

РАЗДЕЛ I. ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ И БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 663.97

И.И. Татарченко, А.А. Славянский, Н.Н. Лебедева
I.I. Tatarchenko, A.A. Slavyanskiy, N.N. Lebedeva

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТАЦИИ ТАБАКА В АЭРОБНЫХ УСЛОВИЯХ INVESTIGATION OF TOBACCO FERMENTATION PROCESS UNDER AEROBIC CONDITIONS

Аннотация:

Исследован процесс ферментации табака в аэробных условиях. Табачное сырье претерпевает сложные физико-биохимические превращения. Основными факторами являются относительная влажность воздуха и его температура. Важным фактором роста и развития грибов является рН среды. Изучен процесс старения сферментированного табака различных сорто типов в течение нескольких месяцев. Старение табака сопровождается газообменом, т. е. потерей сухого вещества. Контролируют процесс ферментации путем учета изменения концентрации углекислого газа непосредственно в ферментационной камере. Рассмотрен удельный расход энергоресурсов сферментированного табака.

Ключевые слова: табачное сырье, ферментация табака, аэробные условия, влажность воздуха, температура воздуха, расход пара и электроэнергии.

Abstract:

The process of tobacco fermentation under aerobic conditions is investigated. Tobacco raw materials undergo complex physico-biochemical transformations. The main factors are the relative humidity of the air and its temperature. An important factor in the growth and development of fungi is the pH of the. The aging process of fermented tobacco of various varieties has been studied for several months. Tobacco aging is accompanied by gas exchange, i.e. loss of dry matter. The fermentation process is controlled by taking into account changes in the concentration of carbon dioxide directly in the fermentation chamber. The specific consumption of energy resources of fermented tobacco is considered.

Keywords: tobacco raw materials, fermentation of tobacco, aerobic conditions, air humidity, air temperature, consumption of steam and electricity.

Особенностью процесса послеуборочной обработки табака является его многостадийность. Причем каждую фазу характеризуют специфические технологические режимы, которые обеспечивают заданный уровень протекания биохимических реакций, и другие особенности технологий¹. Послеуборочную обработку табака делят на три этапа: доферментационный, ферментационный и послеферментационный. На всех этих стадиях в большей или меньшей степени имеют место потери табачного сырья. Они складываются из потерь сухого вещества, фарматуурообразования и плесневения².

В период доферментационной обработки табачное сырье претерпевает сложные физико-биохимические превращения, глубина и интенсивность которых зависят от множества самых различных факторов. Среди них особое место занимают относительная влажность воздуха и его температура. Табачное сырье подвергают воздействию окружающей среды, сильно варьирующей по своим параметрам. Это является причиной порчи табачного сырья, в частности, его плесневения. Начало плесневения связано не с абсолютным содержанием воды в табачном листе, а с относительной влажностью воздуха, которая не должна превышать 83 %.

С другой стороны, в неферментированном табаке при его хранении непрерывно происходит процесс замедленной ферментации, связанной с понижением равновесной влажности материала. В связи с этим давление водяных паров над поверхностью табачного листа всегда имеет тенденцию к увеличению в сравнении с давлением водяных паров в окружающей атмосфере. Этим объясняется способность неферментированного табака плесневеть при более низкой влажности окружающего воздуха по сравнению с ферментированным табаком³.

Наиболее распространенными на табачных растениях являются плесневые грибы сапрофиты и сапрофиты мукоровные. Грибы этих групп являются исконными обитателями почвы, которые пришли к па-

¹ Воробьева Л.Н., Татарченко И.И. Товароведение материалов пищевкусовых производств. Ростов-на-Дону: «Донской табак», 2005. 280 с.

² Квасенков О.И., Татарченко И.И., Бирюкова О.А. Способ производства курительного табачного изделия с пониженным содержанием смолы и никотина. Патент на изобретение RU 2290046 Cl, 27.12.2006. Заявка № 2005121877/12 от 12.07.2005; Татарченко И.И., Воробьева Л.Н., Позняковский В.М. Экспертиза табака и табачных изделий. Качество и безопасность. Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2009. 258 с.

³ Татарченко И.И. Табак, табачные изделия: технология и контроль качества. Краснодар: «Просвещение-Юг», 2018. 627 с.; Татарченко И.И., Воробьева Л.Н., Дьячкин И.И. Технохимический контроль производства пищевкусовых продуктов. Ростов-на-Дону: «Донской табак», 2005. 272 с.

разитизму в результате постоянных контактов с высшими растениями. Они отличаются друг от друга по физиологическим особенностям. Первая группа грибов более неприхотлива в отношении питания, вторая отличается высокой требовательностью к питательной среде.

Известно, что плесень лучше культивируется на водных вытяжках из высших сортов табака, характеризующихся большим количеством углеводов. Светлое и более качественное сырье в период хранения склонно к заражению плесенью в большей степени, чем темный, грубый табак⁴.

Основными факторами, влияющими на развитие плесени, кроме состава питательной среды, могут быть: активная кислотность среды (рН), температура, концентрация осмотических действующих веществ, степень аэрации, действие света. Появление плесневой микрофлоры в значительной степени зависит от влажности табачного листа и относительной влажности воздуха, находящегося в непосредственной близости к табачному листу.

Оптимальная температура роста гриба и прорастания его спор изменяется в зависимости от влажности воздуха. Так, например, для прорастания конидий ее значение составляет 40 °С при 93 % относительной влажности воздуха. Тогда как при 100 % относительной влажности воздуха температура должна уже быть около 30 °С. При низкой влажности ограничивающим фактором развития грибов является осмотическое давление.

Величина осмотического давления, переносимого мицелием гриба, зависит от его вида и природы вещества, находящегося в растворе. Осмотическое давление в мицелии грибов, как правило, выше, чем у субстрата, на котором они произрастают. Ни один из видов грибов не является облигатным анаэробом, хотя факультативные анаэробы среди них встречаются.

Важным фактором, влияющим на рост и развитие грибов, является рН среды его произрастания. От ее величины зависит поступление тех или иных питательных веществ в грибную растительную клетку, активность ферментов, витаминов, антибиотиков, а также полового и бесполого спороношения. Для большинства грибов оптимальные условия находятся в слабокислом диапазоне, т. е. в диапазоне значений рН от 5 до 6. Нижняя граница их значений для роста грибов колеблется в пределах от 5,3 до 5,5 рН. Грибы, произрастающие на сильно кислых субстратах, обладают способностью роста в условиях высокой кислотности. При этом величина рН для роста плесневых грибов не изменяется в зависимости от состава питательной среды.

⁴ Татарченко И.И., Славянский А.А., Лебедева Н.Н. Изменение химического состава табачного листа при ферментации в условиях ограниченного доступа воздуха // Вестник МГУТУ. Серия прикладных научных дисциплин. 2023. № 2. С. 36—47.

Подщелачивание среды в процессе развития гриба зависит от выделения в ней органических кислот. При этом изменение рН среды в основном зависит от природы, источников углерода и скорости его использования. Особенно это касается сред с медленным поступлением в них углерода. Например, на крахмалистых средах, как правило, величина их рН снижается в процессе роста гриба в меньшей степени, чем на средах с глюкозой.

Температурный фактор в пределах одной систематической группы грибов может колебаться в очень широких пределах. Минимальная температура, обеспечивающая развитие плесневой микрофлоры, находится в пределах от 0 до 5 °С, а максимальная — от 27 до 60 °С. Наряду с теплолюбивыми (термофильными) формами встречаются холодолюбивые (психофильные) формы плесеней.

Существенное влияние на способность грибов к спороношению и образованию пигментов оказывает фактор света, особенно если эти пигменты — каротиноиды. При этом рост грибов ухудшается под воздействием яркого света.

На жизнедеятельность плесневых грибов влияет угольная кислота, которая в природных условиях накапливается в местах обитания плесеней в результате их собственной жизнедеятельности. Высокая концентрация углекислоты угнетает жизнедеятельность грибов и особенно их способность к спороношению. При концентрации углекислоты в воздухе в диапазоне 30—40 % большинство плесневых грибов прекращает образование конидий.

Для изготовления готовой табачной продукции используют табачное сырье, прошедшее ферментацию. Его хранят в течение нескольких месяцев в складских помещениях фабрики. В течение всего периода послеферментационного хранения в табачном сырье продолжают те же процессы, что и на предыдущих этапах послеуборочной обработки: происходит снижение равновесной влажности и потеря сухого вещества. Однако интенсивность этих процессов незначительна и во многом зависит от климатических условий. Это обусловлено тем, что не все складские помещения обеспечены системой кондиционирования воздуха. Наблюдения за табачным сырьем свидетельствуют о том, что в процессе его старения при хранении в пределах определенного интервала времени происходит заметное улучшение качества⁵.

Изучен процесс старения сферментированного табака различных сортотипов в течение нескольких месяцев. Старение табака сопровожда-

⁵ Кузнецов Н.В., Татарченко И.И., Славянский А.А., Шумкова К.А. Изучение способов ферментации табака в непрерывном потоке // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2023. № 5 (82). С. 67—73.

ется газообменом, т. е. потерей сухого вещества. Причем интенсивность потери сухого вещества зависит от внешних условий: процесс протекает очень медленно по затухающей кривой. Однако эти процессы ускоряются при повышении относительной влажности воздуха окружающей среды.

Возможно изменение технологии процесса ферментации путем кратковременного нагрева табачного сырья при высоких температурах (до 90 °С) в сочетании с длительным последующим хранением. Таким образом, старению табака отводится место как важнейшей технологической операции.

Для табачного сырья потери сухого вещества во время его длительного хранения после ферментации составляют 0,11—0,17 %. Длительная выдержка его после ферментации (6 и 12 месяцев) при температуре 15—20 °С и относительной влажности воздуха 70—75 %, несмотря на потерю сухого вещества, позволяет получить табачное сырье с лучшими технологическими свойствами.

Таким образом, во время длительного послеферментационного хранения сырья имеет место потеря сухого вещества. В частности, причиной этого может быть фарматурообразование и плесневение. В основном же эти потери обусловлены воздействием непредсказуемых климатических условий: низкая относительная влажность воздуха — повышенное фарматурообразование вследствие пересыхания табака по всей поверхности его кипы; высокая относительная влажность воздуха — поражение табака плесенью вследствие его переувлажнения по всей поверхности кипы.

Бесспорным технологическим решением этих проблем является герметичная упаковка кип табака в полимерную пленку. Кроме того, известно, что за счет ускорения процесса старения табака возможно снижение в нем потерь сухого вещества. Для этого складские помещения насыщают озоном, выдерживая его концентрацию 0,3—0,5 мг/л, и осуществляют этот процесс в течение 16—18 суток. При этом потери сухого вещества табака снижаются по сравнению с контролем более чем в 10 раз. Однако практического применения данный способ не нашел ввиду отсутствия соответствующего оснащения складских помещений⁶.

С точки зрения энергозатрат оптимальной является естественная (сезонная) ферментация. В этом случае расход энергии на создание климатических условий склада минимальный. Отсутствие возможности создания необходимых климатических условий на складах стало при-

⁶ Татарченко И.И., Славянский А.А., Лебедева Н.Н. Исследование процесса ферментации табака в анаэробных условиях // Вестник МГУТУ. Серия прикладных научных дисциплин. 2023. № 1. С. 73—83.

чиной нерентабельности традиционной технологии естественной ферментации, в отличие от проведения ее в заводских условиях.

Заводская ферментация представляет собой весьма энергоемкий процесс. Для производства 1 т ферментированного табака в среднем затрачивают 1,2 т пара и 30 кВт часа электроэнергии. Поэтому считается актуальным направление на сокращение расхода энергии в технологии ферментации табачного сырья. Перед технологами по-прежнему стоит задача обеспечения высокого технического уровня производства при минимальных затратах энергоресурсов.

Возможна периодическая подача тепла в ферментационные камеры: в течение двух часов с последующим интервалом в два часа. Установлено, что в период прекращения подвода тепла в соответствующую камеру температура воздуха в ней снижается незначительно, на 1—2 °С. Причем температура внутри кипы табака вообще не изменяется. На качественных показателях табака такой режим работы камеры практически не отражается, но при этом имеет место существенная экономия энергоресурсов. Следует также отметить, что продолжительность процесса ферментации в этих условиях не возрастает.

Снижение энергозатрат на ферментацию имеет следующий характер. На начальном этапе этот процесс осуществляется в рыхлой массе табака плотностью 30—50 кг/м³. Это позволяет уменьшить общую продолжительность ферментации до трех суток. Однако практическое использование этой технологии ограничено сложностями дополнительной транспортировки сырья. Также возможное снижение продолжительности процесса ферментации в 1,5—2 раза может быть достигнуто за счет предварительной обработки неферментированного табачного сырья озоном. Ввиду того что он является сильным окислителем, аэробные процессы могут быть осуществлены более быстро⁷.

Ранее был предложен способ автоматического управления первой и третьей фазами процесса ферментации, что существенно снижает энергозатраты. Для этого в ферментационной камере измеряют параметры воздуха в пограничном слое табачной кипы и в середине контрольной кипы. Процесс ведут таким образом, чтобы температура в пограничном слое табачной кипы соотносилась с температурой в середине контрольной кипы.

Параллельно при охлаждении в ферментационной камере проводят аналогичные измерения. Только здесь температуру внешней, свободной поверхности — пограничного слоя кипы соотносят с температурой контрольной кипы с заданной равновесной влажностью та-

⁷ Кузнецов Н.В., Татарченко И.И., Славянский А.А., Ткачева Я.Н. Исследование процесса поглощения кислорода табаком при ферментации // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2023. № 6 (83). С. 38—44.

бака. При выполнении этих условий возникают трудности, связанные с тем, что значение равновесной влажности для разного табака различно. Кроме того, величина равновесной влажности меняется в процессе ферментации. Поэтому способ регулирования третьей фазы ферментации крайне сложен.

Контролируют процесс ферментации также путем учета изменения концентрации углекислого газа непосредственно в ферментационной камере. Это логично, так как при достижении табаком состояния сферментированности он перестает продуцировать углекислоту, и ее концентрация в воздушном пространстве камеры резко уменьшается. При появлении этого признака прекращают процесс ферментации, однако для линий непрерывной ферментации это неприемлемо.

Оптимизация процесса ферментации возможна следующим образом. Вначале устанавливают продолжительность второй фазы ферментации в зависимости от свойств табачного сырья, поступающего на переработку. При этом проводят расчет продолжительности второй фазы ферментации с использованием соответствующих зависимостей. В конце ферментации регулируют достижение значения кислородного показателя 0,1 без выдержки в камере.

Предлагаемая технология процесса ферментации в рыхлой массе существенно отличается от общепринятой заводской ферментации в камерах. Причем используется СВЧ-нагрев, что резко ускоряет прогревание табачных кип и тем самым активизируется процесс ферментации. Ферментацию табачных кип проводят в герметичной упаковке из полимерной пленки. За счет применения более высоких температур и перенесения третьей фазы на склад, где табачные кипы самоохлаждаются, энергозатраты снижаются более чем в 2 раза. Применение полимерной пленки создает условия для естественной ферментации, что также снижает энергозатраты.

В Таблице 1 приведены данные о фактическом расходе пара как в целом за весь период переработки табачного сырья, так и по каждой фазе ферментации в отдельности.

Табл. 1. Расход пара при ферментации табака.

Режим ферментации, °С	Номер комбинированного режима	Расход пара, т			
		Фаза ферментации			Общий расход
		1	2	3	
55	1	9,0	22,9	13,2	45,1
	2	10,3	12,0	8,0	30,3
	3	9,7	32,6	10,9	53,2

60	1	15,0	7,7	5,2	27,9
	2	13,4	6,5	14,8	34,7
	3	11,5	—	11,6	23,1
65	1	7,6	3,6	12,5	23,7
	2	14,7	21,2	10,5	46,4
	3	10,6	2,0	17,5	30,1
Среднее		11,3	12,0	11,6	34,9

Из Таблицы 1 видно, что общий расход пара на ферментацию табачного сырья колеблется от 23,1 до 53,2 т (или 0,6—1,3 т на 1 т табака). Причем расход пара зависит от режима ферментации табака, и при его комбинировании он существенно возрастает.

В Таблице 2 приведены данные фактического расхода электроэнергии как в целом за весь период переработки табачного сырья, так и по каждой фазе ферментации в отдельности.

Табл. 2. Расход электроэнергии при ферментации табака.

Режим ферментации, °С	Номер комбинированного режима	Расход электроэнергии, кВт/час			
		Фаза ферментации			Общий расход
		1	2	3	
55	1	180,0	540,0	436,8	1136,8
	2	243,0	534,4	537,6	1315,0
	3	283,5	1209,6	548,8	2041,9
60	1	297,0	189,0	280,0	766,0
	2	337,5	162,0	420,0	919,5
	3	283,5	—	695,6	979,1
65	1	315,0	180,0	851,0	1346,0
	2	637,5	962,7	980,0	2580,2
	3	412,5	112,5	689,0	1213,0
Среднее		332,2	432,2	604,2	1368,6

Из Таблицы 2 видно, что расход электроэнергии варьировал от 919,5 до 2580,2 кВт/час за весь период ферментации, или равнялся 20—65 кВт/час на 1 т табака. При комбинированных режимах ферментации расход электроэнергии также возрастает.

Был проведен анализ расхода электроэнергии по фазам ферментации. Целью первой фазы ферментации табака является нагревание

материала до заданной температуры режима гигроскопической обработки. Рациональное расходование энергии в этот период ферментации приходится на тепло, необходимое для нагревания табака. Кроме того, энергия также затрачивается на нагревание стеллажей для укладки табака в фермкамере. Часть ее теряется, выходя через ограждающие конструкции фермкамеры. Имеются и другие факторы потерь тепла при ферментации.

Во второй фазе ферментации теплообмен между табаком и кондиционированным воздухом практически отсутствует, поэтому тепло, по-видимому, уходит из фермкамеры через ограждающие конструкции, неплотности в них и т. п. При ферментации табачного сырья повышенной влажности расход пара во время второй фазы значительно возрастает. В этом случае тепло расходуется на удаление из табака избыточной влаги.

В Таблице 3 приведены данные исследований по содержанию влаги, удаляемой из табака во второй фазе ферментации при обработке его комбинированными режимами.

Табл. 3. Количество влаги, удаленной во второй фазе ферментации.

Номер комбинированного режима	Влажность табака, %		Влагосодержание табака, кг/кг		Удалено влаги, кг/т
	начальное значение	конечное значение	начальное значение	конечное значение	
1	19,7	16,0	0,245	0,190	55
2	19,3	16,2	0,239	0,193	46

В Таблице 4 приведены данные расчетного и фактического расхода тепла во второй фазе при ферментации табака повышенной влажности.

Табл. 4. Расход тепла во второй фазе при ферментации повышено-влажного табака.

Номер комбинированного режима	Количество табака, кг	Удалено влаги, кг	Расход тепла, кКал/т	
			расчетный	фактический
1	39800	2169	0,033	0,128
2	38000	1748	0,028	0,372

Из Таблиц 3—4 видно, что фактический расход пара превышает расчетный в 4—10 раз. Это указывает на нецелесообразность проведения в ферментационной камере процесса сушки (подсушки) табака с использованием комбинированных режимов. Расход пара во второй фазе ферментации табака комбинированными режимами колеблется в широких пределах (от 12 до 32,6 т). Это указывает на необходимость обеспечения ферментационных камер системой автоматического управления процессом ферментации табака.

Расход пара в третьей фазе ферментации составил в среднем 11,6 т. Он примерно равен среднему расходу пара в первой фазе (11,3 т). Вместе с тем, в третьей фазе ферментации осуществляется обратный первой фазе процесс — охлаждение табака, а пар используют в данном случае лишь для поддержания заданной относительной влажности воздуха. Энергия расходуется не совсем рационально. Если принять, что только 1/3 часть пара ассимилируется табаком, то его влажность должна увеличиться на 6—7 %. Фактически же влажность табака в третьей фазе возрастает незначительно, и поступающий в ферментационную камеру пар уходит с удаляемым из камеры воздухом.

Расход электроэнергии при ферментации табака зависит главным образом от продолжительности процесса. Особенно возрастает расход энергии при ферментации табака повышенной влажности комбинированными режимами, так как при этом происходит значительное удлинение второй фазы. В третьей фазе ферментации часовой расход электроэнергии возрастает, так как в дополнение к работающему вентилятору кондиционера включается насос, подающий воду к форсункам. Общий расход электроэнергии в третьей фазе ферментации табака выше, чем в других фазах, из-за большой длительности процесса охлаждения табака. В этой связи возникает необходимость форсирования теплообменных процессов в ферментационной камере.

Таким образом, в данном исследовании

— дан анализ существующих требований к качеству сырья и его ферментации для производства табачных изделий;

— проанализированы условия хранения табака и его ферментативной обработки;

— произведено уточнение влияния плесеней на хранение табака;

— уточнены условия оптимизации процесса ферментации табака и дан анализ его основных стадий для повышения эффективности этой технологии в производственных условиях (расход пара и электроэнергии на процесс ферментации табака).

Список литературы

1. Воробьева Л.Н., Татарченко И.И. Товароведение материалов пищевкусовых производств. Ростов-на-Дону: «Донской табак», 2005. 280 с.
2. Квасенков О.И., Татарченко И.И., Бирюкова О.А. Способ производства курительного табачного изделия с пониженным содержанием смолы и никотина. Патент на изобретение RU 2290046 Cl, 27.12.2006. Заявка № 2005121877/12 от 12.07.2005.
3. Кузнецов Н.В., Татарченко И.И., Славянский А.А., Ткачева Я.Н. Исследование процесса поглощения кислорода табаком при ферментации // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2023. № 6 (83). С. 38—44.
4. Кузнецов Н.В., Татарченко И.И., Славянский А.А., Шумкова К.А. Изучение способов ферментации табака в непрерывном потоке // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2023. № 5 (82). С. 67—73.
5. Татарченко И.И. Табак, табачные изделия: технология и контроль качества. Краснодар: «Просвещение-Юг», 2018. 627 с.
6. Татарченко И.И., Воробьева Л.Н., Дьячкин И.И. Технохимический контроль производства пищевкусовых продуктов. Ростов-на-Дону: «Донской табак», 2005. 272 с.
7. Татарченко И.И., Воробьева Л.Н., Позняковский В.М. Экспертиза табака и табачных изделий. Качество и безопасность. Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2009. 258 с.
8. Татарченко И.И., Славянский А.А., Лебедева Н.Н. Изменение химического состава табачного листа при ферментации в условиях ограниченного доступа воздуха // Вестник МГУТУ. Серия прикладных научных дисциплин. 2023. № 2. С. 36—47.
9. Татарченко И.И., Славянский А.А., Лебедева Н.Н. Исследование процесса ферментации табака в анаэробных условиях // Вестник МГУТУ. Серия прикладных научных дисциплин. 2023. № 1. С. 73—83.

Сведения об авторах

Татарченко Ирина Игоревна, доктор технических наук, профессор, кафедра пищевой инженерии Кубанского государственного технологического университета. E-mail: i.tatarchenko@mail.ru

Славянский Анатолий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инновационных технологий продуктов из растительного сырья Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского. E-mail: a.slavyanskiy@mgutm.ru

Лебедева Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры инновационных технологий продуктов из растительного сырья Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского. E-mail: *n.lebedeva@mgutm.ru*

Information about the authors

Tatarchenko Irina Igorevna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Food Engineering, Kuban State Technological University. E-mail: *i.tatarchenko@mail.ru*

Slavyanskiy Anatoliy Anatolyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Innovative Technologies of Products from Vegetable Raw Materials, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management. E-mail: *a.slavyanskiy@mgutm.ru*

Lebedeva Natalya Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Innovative Technologies of Products from Vegetable Raw Materials, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management. E-mail: *n.lebedeva@mgutm.ru*