для ферментов температурах:

| | |
|------------|---------------------------------|
| 45...50 °С | белковая пауза |
| 62...65 °С | мальтозная пауза |
| 70...75 °С | пауза для осахаривания |
| 78 °С | температура окончания затирации |

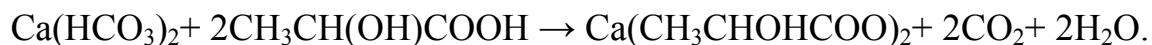
Температура 78 °С является предельной для осахаривания затора, она близка к температуре разрушения α-амилазы, но при 78 °С декстрины еще образуются.

❖ *рН среды.* Оптимум рН для действия ферментов зависит от температуры среды. Как правило, с повышением температуры повышается и рН-оптимум. Так, для совместного действия амилаз при температуре затора 65 °С рН-оптимум 5,6.

❖ *Продолжительность затирации.* С увеличением продолжительности затирации в сусле накапливаются низкомолекулярные продукты гидролиза крахмала и белков.

❖ *Влияние состава воды.* Обычно на затираание 100 кг зернового сырья расходуют 350...500 дм³ воды. При затирации все ферментативные и неферментативные реакции протекают в водной среде, поэтому солевой состав воды оказывает существенное влияние.

Так, например, карбонаты воды, связывая фосфаты солода, снижают кислотность. Для нейтрализации карбонатов в воду добавляют гипс, молочную кислоту или монокальцийфосфат. Молочная кислота, связывая бикарбонат кальция, образует нейтральный лактат кальция и вытесняет угольную кислоту:



Обычно молочную кислоту добавляют в затор в количестве, заранее вычисленном по карбонатной жесткости или остаточной щелочности воды, устанавливая рН затора 5,2...5,5.

Таким образом, изменяя температуру, продолжительность выдержки затора при определенных температурах, а также рН, можно регулировать ферментативные и неферментативные процессы, получать необходимые соотношения между отдельными продуктами гидролиза крахмала и белков.

1.2 ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ СПИРТОВОМ БРОЖЕНИИ

Спиртовое брожение пивного сусла – это анаэробный распад углеводов пивного сусла с образованием этилового спирта, диоксида углерода и побочных продуктов, протекающий в результате жизнедеятельности пивных дрожжей.

❖ *Микробиологические процессы, связанные с размножением дрожжей.*

В пивном сусле содержатся все питательные вещества, необходимые для нормального размножения и развития дрожжей. Наиболее интенсивное размножение дрожжей происходит в начальной стадии главного брожения и заканчивается задолго до конца брожения.

Размножение дрожжей при сбраживании пивного сусла проходит в несколько этапов. На кривой роста (рис.2.3.) можно выделить 4 фазы.

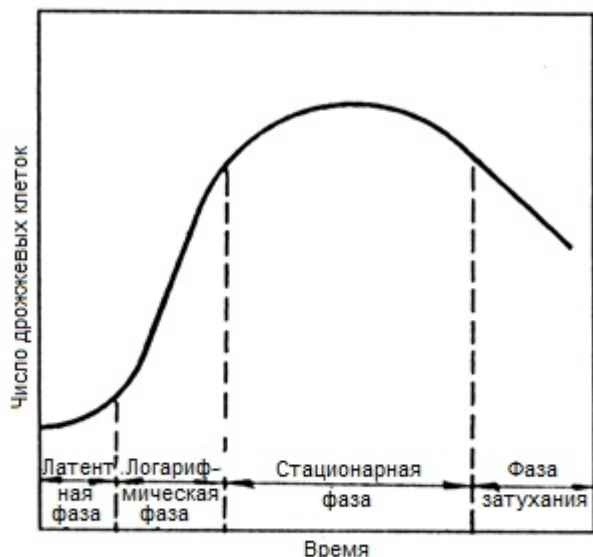


Рис.2.3. Стадии развития дрожжей

I фаза – *латентная* или *лаг-фаза* (задержка роста). Дрожжи приспосабливаются к новой среде и подготавливаются к размножению. Эту фазу условно можно разделить на две части: фазу действительного покоя, когда клетки приспосабливаются к среде, и фазу постепенного начала размножения. Продолжительность латентной фазы для пивных дрожжей 1...1,5 сут.

II фаза – *логарифмическая*, скорость размножения дрожжей максимальная, все клетки активны и находятся в бродящей среде во взвешенном состоянии.

III фаза – *стационарная*, размножение дрожжей замедляется. При этом скорость размножения и скорость отмирания дрожжей уравниваются, в результате число клеток остается без изменения.

IV фаза – *фаза затухания*, характеризуется снижением активности дрожжевых клеток. Это обусловлено уменьшением массы питательных веществ и увеличением количества продуктов обмена. Размножение прекращается, клетки отмирают и оседают на дно бродильного аппарата.

❖ *Микробиологические процессы, протекающие при спиртовом брожении (собственно брожение)*

Основным микробиологическим процессом брожения является превращение сбраживаемых сахаров в результате культивирования дрожжей в этиловый спирт и диоксид углерода, описываемое уравнением Гей-Люссака:



Последовательный ход образования этанола дрожжами из глюкозы может быть представлен следующей схемой (рис.2.4).

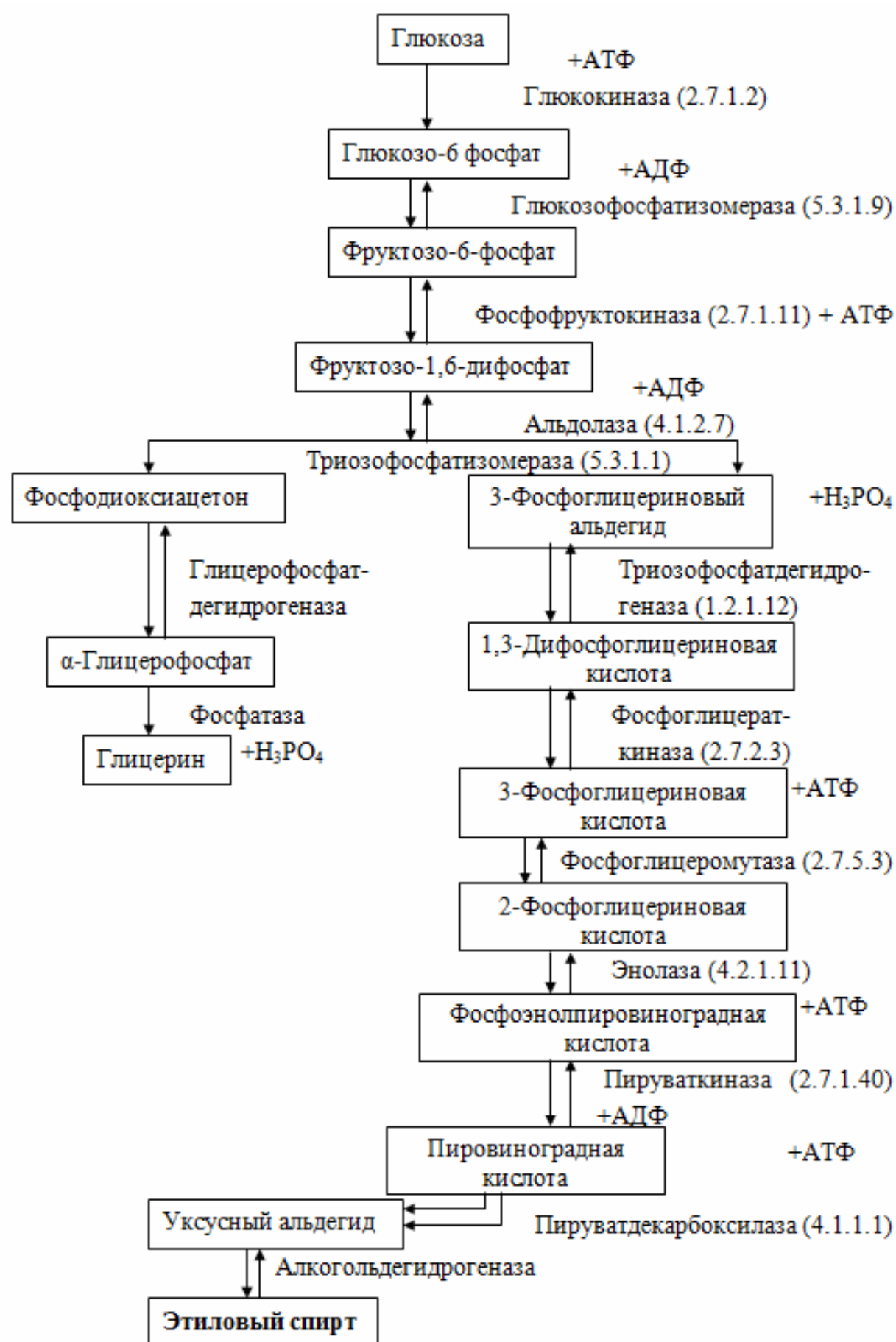


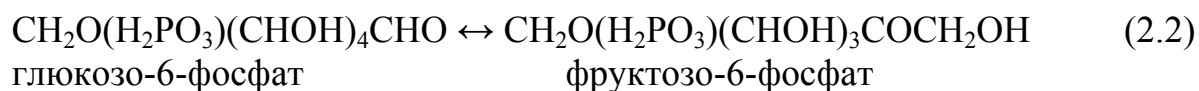
Рис.2.4. Схема спиртового брожения

1 Начальной стадией превращения глюкозы является реакция фосфорилирования при участии фермента глюкокиназы (2.7.1.2). К молекуле глюкозы присоединяется фосфатный остаток от молекулы АТФ, которая находится в клетках дрожжей и образует глюкозо-6-фосфат, а АТФ превращается в АДФ:

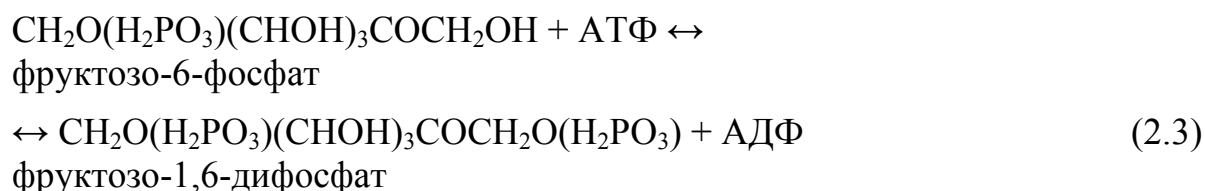


В результате присоединения фосфатного остатка от молекулы АТФ к глюкозе реакционная способность последней возрастает.

2 Глюкозо-6-фосфат путем изомеризации под действием фермента глюкозофосфатизомеразы (5.3.1.9) переходит обратно в форму фруктозы:



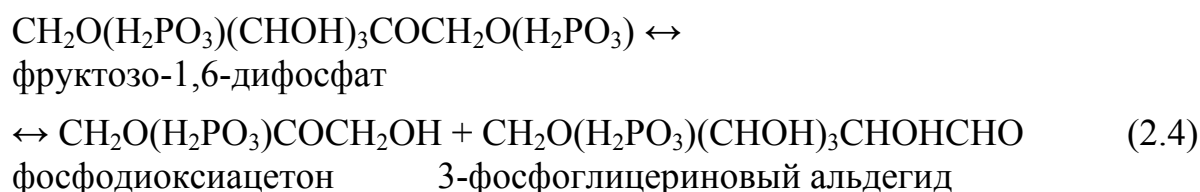
3 Далее под действием фермента фосфофруктокиназы (2.7.1.11) со второй молекулой АТФ переносится еще один фосфорный остаток на фруктозо-6-фосфат и образуется фруктозо-1,6-дифосфат и новая молекула АДФ:



Эфиры глюкозо-6-фосфат и фруктозо-6-фосфат образуют равновесную смесь, получившую название эфира Эмдена и состоящую на 70...75 % из эфира Робисона (глюкозы) и на 25 % из эфира Нейберга (фруктозы).

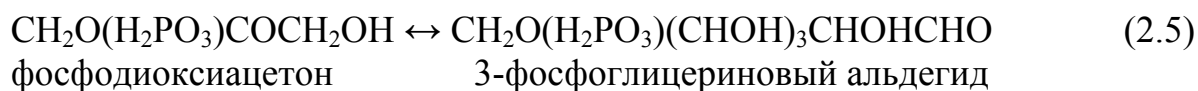
Образованием фруктозо-1,6-дифосфата заканчивается подготовительная стадия спиртового брожения с переносом макроэргических фосфатных связей и с преобразованием гексозы в лабильную оксиформу, легко подвергающуюся дальнейшим химическим превращениям.

4 Следующим важнейшим этапом является десмолиз – распад углеродной цепи фруктозо-1,6-дифосфата с образованием двух молекул фосфотриоз. Симметричное расположение остатков фосфорной кислоты по концам молекулы фруктозы облегчает разрыв её углеродной цепи как раз в середине. Фруктозо-1,6-дифосфат распадается при этом на две триозы: 3-фосфоглицериновый альдегид и фосфодиоксиацетон. Реакция катализируется ферментом альдолазой (4.1.2.7) и обратима:



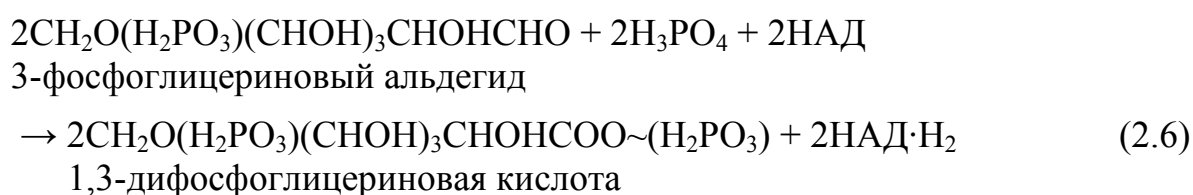
Главная роль в дальнейших превращениях при спиртовом брожении принадлежит 3-фосфоглицериновому альдегиду, но в сбраживаемой жидкости он обнаруживается лишь в незначительном количестве.

Это объясняется взаимным переходом кетозного изомера в альдозный и обратно под действием фермента триозофосфатизомеразы (5.3.1.1).



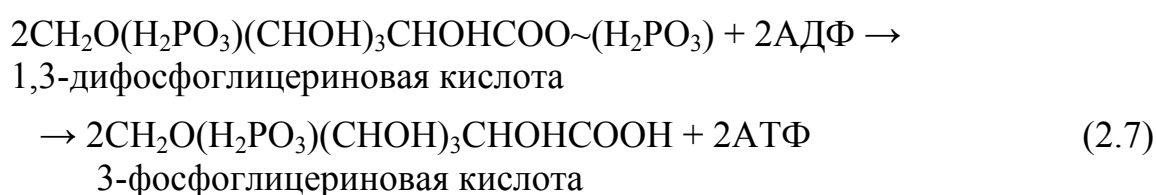
По мере дальнейшего превращения 3-фосфоглицеринового альдегида новые количества его образуются в процессе изомеризации фосфодиоксиацетона.

5 Последующим этапом является окисление двух молекул 3-фосфоглицеринового альдегида. Эта реакция катализируется триозофосфатдегидрогеназой (1.2.1.12), коферментом которой является НАД. В окислении участвует фосфорная кислота среды. Реакция протекает по следующему уравнению:

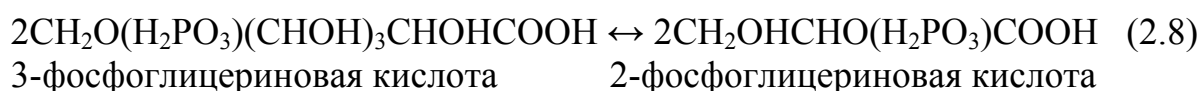


Молекула 3-фосфоглицеринового альдегида присоединяет фосфат, а водород переносится на кофермент НАД, который восстанавливается. Энергия, освобождающаяся в результате окисления 3-фосфоглицеринового альдегида, аккумулируется в макроэргической связи образующейся 1,3-дифосфоглицериновой кислоты.

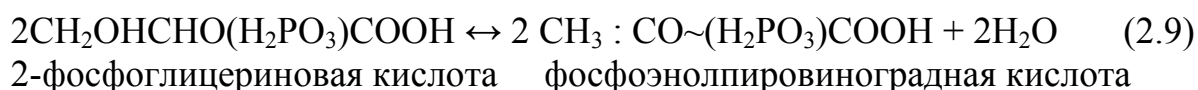
6 Далее фосфатный остаток 1,3-дифосфоглицериновой кислоты, содержащий макроэргическую связь, при участии фермента фосфоглицераткиназы (2.7.2.3) переносится на молекулу АДФ. Образуется 3-фосфоглицериновая кислота, а АДФ, приобретая дополнительную макроэргическую связь, превращается в АТФ:



7 Затем под действием фермента фосфоглицеромутазы (2.7.5.3) остаток фосфорной кислоты перемещается от третьего углерода ко второму, и в результате 3-фосфоглицериновая кислота превращается в 2-фосфоглицериновую кислоту:

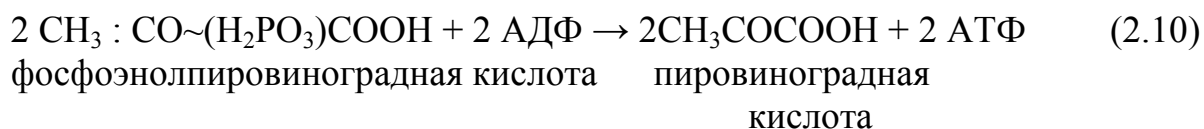


8 Следующей стадией является дефосфорилирование 2-фосфоглицериновой кислоты. При этом 2-фосфоглицериновая кислота под действием фермента энолазы (4.2.1.11) путем дегидратирования превращается в фосфоэнолпировиноградную кислоту:

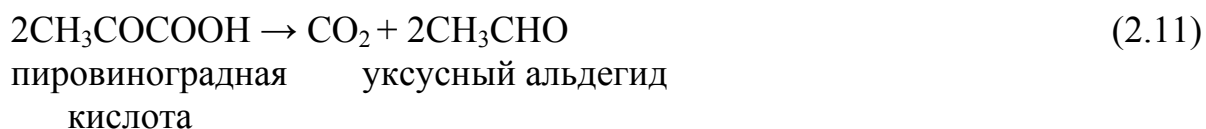


При этом превращении происходит перераспределение внутримолекулярной энергии и большая её часть аккумулируется в макроэргической фосфатной связи.

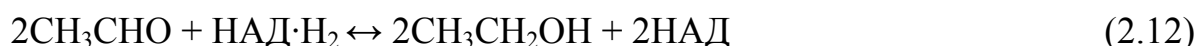
9 Весьма нестойкая фосфоэнолпировиноградная кислота легко дефосфорилируется, при этом остаток фосфорной кислоты под действием фермента пируваткиназы (2.7.1.40) передается вместе с макроэргической связью молекуле АДФ. В результате образуется более устойчивая кетоформа пировиноградной кислоты, а АДФ превращается в АТФ:



10 Пировиноградная кислота под действием фермента пируватдекарбоксилазы (4.1.1.1) декарбоксилируется с отщеплением CO_2 и образованием уксусного альдегида:



11 Уксусный альдегид при участии фермента алкогольдегидрогеназы (1.1.1.1) взаимодействует с НАД·Н₂, образовавшимся ранее при окислении фосфоглицеринового альдегида в фосфоглицериновую кислоту (см. уравнение 2.6). В результате уксусный альдегид восстанавливается в этиловый спирт, а кофермент НАД·Н₂ вновь регенерируется (окисляется в НАД):



Таким образом, завершающим этапом брожения является реакция восстановления уксусного альдегида в этиловый спирт.

Из рассмотренного цикла реакций спиртового брожения видно, что из каждой молекулы глюкозы образуется две молекулы спирта и две молекулы углекислого газа.

В процессе спиртового брожения образуется четыре молекулы АТФ (см. уравнения 2.7 и 2.10), но две из них затрачиваются на фосфорилирование гексоз (см. уравнения 2.1. и 2.3), таким образом запасается всего 2 г-моль АТФ.

На образование каждой грамм-молекулы АТФ из АДФ затрачивается 41,9 кДж, а в энергию двух молекул АТФ переходит соответственно 83,8 кДж. Следовательно, при сбраживании 1 г-моль глюкозы дрожжи получают энергию около 84 кДж. В этом и заключается биологический смысл брожения.

Большая часть экстракта суслу состоит из углеводов, в состав которых входят (%): фруктоза 1...3, глюкоза 8...10, сахароза 2...6, мальтоза 38...50, мальтотриоза 11...19, мальтотетраоза 2...6, декстрины 14...22. Из них сбраживаются глюкоза, фруктоза, сахароза, мальтоза и мальтотриоза, т.е. наибольшая часть экстракта (75 %) состоит из сбраживаемых сахаров.

Несбраживаемая часть экстракта представлена главным образом мальтотетраозой, декстринами, белками и минеральными веществами.

Сахара сбраживаются в определенной последовательности, что обусловлено скоростью их проникновения в дрожжевую клетку.

В первую очередь сбраживаются свободные фруктоза и глюкоза. Сахароза предварительно гидролизуется ферментом β -фруктофуранозидазой дрожжей до глюкозы и фруктозы.

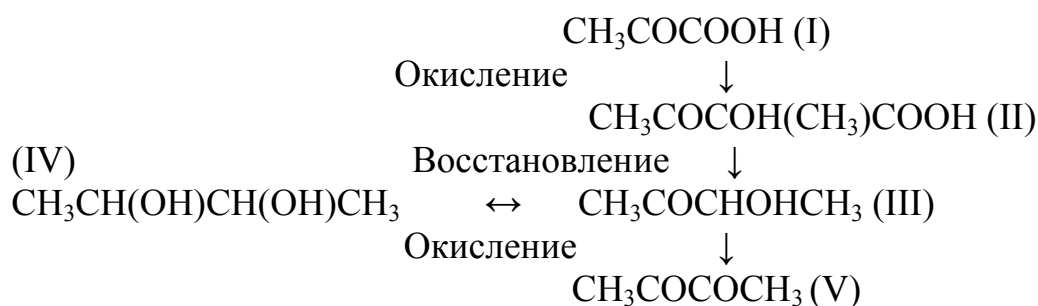
После фруктозы и глюкозы дрожжи расходуют мальтозу, которая также под действием фермента α -глюкозидазы превращается в легкосбраживаемую глюкозу.

Мальтотриоза расходуется дрожжами медленно и не полностью. В сусле, богатом мальтозой, мальтотриоза почти не сбраживается.

Этиловый спирт и диоксид углерода являются основными продуктами спиртового брожения. Кроме того, в сусле накапливаются вторичные продукты брожения, образующиеся из сахаров: биомасса дрожжей, глицерин, уксусный альдегид, уксусная, янтарная, лимонная и молочная кислоты, ацетоин, 2,3-бутиленгликоль, диацетил. В качестве побочных продуктов брожения из аминокислот образуются высшие спирты, так называемые сивушные масла (изоамиловый спирт, бутанол, изо-бутанол, пропанол-1,2). Все образовавшиеся в нем продукты спиртового брожения участвуют в формировании специфического вкуса и аромата пива (букет пива).

Вредное влияние на качество пива оказывают продукты брожения диацетил и ацетоин, которые образуются из пировиноградной кислоты в результате окислительно-восстановительных реакций.

Предположительно, образование ацетоина, 2,3-бутиленгликоля и диацетила происходит по такой схеме:



Пировиноградная кислота (I) ацетируется в ацетомолочную кислоту (II), а из нее путем декарбоксилирования образуется ацетоин (III), который окисляется в диацетил (V) или восстанавливается в 2,3-бутиленгликоль (IV).

Диацетил придает пиву медовые запах и привкус, а ацетоин – затхлый привкус. Их особенно много в молодом пиве. При дображивании концентрация этих веществ резко снижается, их влияние на вкус и запах становится незначительным.

❖ *Физико-химические процессы, протекающие при спиртовом брожении*

- Изменение окислительно-восстановительного потенциала. Под окислительно-восстановительным потенциалом (редокс-потенциалом) понимают меру окислительно-восстановительной способности раствора. Важнейшее изменение в сусле при брожении – увеличение восстановительной способности пива, которое тесно связано с потреблением дрожжами растворенного в сусле кислорода. Мерой для редокс-потенциала в пиве считается величина gH_2 (отрицательный логарифм парциального давления водорода):

$$gH_2 = - \lg[H_2],$$

где H_2 – молекула водорода, образовавшегося при диссоциации воды.

В охлажденном сусле gH_2 больше 20, а в период интенсивного брожения, когда дрожжи потребляют весь растворенный кислород на обменные процессы внутри клетки, значение gH_2 снижается до минимума, достигая 10.

Быстрое снижение gH_2 объясняется тем, что при брожении в сусле происходит уменьшение концентрации продуктов окисления и накопление продуктов восстановления. Кроме того, выделяющийся при брожении диоксид углерода вытесняет из сусла кислород, что также снижает интенсивность окисления. Чем ниже величина gH_2 в процессе брожения, тем выше качество получаемого пива. При высоких значениях gH_2 сусло и молодое пиво темнеют, вкус готового пива ухудшается, оно быстро мутнеет.

- Коагуляция высокомолекулярных соединений сусла, чему способствует образование этилового спирта, эфиров и снижение pH.

- Осаждение белков. Белковые частицы в сусле заряжены отрицательно, поэтому в конце главного брожения они соединяются с дрожжевыми клетками, которые к концу брожения приобретают положительный заряд. В результате образуются агрегаты (крупные хлопья), что влечет за собой интенсивное выпадение осадка. Таким образом, при сбраживании сусла растворенные белковые вещества сначала частично денатурируют, а затем флокулируют (слипаются) и осаждаются.

- Осаждение полифенольных веществ.

- Образование пены. Диоксид углерода, который образуется при брожении, сначала растворяется в сбраживаемом сусле, а потом (после насыщения им сусла) начинает выделяться в виде пузырьков, на поверхности которых адсорбируются поверхностно-активные вещества (белки, пектин, хмелевые смолы). Пузырьки газа, покрытые слоем этих веществ, слипаются и образуют на поверхности сусла слой пены.

Раздел 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ

Ректификацией принято называть процесс разделения бинарной или многокомпонентной жидкой смеси на компоненты или группы компонентов (фракции), различающиеся между собой летучестью. Разделение бинарной смеси спирт – вода часто называют простой *перегонкой* или *дистилляцией*. Разделение однородных летучих смесей осуществляют путем многократного двустороннего массо- и теплообмена между противоточно движущимися паровым и жидкостным потоками.

При взаимодействии фаз в процессе ректификации происходит диффузия (перенос) легколетучего компонента из жидкой фазы в паровую, а труднолетучего компонента, наоборот, из паровой фазы в жидкую.

Ректификацию проводят при нормальном давлении в аппаратах колонного типа, оборудованных контактными устройствами в виде тарелок различных типов (ситчатых, колпачковых, клапанных). Эти устройства способствуют максимальному приближению соприкасающихся противоположно движущихся в аппарате парового и жидкостного потоков, а следовательно, интенсивному массообмену.

При кипении смеси более летучий компонент переходит в паровую фазу в большем количестве, чем менее летучий. Смесь обогащается одним из компонентов практически в процессе ректификации, которую можно рассматривать как способ сложной или многократной перегонки.

Цель очистки этилового спирта – освобождение его от сопутствующих летучих примесей и получение спирта стандартной крепости. Очень важно наряду с очисткой спирта максимально сконцентрировать отбираемые примеси и максимально освободить их от этанола и воды. В этом случае потери спирта с отходами будут минимальными.

В основу современной теории перегонки положены закономерности перегонки бинарных смесей, которые установлены Д.П. Коноваловым и М.С. Вревским.

На рис. 2.5 изображена кривая равновесной бинарной системы этиловый спирт – вода при нормальном давлении и температуре кипения смеси.

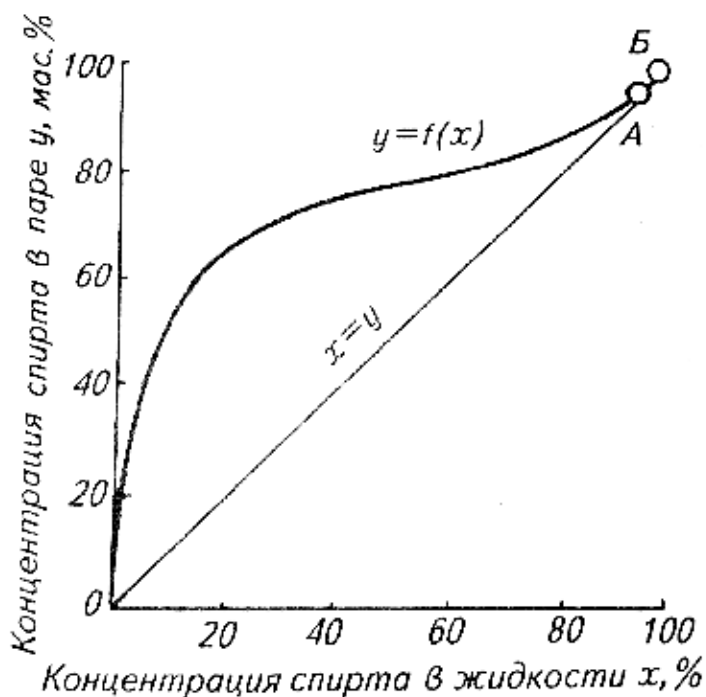


Рис. 2.5. Кривая равновесной бинарной системы этиловый спирт – вода при нормальном давлении

На горизонтальной оси этого графика приведено содержание этанола x в жидкой фазе (мас. %), а на вертикальной оси – в паровой фазе y (мас. %). Кривая равновесия располагается выше диагонали ($x = y$) от начала координат до точки A , что свидетельствует об обогащении паровой фазы спиртом на указанном участке кривой равновесия. Кривая равновесия представляет собой геометрическое место точек коэффициентов испарения этанола, которые наглядно характеризуют его летучесть в зависимости от состава жидкой фазы.

Коэффициент испарения этанола ($K_{эс}$) равен x/y . Он применяется в широких пределах: при малых концентрациях спирта в смеси его значения максимальны (около 13), а при больших – минимальны (около 1).

При $x = 10$ об. % $K_{эс} = 5,1$, а при $x = 50$ об. % $K_{эс} = 1,5$; в азеотропной точке $K_{эс} = 1$. Кривая равновесного состава в точке A пересекает диагональ, следовательно, в этой точке состав паровой и жидкой фаз одинаков. Точка A характеризует состав нераздельнокипящей смеси. Для нее $x = y$ и $K_{эс} = 1$. При нормальном давлении нераздельнокипящая (азеотропная) смесь этанол – вода содержит 95,57 мас. % спирта при температуре кипения 78,15 °С, при том же давлении температура кипения этанола равна 78,3 °С, а воды – 100 °С.

После точки A кривая равновесия проходит несколько ниже диагонали до правой верхней точки B диаграммы. Следовательно, обогащение пара спиртом при содержании его в смеси более 95,57 мас. % невозможно.

Лишь изменение давления в системе ниже нормального позволяет получать более крепкий спирт, чем указано ранее. В этом случае кривая равновесия располагается выше диагонали, вплоть до точки B .

Первый закон Д.П. Коновалова устанавливает зависимость между составом жидкой и паровой фаз в системе этанол – вода, а второй – положение азеотропной точки на кривой, устанавливающей зависимость между упругостью пара P (МПа) и составом жидкой смеси X (мас. %):

$$P = f(X)$$

Законы М.С. Вревского указывают направление, в котором сдвигается равновесие в смеси этанол – вода при изменении давления в системе. Так, при давлении в системе 0,009 МПа и температуре кипения 27,92 °С возможно получение безводного (абсолютного) спирта.

Технология выделения этилового спирта из бражки и его очистка от сопутствующих легколетучих примесей обусловлена различной летучестью этих веществ. Для оценки летучести введены понятия коэффициента испарения и ректификации. Первое понятие применяют для спирта и примесей, второе – только для этанола.

Летучесть примесей в значительной степени зависит от содержания спирта в разделяемой смеси. Чтобы судить, насколько полно можно очистить этиловый спирт от данной примеси, необходимо сравнить ее коэффициент испарения ($K_{пр}$) с коэффициентом испарения этилового спирта ($K_{эс}$) и вычислить значение коэффициента ректификации примеси по формуле:

$$K'_{np} = K_{np} / K_{эс}$$

П.С. Цыганков предложил новую классификацию примесей по их летучести в зависимости от содержания этанола в смеси.

Все примеси разделены на четыре группы: головные, хвостовые, промежуточные и концевые.

К первой группе относят *головные примеси* (ацетальдегид, этилацетат и др.), у которых коэффициент испарения при любом содержании этилового спирта выше, чем коэффициент испарения спирта; следовательно, у этих примесей всегда $K'_{np} > 1$ и они концентрируются в парах при любом содержании спирта в жидкой фазе.

Вторая группа включает *хвостовые примеси*, у которых летучесть всегда меньше летучести этанола и $K'_{np} < 1$. Наиболее типичной хвостовой примесью является вода.

Третья группа представлена *промежуточными примесями* (изоамиловым, изобутиловым, пропиловым спиртами, рядом сложных эфиров), которые обладают двоякими свойствами: при высоких концентрациях спирта в разделяемой смеси они ведут себя как хвостовые примеси, а при низких – как головные. При определенных концентрациях этанола $K_{np} = K_{эс}$, а коэффициент ректификации примеси будет равным 1.

Характерной *концевой примесью* является метиловый спирт. Концевые примеси обладают коэффициентом ректификации $K'_{np} > 1$ при высоких концентрациях спирта и $K'_{np} < 1$ – при низких.

Процесс ректификации проводят в противоточных аппаратах колонного типа, в которых пары разделяемой смеси движутся снизу вверх, а навстречу им стекает жидкость. Колонны оборудованы контактными устройствами или тарелками.

Для увеличения крепости дистиллята ректификацию водно-спиртовых смесей проводят в сочетании с дефлегмацией, повышая крепость водно-спиртовых паров частичной их конденсацией. Ее осуществляют в специальных теплообменных аппаратах – дефлегматорах. Жидкость, образующаяся при дефлегмации, называется *флегмой*. Последнюю возвращают в колонну. Не сконцентрировавшиеся в дефлегматоре крепкие водно-спиртовые пары поступают в холодильник, где полностью конденсируются (сжижаются), охлаждаются и выводятся из испарителя в виде дистиллята. Отношение количества флегмы к количеству дистиллята называют *флегмовым числом* (ФЧ).

Для создания парового потока в колонну снизу подводят теплоту в виде греющего пара. Подлежащая разделению смесь подается чаще всего в среднюю часть колонны в жидком, парообразном или смешанном состоянии. Для разделения бинарной смеси используют одну колонну. Ректификацию многокомпонентных смесей проводят в нескольких колоннах, работающих последовательно.

По техническому назначению ректификационные установки спиртового производства подразделяют на сырьевые, ректификационные и

брагоректификационные. Первые предназначены для получения бражки спирта-сырца, содержащего, кроме этанола, все летучие примеси. На ректификационных установках спирт-сырец очищают и получают ректификованный спирт. В брагоректификационных установках совмещены технологические операции сырцовых и ректификационных аппаратов. Эти установки позволяют получать ректификованный спирт непосредственно из бражки.

В состав брагоректификационной установки входят три основные и две дополнительные колонны. К основным относят бражную, эспираторную и ректификационную колонны, а к дополнительным – сивушную и окончательную. Бражная колонна предназначена для отделения из бражки всех летучих компонентов. Освобожденная от летучих компонентов бражка называется *бардой*. В эспираторной колонне из бражного дистиллята выделяют головные и концевые примеси в виде головной фракции этилового спирта. Спиртовая колонна служит для укрепления и очистки спирта от промежуточных примесей. Сивушная колонна предназначена для разгрузки спиртовой от высших спиртов с последующим их концентрированием. В окончательной колонне дополнительно удаляют концевые и промежуточные примеси спирта, особенно эффективно удаляют метиловый спирт.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные отличия в действии различных амилаз на крахмал при получении пивного сусла.
2. Какие продукты гидролиза крахмала должны содержаться в пиве для придания ему полноты вкуса и повышения вязкости?
3. Дайте классификацию продуктов гидролиза белков по Лундину. Какая фракция белков способствует пенообразованию?
4. Опишите четыре основные фазы размножения дрожжей при сбраживании пивного сусла.
5. Какие продукты оказывают вредное влияние на качество пива? На какой стадии окислительно-восстановительных реакций, протекающих при спиртовом брожении, они образуются и из какого соединения?
6. Дайте классификацию примесей по их летучести в зависимости от содержания этанола в смеси.
7. Какие колонны входят в состав брагоректификационной установки? Для отделения какой фракции примесей предназначена сивушная колонна?

Глава 3 НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ КОНСЕРВИРОВАНИЯ ПЛОДОВ И ОВОЩЕЙ

3.1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЫРЬЯ

Технологический процесс, заключающийся в том или ином способе обработки сырья и превращения его в готовую продукцию, зависит от свойств сырья, его способности изменяться в нужном направлении под влиянием различных воздействий. В некоторых случаях способ обработки определяется особенностями химического состава сырья, но может зависеть и от его физических и биологических свойств.

Растительная ткань имеет клеточную структуру (рис.3.1). Клетки растительной ткани плотно прилегают друг к другу и даже склеены между собой с помощью межклеточного вещества. В некоторых местах клетки не прилегают друг к другу или прилегают не по всему периметру, поскольку между ними находятся межклеточные пространства, заполненные воздухом.

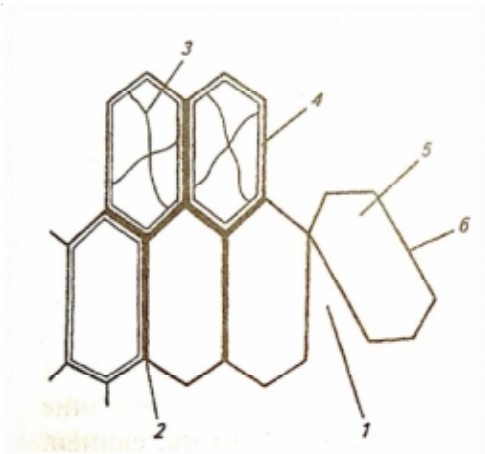


Рис. 3.1. Схема структуры растительной ткани: 1 – межклеточные пространства; 2 – межклеточное вещество; 3 – цитоплазматические нити; 4 – цитоплазматическая оболочка; 5 – клеточный сок; 6 – клеточная оболочка

Клетка имеет прочную и ограниченно растяжимую оболочку, являющуюся каркасом клетки, придающую ей определенную форму и предохраняющую от механических повреждений.

Клеточная оболочка растительной клетки выстлана изнутри тончайшим слоем цитоплазмы, образующей внутреннюю оболочку. Внутренняя полость клетки называется вакуолью и заполнена клеточным соком. Клеточная оболочка состоит, в основном, из клетчатки и некоторого количества протопектина. Она имеет мелкопористую структуру. В оболочке есть мельчайшие отверстия, каналы, через которые свободно проходят молекулы воды и растворенных в воде веществ. Клеточная оболочка является проницаемой.

С внутренней стороны клеточная оболочка выстлана тончайшей слизевидной тканью цитоплазменной мембраны, которая не приклеена к внутренней оболочке, а свободно к ней прилегает, будучи прижатой давлением клеточного сока. Носительницей жизни клетки является именно цитоплазменная оболочка, состоящая, в основном, из белковых веществ и некоторого количества жироподобных веществ.

Особое значение для жизни клетки, а также для технологии ряда пищевых производств имеет структура цитоплазменной мембраны. Она, как и клеточная оболочка, не сплошная, а пористая. Но если клеточную оболочку можно назвать микропористой, то цитоплазменная мембрана является ультрамикропористой. Отверстия в ней настолько малы, что через них могут проходить (да и то с некоторым усилием) молекулы небольших размеров, например молекулы воды. Более крупные молекулы, например, таких веществ, как сахара и соли, через поры цитоплазмы пройти не могут.

Таким образом, цитоплазменная оболочка проницаема для воды и непроницаема для растворенных в воде веществ. Она, как принято говорить, полупроницаема. Пропуская воду, но задерживая большую часть растворенных в ней веществ, она препятствует тем самым выравниванию концентраций внутри клетки и в межклеточном пространстве. В связи с этим внутри клетки создается избыточное давление, называемое осмотическим:

$$p = C \cdot R \cdot T,$$

где p – осмотическое давление, Па;

C – концентрация раствора, моль/м³;

R – универсальная газовая постоянная (8,3 Дж/(моль·К));

T – температура, К.

Осмотическое давление в клетках зрелых плодов и овощей обычно составляет 0,5...1,0 МПа. Благодаря этому, протоплазма плотно прижата к оболочке клетки, которая растягивается во все стороны. Такое напряженное состояние носит название тургор. Если концентрация веществ (например, соли или сахара) в межклеточном пространстве превышает концентрацию веществ внутри клетки, то окружающий клетку раствор будет обладать большим осмотическим потенциалом. В этом случае часть влаги переходит из клетки в межклеточное пространство, объем цитоплазменного мешочка уменьшается (рис. 3.2) и протоплазма начинает отслаиваться от клеточной оболочки. Это явление носит название плазмолиза. В состоянии плазмолиза клетка нежизнеспособна. Она не погибает, но ее нормальные функции приостанавливаются.

Все сказанное здесь о растительной клетке можно отнести и к бактериальной клетке. Создав в пищевом продукте высокую концентрацию сахара и соли, можно вызвать плазмолиз микробных клеток и тем самым предохранить продукты от бактериальной порчи.

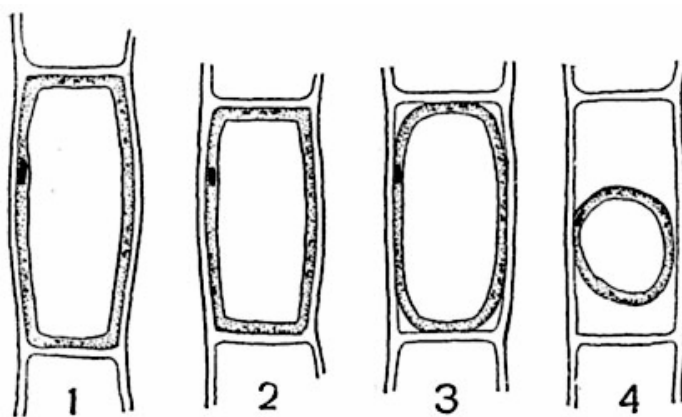


Рис. 3.2. Схема плазмолиза клетки: 1 – клетка с постенным слоем протоплазмы и центральной вакуолей; 2 – начало плазмолиза, размеры клетки несколько уменьшаются; 3 – вакуоля заметно сокращается, протоплазма отходит от клеточной оболочки в ее углах; 4 – протопласт принимает сферическое очертание

Если теперь поместить плазмолизированную клетку в чистую воду, то процесс пойдет в обратном направлении. Теперь клетка станет всасывать воду, цитоплазматический мешочек будет увеличиваться в объеме и расправляться до тех пор, пока плотно не прижмется к наружной клеточной оболочке. Когда наступит предел растяжения, поступление воды в клетку прекратится, а сама она будет находиться в напряженном состоянии – состоянии тургора.

Исключительно важен для понимания биологических особенностей клетки, влияющих на технологический процесс консервирования пищевых продуктов, тот факт, что свойство полупроницаемости не является стабильным атрибутом клетки. Оно присуще только живой, здоровой, неповрежденной цитоплазме и даже для нее тоже не является вполне постоянным.

Цитоплазматическая мембрана, будучи живой материей, реагирует на внешние изменения, инстинктивно сокращая свою поверхность. Применительно к коллоидно-растворенным веществам, сокращение поверхности приводит к сближению коллоидных мицелл, их слипанию, укрупнению, в результате чего создаются предпосылки для коагуляции. Подобное сгущение частиц, образование узелков, сгустков происходит в десятках тысяч точечных участков поверхности цитоплазматической мембраны. Эти узелки оттягивают на себя белковую массу вещества цитоплазматической пленки, следовательно, между ними будут образовываться пустоты, поры значительно большего диаметра, чем те, которые были в мембране до раздражающего воздействия. Таким образом, клеточная проницаемость под влиянием внешних раздражающих факторов возрастает.

Если внешние раздражающие факторы убрать, а раздражение при этом не достигло критического порога, то происшедшие изменения становятся обратимыми: сгустки рассасываются, поверхность пор затягивается, проницаемость уменьшается и достигает первоначального небольшого значения.

Но если критический порог раздражения был превзойден, то происходит необратимая коагуляция коллоидов цитоплазмы, сопровождающаяся предельным возрастанием клеточной проницаемости, разрывом цитоплазменной оболочки и гибелью клетки. При этом вещества, находившиеся внутри клетки и растворенные в клеточном соке, высвобождаются и через разорванную цитоплазменную мембрану легко выходят вместе с соком наружу. Таким образом, с физико-химической точки зрения гибель живой ткани заключается в коагуляции коллоидов цитоплазменной оболочки клетки.

Следует заметить, что именно биологические характеристики сырья диктуют технологию его обработки.

3.2 ПРИНЦИПЫ КОНСЕРВИРОВАНИЯ ПЛОДОВ И ОВОЩЕЙ

Способы консервирования основаны на частичном или полном подавлении протекающих в плодах и овощах биологических процессов.

Используя биологические принципы, методы консервирования можно разделить на три основные группы:

- ⇒ основанные на принципе биоза, т.е. на поддержании жизненных процессов в сырье и использовании его естественного иммунитета;
- ⇒ основанные на принципе анабиоза, т.е. на замедлении, подавлении жизнедеятельности микроорганизмов и растительного сырья при помощи различных физических, химических и биологических факторов. При этом микроорганизмы всегда приводятся в анабиотическое состояние. Жизненные же процессы в сырье, как правило, прекращаются совсем;
- ⇒ основанные на принципе абиоза (отсутствия жизни), т.е. на полном прекращении всех жизненных процессов как в сырье, так и в микроорганизмах.

Каждый из названных принципов имеет несколько технологических решений.

3.2.1 БИОЗ

Принцип биоза – поддержание жизненных процессов, происходящих в растительном сырье и препятствующих развитию микроорганизмов. Этот принцип является основой для хранения свежих плодов, ягод и овощей. Биоз базируется на естественном иммунитете растений против различного рода заболеваний. Имунные сорта обладают способностью вырабатывать вещества определенного химического состава, не позволяющие развиваться основным возбудителям порчи растений. Таким образом, подбор сортов является одним из основных условий для успешного хранения растительного сырья.

Метод заключается в хранении плодов и овощей в свежем виде без какой-либо специальной обработки. Применяются лишь меры, направленные на поддержание нормальных жизненных процессов и некоторое ограничение их интенсивности для уменьшения расхода питательных веществ в связи с дыханием и снижением потерь массы в результате испарения влаги. Поддержание нормальных жизненных процессов и ограничение их

интенсивности сводятся к определенному режиму складирования и хранения сырья. Биоз не является методом консервирования в обычном понимании, это лишь система мер, обеспечивающих кратковременное сохранение плодов в свежем виде при поступлении сырья на завод.

Прежде всего, следят за тем, чтобы при укладке сырья избежать механических повреждений, и по возможности отбраковывают испорченные экземпляры.

Сырье нельзя укладывать очень высоким слоем, иначе будет затруднен доступ воздуха к отдельным плодам. При этом процесс нормального дыхания нарушится и наступит так называемое интрамолекулярное дыхание, заключающееся в бескислородном разложении сахаров на углекислый газ и спирт по схеме:



Образующийся спирт является ядом для цитоплазмы, отравляет отдельные клетки и приводит их к гибели. Поэтому сырье укладывают в ящики-клетки, оставляя между отдельными штабелями ящиков проходы. При таком хранении имеется достаточный доступ воздуха, и дыхание протекает нормально.

Надо иметь в виду, что интенсивность процессов дыхания и испарения влаги сильно возрастает с повышением температуры. Поэтому нельзя хранить сырье под открытым небом или в таком укрытии, куда проникают прямые солнечные лучи, или кровля и стены которого легко пропускают тепло.

3.2.2 АНАБИОЗ

Принцип анабиоза основан на том, что существенно подавляются жизненные функции паразитов (микроорганизмов и насекомых-вредителей), а также подвергнутых обработке продуктов. В качестве действующего начала при анабиозе могут быть использованы следующие факторы.

Температура. Искусственный холод нашел применение в пищевой промышленности в двух модификациях:

а) умеренный холод (психроанабиоз), вызывающий охлаждение сырья и продуктов его переработки до такого температурного уровня, который, будучи на 10...15 °С ниже комнатной температуры, не опускается ниже минус (1..3) °С, т.е. ниже той температуры, при которой сырье и пищевые продукты замерзают;

б) более низкие температуры (замораживание или криоанабиоз), под действием которых сырье и пищевые продукты замерзают.

Применение умеренного холода – холодное хранение или хранение в охлажденном состоянии. При пониженных температурах сильно замедляются биохимические процессы, протекающие в растительном сырье, а также резко снижается активность микроорганизмов, большинство которых лучше всего развивается при 37 °С.

Особенно резко отражается температура хранения на таком важном биологическом процессе, как дыхание. Чем выше температура хранения, тем

больше интенсивность дыхания и тем меньше продолжительность жизни плода. С понижением температуры интенсивность дыхания сильно замедляется, время хранения плодов возрастает.

Снижение биологической и биохимической активности плодов и микроорганизмов при понижении температуры объясняется, с одной стороны, известной зависимостью скорости химических реакций от температуры, а с другой, – тем, что цитоплазма наркотизируется под влиянием холода, и ее проницаемость падает. Из-за этого замедляется обмен веществ, снижается поступление кислорода извне через сузившиеся поры цитоплазматической мембраны, уменьшается подача изнутри сахаристого сока в капиллярные каналы оболочки. В результате этого жизнь клетки замирает, не прекращаясь совсем, и она впадает в состояние анабиоза. Кроме того, снижается и активность ферментов.

Данный метод дает возможность сохранить сырье при минимальном изменении его натуральных свойств в течение нескольких недель, т.е. гораздо дольше, чем метод биоза.

Хранение в замороженном виде. Этот метод заключается в том, что сырье или пищевой продукт замораживают до температуры значительно более низкой, чем соответствующая температура замерзания, и затем в этом виде хранят.

Общепринятый температурный уровень, до которого доводят почти все замораживаемые пищевые продукты, составляет минус 18 °С. Он связан с тем, что при этой температуре подавляющее количество влаги превращается в лед. Поэтому микроорганизмы, которые питаются осмотическим путем (всасыванием жидких питательных сред), лишаются возможности использовать отвердевшие пищевые продукты, содержащие небольшую долю влаги в жидком состоянии. Кроме того, из-за отсутствия жидкой фазы прекращается деятельность ферментов, в связи с чем приостанавливаются и биохимические процессы.

Необходимо иметь в виду, что при использовании метода замораживания сырья и пищевых продуктов принцип анабиоза относится (да и то не в полной мере) только к микроорганизмам, а плоды и овощи, например, как живой организм, погибают. При замораживании в растительных тканях происходит образование кристаллов льда, что недопустимо, например, при хранении свежих плодов, ягод и овощей, т.к. после оттаивания их качество резко ухудшается в связи с гибелью протоплазмы клеток.

Следует иметь в виду то, что, однажды заморозив пищевые продукты до минус 18 °С, следует поддерживать эту температуру до тех пор, пока продукт не попадет на стол к потребителю. Стоит лишь на короткое время несколько повысить температуру замороженного пищевого продукта хотя бы до минус 10 °С, как микроорганизмы, «оправившись от шока», вызванного воздействием низкого температурного уровня, возвращаются к нормальной жизнедеятельности, которую уже не остановить повторным понижением температуры среды до минус 18 °С.

Вот почему использование метода замораживания требует соблюдения принципа так называемой единой холодильной цепи. Это означает, что на протяжении всего пути, который проходит пищевой продукт от цеха заморозки до потребителя, должна пролегать нигде не прерываемая «ледяная дорожка» с постоянным температурным уровнем, составляющим минус 18 °С.

Осмотическое давление (осмоанабиоз). При помещении растительных продуктов в растворы с высокой концентрацией сахара (сиропы) или соли (рассолы) внутри клеток микроорганизмов-паразитов создается высокое осмотическое давление (более 2,5 МПа), которое приводит к плазмолизу клетки.

В качестве осмотически деятельных веществ для консервирования пищевых продуктов применяют сахар и соль. Чтобы надежно сохранить таким образом пищевые продукты, следует вызвать стойкий плазмолиз микробных клеток, а для этого необходимы довольно высокие концентрации этих веществ: 70 % сахара или 10...12 % соли (как раз в соответствии с их молекулярными массами, соотношение между которыми составляет 6:1).

Содержание влаги. Микроорганизмы питаются осмотическим путем, всасывая питательные вещества. Поэтому все микробы для своего развития требуют определенного содержания воды в окружающей среде. Минимум влажности, при котором возможно развитие бактерий, составляет 25...30 %, а плесневые грибы требуют не менее 10 % влаги. Попадая в сухую среду, микробные клетки отдадут осмотическим путем свою влагу, плазмолизируют и прекращают жизнедеятельность.

При высушивании влажность овощей и плодов доводят до 8...25 %, а белоксодержащих продуктов – до 2...7 %, т.е. до уровня, который препятствует развитию микроорганизмов. При таком содержании воды в продуктах происходит заметное снижение или же полное прекращение жизнедеятельности микроорганизмов (ксероанабиоз). Плоды и овощи при подготовке к сушке и в процессе самой тепловой сушки проходят такую обработку, при которой они как живой организм погибают. Погибают при нагревании и микроорганизмы. Когда говорят о принципе анабиоза применительно к сушке, имеют в виду микроорганизмы, которые попали на поверхность сушеных продуктов в процессе хранения. Эти микробы плазмолизируют и сохраняются длительное время в состоянии анабиоза. Если только высушенный продукт увлажнить, то микробы вновь оживают, начинают размножаться и вызывают порчу продуктов.

Вместе с тем принцип анабиоза применительно к сушке является весьма условным, т.к. практически не выполняется его второе условие, а именно, частичное подавление жизнедеятельности самого растительного сырья. Изменения, происходящие при сушке, столь глубоки, что продукт не остается жизнеспособным.

В настоящее время известны новые, высокоэффективные методы сушки, позволяющие интенсифицировать процесс и получить сушеную продукцию высокого качества. Один из таких методов – сублимационная сушка. При

сублимационной сушке практически полностью сохраняются витамины, вкусовые и питательные вещества продуктов.

Метод сублимационной сушки пищевых продуктов основан на способности льда при определенных условиях испаряться, минуя жидкую фазу, т.е. возгоняться (сублимироваться). Сущность этого способа заключается в том, что сырье предварительно быстро замораживают при очень низких температурах (до минус 50°C). Образовавшийся лед путем подогрева продукта в глубоком вакууме (от 1,0 до 0,1 Па) переводят в газообразное состояние, минуя жидкую фазу.

Чтобы понять сущность этого метода, рассмотрим изменение состояния воды на диаграмме «давление – температура» (p – T) (рис. 3.3).

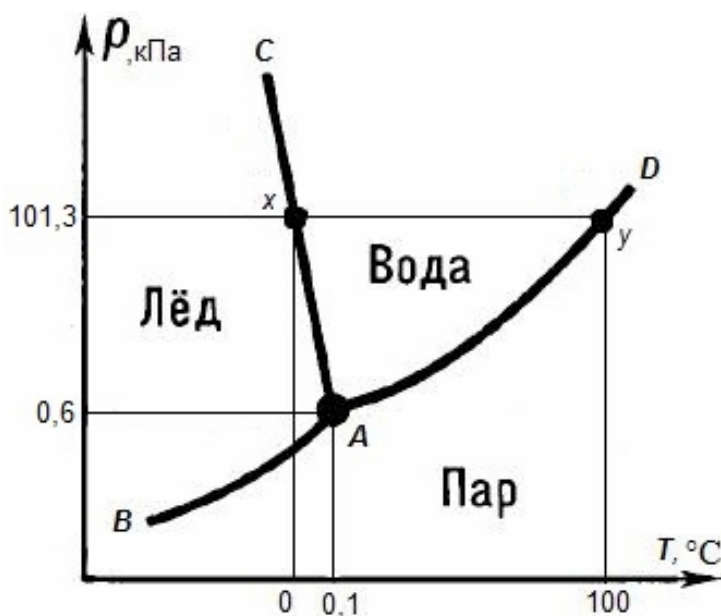


Рис. 3.3. Тройная точка воды

Слева от линии BAC лежит область твердой фазы воды – лед; выше линии CAD – жидкая фаза – собственно вода; ниже линии BAD газовая фаза – пар. Точка X соответствует температуре плавления льда при нормальном давлении 101,3 кПа (0°C), точка Y – переход воды в пар при нормальном давлении (100°C). Точка A называется *тройной точкой*. Она соответствует такому состоянию воды, при котором возможно одновременное существование всех трех фаз, т.е. льда, воды и пара. Координаты тройной точки воды: $p \approx 0,6$ кПа, $T \approx 0,1^{\circ}\text{C}$.

Выше этой точки существуют в зависимости от температуры все три фазы, причем определенным значениям температуры соответствует определенная фаза. Ниже точки A возможно только два состояния воды – лед и пар.

Сущность сублимационной сушки продуктов и заключается в возгонке льда при давлении паров окружающей среды ниже тройной точки воды, т.е. при $p < 0,6$ кПа.

Такой переход льда непосредственно в пар способствует сохранению формы высушиваемого продукта, т.е. продукт после сушки сохраняет свои линейные размеры. При последующем оводнении такого продукта вода быстро заполняет поры, из которых во время сушки был сублимирован лед, и продукт быстро восстанавливает свои свойства. Высушенные методом сублимации продукты сохраняют свои исходные качества, экстрактивные вещества, ферменты и витамины.

Сохранение ферментов и других биологически активных веществ в продуктах, высушенных методом сублимации, имеет, однако, и свою негативную сторону. Даже при незначительном содержании воды в высушенных продуктах при хранении наблюдаются реакции ферментативного характера, что, как правило, ухудшает качество продуктов. Вместе с тем, при очень низкой влажности эти процессы идут медленно, и такие продукты можно хранить в течение 6 и более месяцев (некоторые – до 2...3 и более лет).

Существенным недостатком сублимационной сушки по сравнению с обычной тепловой сушкой является её дороговизна. Поэтому сублимационный метод сушки целесообразно использовать для продуктов, которые невозможно высушить обычным способом без явной потери их качества. К таким продуктам относятся, в частности, мясо, творог, целые плоды, ягоды.

Состав газовой среды. Способ хранения растительного сырья в регулируемой газовой среде (наркоанабиоз) – перспективный способ хранения, позволяющий существенно снизить потери продуктов. Хранение продуктов проводится в газовой среде с пониженным содержанием кислорода, например, в среде CO_2 , CO , N_2 . Способ основан на анабиотическом состоянии, в которое впадают как микроорганизмы, так и растительное сырье под влиянием диоксида углерода и пониженного содержания кислорода в атмосфере.

Оптимальный состав модифицированной атмосферы может быть представлен газовой смесью, имеющей следующий состав (%): N_2 – 79, O_2 – 11, CO_2 – 10. При этом создание нужной концентрации диоксида углерода в хранилище может достигаться не введением газа извне, а благодаря физиологической активности сырья, образующего CO_2 из запасных веществ клетки.

Субнормальные газовые смеси можно также создавать, подавая их в камеру хранения из каких-либо внешних источников, например, из специальных газогенераторов или баллонов.

Данный способ хранения требует хорошего технического оснащения для поддержания заданного состава газа и строго обоснованного подбора газовой среды.

Кислотность среды (pH). К анабиозу относится и способ консервирования продуктов в кислой среде (ацидоанабиоз). При величине $\text{pH} < 5$ заметно подавляется жизнедеятельность многих микроорганизмов, в том числе и гнилостных.

Основным консервирующим началом при этом является уксусная кислота, содержание которой в различных маринадах колеблется от 0,6 до 1,2 %. Эти небольшие концентрации уксусной кислоты не могут полностью

воспрепятствовать развитию плесеней, уксусно-кислых бактерий и других микроорганизмов, вызывающих порчу плодов и овощей, поэтому маринование само по себе не может надолго сохранить продукт. Для увеличения срока хранения маринованные продукты фасуют в герметически укупориваемую тару и пастеризуют или хранят при пониженных температурах. При этом изменяется принцип консервирования, который в таком случае сводится уже не к анабиозу микроорганизмов, вызванному действием кислоты, а к их уничтожению с помощью температуры.

Ультрафиолетовое облучение. Ультрафиолетовые излучения, охватывающие область электромагнитных колебаний с длинами волн в диапазоне 136...400 нм, обладают большой энергией и поэтому оказывают сильное действие на химические и биологические процессы. В зависимости от длины волны действие различных участков ультрафиолетового спектра неодинаково. Область лучей с длиной волны от 400 до 330 нм является химически активной. Зона в пределах 330...200 нм биологически активна, способствует синтезу в организме витамина D и оказывает антирахитическое действие. Наибольшим воздействием на бактерии, подавляющим их жизнедеятельность и приводящим живые клетки к гибели, обладают лучи с длиной волны от 295 до 200 нм. В связи с этим данная область ультрафиолетовых лучей называется бактерицидной. Максимум бактерицидного действия располагается вблизи длины волны 260 нм.

Широкое использование бактерицидного эффекта ультрафиолетовых лучей для консервирования пищевых продуктов лимитируется их малой проникающей способностью (доли миллиметра). Не пропускают УФ-лучи и стенки жестяной и стеклянной тары. Поэтому УФ-спектр может быть использован в основном для стерилизации поверхностей.

3.2.3 АБИОЗ

Принцип абиоза – полное прекращение жизнедеятельности микроорганизмов и других вредителей, а также жизненных процессов в растительном сырье. Этот принцип положен в основу тех способов воздействия, при которых паразиты полностью погибают за счет необратимых изменений, происходящих в их тканях. Такие изменения возможны под действием высоких температур (термоабиоз), электрического тока, ультразвука, ионизирующего излучения и т.д.

Принцип абиоза используется и при обработке продуктов химическими консервантами с бактерицидным или фунгицидным действием (химабиоз). К разновидностям химабиоза относится также копчение, поскольку дым является хорошим антисептиком, в состав которого входят фенолы, смолы, альдегиды, кислоты и пр.

Тепловая стерилизация. Смерть микробных клеток под действием высокой температуры более 100 °С (термоабиоз) наступает в результате необратимых изменений в протоплазме, белки которой коагулируют, что ведет к разрыву цитоплазменной оболочки и гибели клетки. Инактивируются при

тепловой обработке и ферменты, сохранившиеся в продукте к началу стерилизации.

Однако уничтожение микроорганизмов не происходит мгновенно: для этого необходимо некоторое время, которое называется летальным временем. Его продолжительность зависит от температуры обработки, вида микроорганизмов и их количества, химического состава продуктов и среды, в которой они находятся, размеров и чистоты тары. С учетом этих факторов для каждого продукта рассчитывается свой режим термообработки.

Если изыскать оптимальный режим стерилизации, то химические изменения в пищевом продукте при тепловой обработке будут минимальными, естественные свойства сырья, если не считать некоторого размягчения, изменятся незначительно. В этом смысле тепловая стерилизация продуктов в герметической таре выгодно отличается от таких методов консервирования, как засол, квашение, варка с сахаром, сушка.

Данный метод консервирования является основным и наиболее надежным среди всех методов сохранения пищевых продуктов. Законсервированные этим способом пищевые продукты могут храниться в течение многих лет. Фактически на нем базируется целая специализированная отрасль пищевой промышленности – консервная.

Принцип абиоза в этом методе соблюден как в отношении микроорганизмов, так и в отношении консервируемого сырья.

Применение переменного электрического тока высокой и сверхвысокой частоты представляет собой один из особых вариантов тепловой стерилизации пищевых продуктов. Если пищевой продукт поместить в электрическое переменное поле высокой частоты, то происходит поглощение энергии электрического поля дипольными молекулами воды, содержащимися в продукте, которые в результате периодического изменения направления напряженности E электрического поля (рис. 3.4) приобретают колебательное движение, преобразуемое в тепло благодаря внутреннему трению.

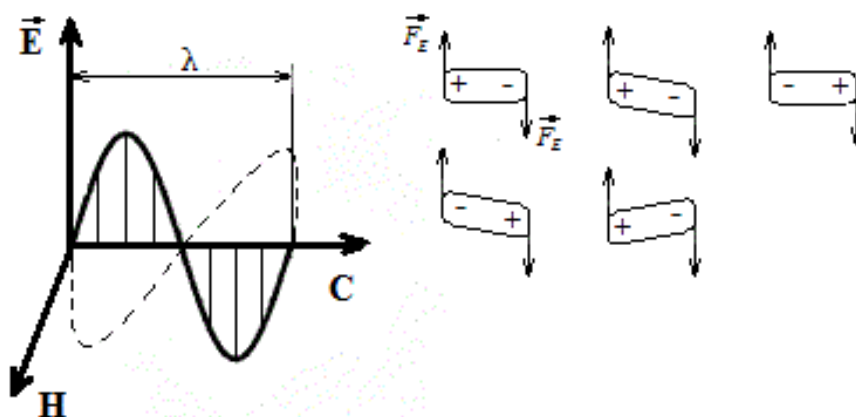


Рис. 3.4. Действие переменного электрического поля на молекулу воды: E – напряженность электрического поля; H – напряженность магнитного поля; λ – длина волны, C – скорость света.

Поскольку поглощение электрической энергии происходит одновременно всем объемом продукта, продукт разогревается быстро и не от периферии к центру, как при обычных способах передачи тепла, а одновременно и равномерно по всему объему. Можно сказать, что если обычный способ нагревания консервов требует десятков минут, то нагревание в поле высокой частоты происходит в течение десятков секунд, примерно за 1,5...2 мин.

Применение консервантов. Консерванты – вещества, продлевающие срок хранения продуктов, защищая их от порчи, вызываемой микроорганизмами (бактериями, плесневыми грибами, дрожжами).

Консерванты можно условно разделить на собственно консерванты и вещества, обладающие консервирующим действием. Действие первых направлено непосредственно на клетки микроорганизмов. Проникая в клетки микробов, эти вещества вступают во взаимодействие с белками протоплазмы, парализуя при этом ее жизненные функции и приводя микробную клетку к гибели. Вторая группа веществ отрицательно влияет на микробы в основном за счёт снижения рН среды, активности воды или концентрации кислорода.

Антимикробные вещества могут оказывать бактерицидное (уничтожающее бактерии) или бактериостатическое (останавливающее, замедляющее рост и размножение бактерий, но не уничтожая в то же время их полностью), фунгистатическое (угнетающее грибы) или фунгицидное (убивающее грибы) действие.

Идеальные консерванты должны удовлетворять таким условиям:

- ✓ быть ядовитыми для микробов в небольших дозировках;
- ✓ в применяемых дозировках не оказывать вредного действия на организм человека;
- ✓ не вступать в химическое взаимодействие с пищевыми веществами продукта и не придавать продукту неприятного запаха или привкуса;
- ✓ не реагировать с материалом технологического оборудования или консервной тары;
- ✓ легко поддаваться удалению из продукта перед употреблением;
- ✓ быть доступными в обращении.

Консерванта, который бы удовлетворял полностью этим требованиям, не существует. Подобрать эффективный консервант, пригодный для консервирования пищевых продуктов, нелегко, так как большинство из них оказывают вредное действие не только на микробы, но и на организм человека. При этом каждый консервант проявляет антимикробную активность только в отношении части возбудителей порчи пищевых продуктов. Спектр антимикробного действия конкретного консерванта неодинаков в отношении плесневых грибков, дрожжей, бактерий, т.е. он не может быть эффективен против всего спектра возможных возбудителей микробиологической порчи пищевых продуктов.

Таблица 3.1

Эффективность некоторых консервантов по отношению
к микроорганизмам (по Э.Люку, 1998 г)

| Консервант | Бактерии | Дрожжи | Плесневые грибы |
|---------------------|----------|--------|-----------------|
| Нитриты | ++ | — | — |
| Сульфиты | ++ | ++ | + |
| Муравьиная кислота | + | ++ | ++ |
| Пропионовая кислота | + | ++ | ++ |
| Сорбиновая кислота | ++ | +++ | +++ |
| Бензойная кислота | ++ | +++ | +++ |
| n-оксибензоаты | ++ | +++ | +++ |
| Дифенил | — | ++ | ++ |

Условные обозначения: «—» – неэффективен; «+» – малая эффективность;
«+ +» – средняя эффективность; «+ + +» – высокая эффективность

Большинство консервантов, нашедших практическое применение, действует в первую очередь против дрожжей и плесневых грибов. Некоторые консерванты малоэффективны против определенных бактерий, т.к. в области оптимальных для бактерий значений рН (часто это нейтральная среда) они слабо проявляют свое действие. Эффективность некоторых консервантов по отношению к микроорганизмам приведена в табл. 3.1.

Учитывая разное отношение отдельных консервантов к плесневым грибкам, дрожжам и бактериям, в ряде случаев целесообразно использовать смесь нескольких консервантов.

Применение смеси консервантов позволяет:

- ⇒ расширить спектр их действия;
- ⇒ уменьшить концентрацию отдельных консервантов;
- ⇒ усилить антимикробный эффект;
- ⇒ уменьшить возможность побочных эффектов;
- ⇒ получить экономический эффект.

Практический интерес представляет сочетание бензойной, сорбиновой и сернистой кислот, в первую очередь, для продуктов растительного происхождения. Необходимо также учитывать особенности пищевых продуктов, в которые они вносятся. Нет универсальных консервантов, которые были бы пригодны для всех пищевых продуктов. Перечень основных консервантов, применяемых для сохранения наиболее важных групп продуктов, приведен в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Консерванты, применяемые для наиболее важных групп пищевых продуктов

| Продукт | Нитраты, нитриты | Диоксид серы | Гексаметилентетрамин | Уксусная кислота | Пропионовая кислота | Сорбиновая кислота | Бензойная кислота | <i>n</i> -гидроксibenзоаты | Дифенил, о-фенилфенол, тиабендазол |
|------------------------|------------------|--------------|----------------------|------------------|---------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Жировые эмульсии | — | — | — | — | — | ++ | + | — | — |
| Сыры | (+) | — | (+) | — | + | ++ | (+) | (+) | — |
| Мясопродукты | ++ | (+) | — | — | — | + | — | (+) | — |
| Рыбопродукты | + | — | (+) | ++ | — | + | + | (+) | — |
| Овощная продукция | — | + | — | ++ | — | ++ | ++ | — | — |
| Фруктовая продукция | — | ++ | — | + | — | ++ | ++ | — | (+) |
| Безалкогольные напитки | — | ++ | — | — | — | ++ | ++ | — | — |
| Вино | — | ++ | — | — | — | ++ | — | — | — |
| Хлебобулочные изделия | — | — | — | — | ++ | ++ | — | — | — |
| Кондитерские изделия | — | — | — | — | — | ++ | + | (+) | — |

Условные обозначения: консервант применяется: «++» – часто; «+» – редко; «(+）」 – в исключительных случаях; «—» – не применяется

При разработке конкретной рецептуры внесения консерванта в продукт необходимо учитывать следующее:

♦ кислотность среды влияет на эффективность консервантов – чем более кислую реакцию имеет продукт, тем меньше в него требуется добавлять консерванта;

♦ как правило, продукты пониженной калорийности имеют высокое содержание воды и легко подвергаются порче, поэтому количество добавляемого к ним консерванта должно быть на 30...40 % больше, чем рекомендуется для обычных продуктов;

♦ добавка спирта, большого количества сахара и/или другого вещества, проявляющего консервирующие свойства, позволяет снизить требуемое количество консерванта;

♦ консерванты, за исключением сернистого ангидрида и углекислого газа, – термостойкие соединения;

♦консерванты на основе сорбиновой и бензойной кислот не подвержены воздействию высоких температур, обычно используемых в пищевых технологиях. Тем не менее, если технологический процесс включает длительное кипячение продукта в открытой ёмкости, необходимо увеличить их дозировку, так как они могут частично улетучиваться с паром.

Не разрешается применять консерванты в некоторых продуктах массового потребления: молоко, сливочное масло, мука, хлеб (кроме фасованного) и продуктах для детского питания, а также в изделиях, маркированных как «натуральные», «свежие».

Обесплуживающее фильтрование. Этот метод консервирования заключается в том, что жидкий, не содержащий твердых взвешенных частиц, совершенно прозрачный пищевой продукт фильтруют через специальные фильтры, задерживающие микробы.

Таким образом, сущность метода заключается не в уничтожении микроорганизмов, а в механическом их отделении от продукта фильтрованием. Однако принцип абиоза, т.е. отсутствия жизни в таком продукте, соблюден.

Положительная особенность стерилизующего фильтрования как метода консервирования – возможность сохранить пищевой продукт «холодным» способом, т.е. без тепловой стерилизации.

Однако осуществление этого метода на практике наталкивается на ряд трудностей, связанных с необходимостью соблюдать строжайший санитарный режим производства. Чтобы получить стойкие при хранении консервы, одного лишь стерилизующего фильтрования недостаточно. Необходимо также произвести розлив в условиях, исключающих вторичное заражение продукта после стерилизующего фильтрования.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия «плазмолиз» растительной клетки.
2. На чем базируется принцип биоза плодов и овощей?
3. В чем сущность принципа анабиоза?
4. Чем объясняется снижение биологической и биохимической активности плодов и микроорганизмов при понижении температуры? К какому принципу консервирования относится этот способ?
5. К какому принципу относится способ консервирования продуктов в кислой среде? При какой величине рН заметно подавляется жизнедеятельность многих микроорганизмов?
6. В чем сущность метода сублимационной сушки пищевых продуктов?
7. В чем основные отличия собственно консервантов от веществ, обладающих консервирующим действием?
8. Назовите преимущества применения смеси консервантов.
9. В каких продуктах не разрешается применять консерванты?
10. В чем сущность обесплуживающего фильтрования?

Библиографический список

1. Степычева, Н.В. Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий. Ч.1. Основы технологии хлебопекарного производства: учеб. пособие / Н.В. Степычева; Иван. гос. хим. - технол. ун-т. – Иваново, 2005. – 152 с.
2. Ларин, А.Н. Научные основы производства продуктов питания: учеб. пособие / А.Н. Ларин; Иван. гос. хим.-технол. академ. – Иваново, 1997. – 84 с.
3. Технологии пищевых производств: учеб. для вузов /А.П. Нечаев [и др.]. – М.: КолосС, 2005. – 768 с.
4. Медведев, Г.М. Технология макаронного производства /Г.М. Медведев. – М.: Колос, 1998. – 271 с.
5. Зубченко, А.В. Физико-химические основы технологии кондитерских изделий: учеб. для вузов / А.В. Зубченко; Воронежский гос. ун-т. – Воронеж, 1997. – 413 с.
6. Технология спирта / В.Л. Яровенко [и др.]. – М.: Колос, 2002. – 464 с.
7. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. Теоретические основы консервирования: учеб. пособие с грифом Минобразования РФ / В.Е. Куцакова [и др.]. – СПб.: ГИОРД, 2008. – 160 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | | |
|----------------|---|----|
| | ПРЕДИСЛОВИЕ | 3 |
| Глава 1 | Научные основы технологии хлеба, макаронных и мучных кондитерских изделий. | 4 |
| Раздел 1 | Научные основы технологии хлеба | 4 |
| 1.1 | Технологические особенности сырья хлебопекарного производства | 4 |
| 1.2 | Процессы, протекающие на основных стадиях производства хлеба | 15 |
| | Контрольные вопросы | 29 |
| Раздел 2 | Научные основы технологии макаронных изделий | 30 |
| 2.1 | Теоретические основы образования макаронного теста | 30 |
| 2.2 | Особенности сушки макаронных изделий как капиллярно-пористых материалов | 35 |
| | Контрольные вопросы | 38 |
| Раздел 3 | Научные основы технологий кондитерских изделий | 39 |
| 3.1 | Особенности разрыхления кондитерского теста | 39 |
| 3.2 | Влияние технологических параметров на свойства теста и процесса тестообразования | 41 |
| 3.3 | Влияние рецептурных компонентов теста на его свойства и процесс тестообразования | 43 |
| | Контрольные вопросы | 45 |
| Глава 2 | Научные основы технологии броидильных производств | 46 |
| Раздел 1 | Научные основы технологии производства пива | 46 |
| 1.1 | Процессы, протекающие при получении пивного сусла | 46 |
| 1.2 | Процессы, протекающие при спиртовом брожении | 51 |
| Раздел 2 | Теоретические основы процесса ректификации | 59 |
| | Контрольные вопросы | 62 |
| Глава 3 | Научные основы консервирования плодов и овощей | 63 |
| 3.1 | Технологические особенности сырья | 63 |
| 3.2 | Принципы консервирования плодов и овощей | 66 |
| | Контрольные вопросы | 77 |
| | БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 78 |

Учебное издание

Степычева Наталья Вадимовна

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ
ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Учебное пособие

Редактор В.Л. Родичева

Подписано в печать 01.11.2013. Формат 60х84 1/16. Усл. печ. л. 4,65.
Уч.-изд. л. 5,16. Тираж 100 экз. Заказ

ФГБОУ ВПО Ивановский государственный химико-технологический
университет

Отпечатано на полиграфическом оборудовании кафедры экономики и финансов
ФГБОУ ВПО «ИГХТУ»

153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 7