

$T_{\text{ф}}$, $T_{\text{фи}}$ – температура факела; T_z , $T_{\text{зи}}$ – температура в целевом зазоре между стенкой жаровой трубы и вторичным излучателем; $T_{\text{т}}$, $T_{\text{ти}}$ – температура на выходе из точки котла

Рис. 2 – Изменения значений температуры до и после установки вторичного излучателя

Выводы

Результаты исследований показали, что установка вторичного излучателя локализует зону реакций горения, реализует возникновение эффекта рециркуляции топочных газов в корень факела, без изменения теплового напряжения топочной камеры. Предложенный метод позволяет изменить структуру теплообмена в топке путём максимального использования конвекционного и радиационного теплопереноса. Проведенные промышленные испытания подтвердили эффективность данного метода и позволили стабилизировать горение, повысить КПД котла и снизить объём вредных выбросов.

Литература

1. Блох А.Г. Теплообмен в топках паровых котлов – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1984. – 240 с.
2. Кнорре Г.Ф. Теория топочных процессов – М.: Энергия, 1966. – 134 с.
3. Сполдинг Д.Б. Основы теории горения. – М-Л.: Госэнергоиздат, 1959. – 320 с.
4. Демченко В.Г., Сігал О.І. – Водогрійний котел. Деклараційний патент на винахід №81487, МПК 2006, F24H 1/28, F23C 9/00 від 10.01.2008, бюл. №1.
5. Басок Б.И., Демченко В.Г., Мартыненко М.П. Численное моделирование процессов аэродинамики в топке водогрейного котла с вторичным излучателем // Промышленная теплотехника. – 2006. – №1. – С. 17 – 22.

УДК 537.868:579.253.4

ВЛИЯНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РОСТ МИКРООРГАНИЗМОВ

**Рыбина О.Б., к.т.н., Бурдо О.Г., д-р техн. наук, профессор
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса**

Проведен анализ литературных данных по влиянию микроволновой обработки на рост микроорганизмов. Показано, что влияние существенно зависит от параметров обработки – мощности, времени воздействия и частоты (длины волны) электромагнитного поля. При больших мощностях основными являются тепловые эффекты. При малых мощностях нагрев практически отсутствует, соответст-

венно начинают проявляться более слабые нетепловые эффекты. В милли- и субмиллиметровом диапазоне наблюдаются резонансные эффекты, которые в деци- и сантиметровом диапазоне отсутствуют.

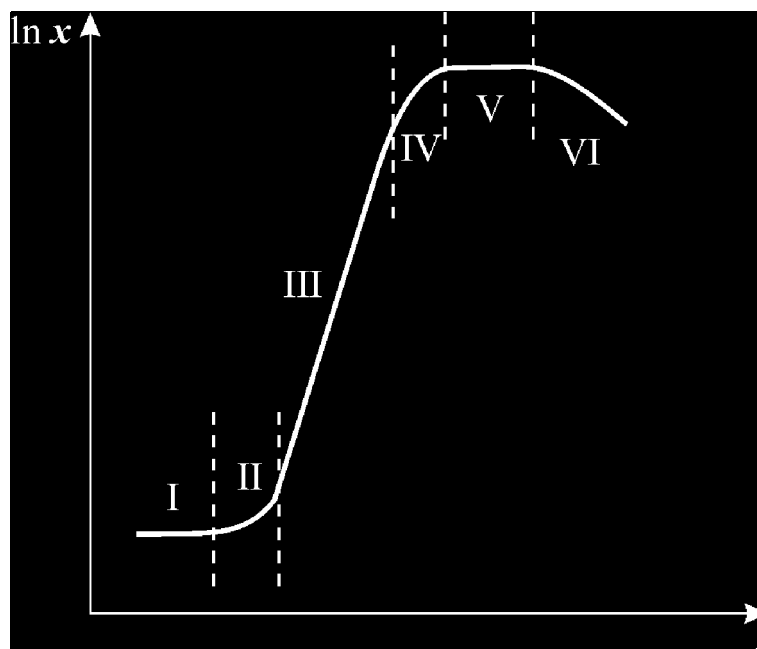
A brief overview of the influence of microwave treatment on the growth of microorganisms is given. This influence essentially depends on the conditions of the treatment – power, duration and frequency (wave length) of electromagnetic field. At large power the major effects are thermal ones. At low power heating practically doesn't occur, according nonthermal effects reveal themselves. In milli- and submillimetre range take place resonance effects whereas in deci- and centimeter range such effects don't observed.

Ключевые слова: микроволновая обработка, рост микроорганизмов, мощность электромагнитного поля.

Keywords: microwave treatment, growth of microorganisms, power of the electromagnetic field.

Одной из первых работ, в которой исследовалось влияние микроволнового электромагнитного поля на биологические объекты, является работа, выполненная франко-русским инженером и электротерапевтом Дж. Лакховским в 1923г. [1]. Он использовал самодельный генератор микроволнового излучения с частотой 150 МГц (длина волны – 2 м). Автор предполагал, что все клетки можно рассматривать как электрические осцилляторы. Хромосомы в них ведут себя, как короткозамкнутые электрические контуры, излучающие слабые электромагнитные поля. Микроволновое облучение клеток приводит к нарушению их собственного естественного излучения, что в свою очередь порождает заболевание клеток.

Сейчас такие взгляды представляют лишь исторический интерес.



I – лаг-фаза; II – фаза ускорения роста; III – логарифмическая фаза; IV – фаза замедления роста; V – фаза стационарная; VI – фаза отмирания культуры

Рис. 1 – Кривая роста микроорганизмов при периодическом культивировании

В настоящее время большинство исследователей считают, что воздействие микроволнового излучения на продукт сводится к его нагреву [2, 3, 4, 5]. Некоторые полагают, что существуют и не термические факторы воздействия излучения на продукт, однако их влияние меньше, чем термических [6, 7, 8, 9].

В связи с вышесказанным можно считать, что кривая кинетики роста микроорганизмов под действием микроволнового поля имеет приблизительно такой же вид, как и соответствующая кривая при обычном нагреве [10].

Интерес представляют две фазы на кривой (рис. 1):

1. Во время лаг-фазы и фазы ускорения роста бактерии адаптируются к новой среде обитания, и поэтому рост пока еще не достигает максимальной скорости. В этот период у бактерий могут, например, синтезироваться новые ферменты, необходимые для усвоения тех питательных веществ, которые находятся в новой среде.

2. Логарифмическая фаза – это когда бактерии растут с максимальной скоростью, число клеток увеличивается почти экспоненциально, а кривая роста представляет собой практически прямую.

Логарифмическая фаза может быть описана уравнением

$$N = N_0 \cdot e^{\mu t}$$

где N и N_0 – число микроорганизмов в момент времени t и в начальный момент соответственно, а μ – скорость роста микроорганизмов.

При увеличении интенсивности микроволнового излучения возрастает температура продукта (т.е. возрастает скорость μ).

По аналогии с химической кинетикой температурное влияние часто пытаются описывать законом Аррениуса:

$$\mu_m = \mu_{m0} \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$$

где μ_{m0} – предэкспоненциальный множитель, E – энергия активации, R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура.

Проблема состоит в том, что данное уравнение описывает только увеличение скорости роста и совсем не учитывает того обстоятельства, что реально зависимость роста микроорганизмов от температуры имеет характер кривой с экстремумом. Это можно объяснить все той же теорией об одновременно протекающих в клетках процессах синтеза и распада клеточного материала. При этом зависимость «объединенной» константы μ_m от температуры отображает разность двух сопряженных процессов, каждый из которых подчиняется закону Аррениуса, что можно описать уравнением

$$\mu_m = \mu_1 \cdot e^{-\frac{E_1}{RT}} - \mu_2 \cdot e^{-\frac{E_2}{RT}}$$

где μ_1 и μ_2 – предэкспоненциальные множители для синтеза и распада биомассы, E_1 и E_2 – энергия активации этих процессов.

Часто для этой цели используют более простые эмпирические зависимости:

$$\mu_m = \mu_0 + \mu_1 T + \mu_2 T^2$$

где μ_0 , μ_1 и μ_2 – коэффициенты, найденные путем обработки экспериментальных данных.

Розенберг и др. [11] рассматривали влияние электромагнитного поля на микроорганизмы *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* и *Staphylococcus aureus*. Сравнивали законы роста микроорганизмов или их инактивации при СВЧ-обработке и обычном нагреве. Мощность электромагнитного поля изменялась от 0 до 1037 Вт, частота – 2450 МГц. Отмечено, что рост *Escherichia coli* слегка задерживался при СВЧ-обработке (температура продукта 37 °С). Наличие нетемпературных эффектов при СВЧ-обработке не было ни подтверждено, ни опровергнуто.

В ряде работ исследовалось влияние полей нетепловой интенсивности на рост бактерий [12]. При малых интенсивностях микроволнового поля теплота, выделяющаяся в продукте, успевает через его поверхность рассеиваться в окружающем пространстве. Соответственно, его нагрев не превышает 1 – 2 °С. В этом случае тепловое воздействие поля отсутствует и остаются только не тепловые эффекты.

В [13] описывается непрерывный реактор, в котором можно исследовать рост бактерий в СВЧ-поле. Частота электромагнитного поля 2450 МГц, температура исследуемого продукта 37 °С. Исследовали три типа бактерий: *Bacillus clausii*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Staphylococcus aureus*. Определялись константы роста микроорганизмов, облучаемых СВЧ-полем при мощности от 0 до 400 мВт. В работе показано: 1) аппарат пригоден для проведения опытов в асептических условиях; 2) при исследуемых мощностях рост бактерий *Bacillus clausii* и *Pseudomonas aeruginosa* не отклонялся от нормы, а для *Staphylococcus aureus* были обнаружены небольшие отклонения: константа роста принимала минимальное значение при подаваемой мощности 200 мВт, а при увеличении мощности от 200 до 400 мВт эта константа несколько возрастала.

Saeed M.A. [14] изучал влияние микроволнового излучения частотой 2450 МГц и низкой интенсивности 1 Дж/(мин·см³) с длительностью воздействия 16 часов на рост микроорганизмов *Pseudomonas aeruginosa* и *Staphylococcus aureus*. Показано, что излучение действует в основном на клеточные оболочки. Рост микроорганизмов в присутствии СВЧ-излучения сопровождается небольшими изменениями клеточных оболочек, которые в свою очередь вызывают изменение чувствительности всей клетки. Такие изменения не достаточно велики для того, чтобы изменить специфические скорости роста при непрерывном СВЧ-облучении. Также они не влияют на подвижность или на клеточную морфологию.

До сих пор рассматривались электромагнитные поля сантиметрового диапазона (СВЧ-диапазон). В ряде работ исследовалось влияние на рост микроорганизмов полей миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов (КВЧ-диапазон) не тепловой интенсивности. Спецификой этого диапазона является то, что длина волны становится соизмеримой с размерами клеток, что может приводить к резонансным эффектам.

Крыцын Д.И. исследовал влияние параметров излучения магнитостатических волн (МСВ) на биологическую активность и длительность циклов синхронизации дрожжевой культуры [15]. Установлено, что, варьируя параметры излучения МСВ (пространственный период, уровень падающей мощности) и время экспозиции при напряженности статического поля подмагничивания 1380 Э можно управлять давлением биологической активности и изменять длительность циклов синхронизации дрожжей. С увеличением номера цикла синхронизации влияние параметров излучения МСВ (пространственного периода, уровня падающей мощности) и время экспозиции на длительность циклов синхронизации облученных дрожжей проявляется сильнее.

Биологическая активность и длительность циклов синхронизации дрожжей взаимосвязаны. С замедлением скорости деления микроорганизмов длительность циклов синхронизации дрожжей увеличивается, а с возрастанием – уменьшается. Зависимости относительного прироста биомассы дрожжей и длительности циклов синхронизации микроорганизмов от параметров излучения МСВ (пространственного периода, уровня падающей мощности) и времени экспозиции носят резонансный характер. Скорость деления необлученных и облученных МСВ дрожжей внутри цикла синхронизации можно описать нормальным законом распределения.

Исследования в миллиметровом диапазоне электромагнитных волн (1...10 мм) на биологические объекты показали, что, варьируя параметры излучения, можно влиять как на биологическую активность микроорганизмов, так и на их процесс синхронизации. Длины волн КВЧ-диапазона наиболее близки к размерам клетки и, следовательно, можно ожидать, что миллиметровые волны способны действовать на внутриклеточные процессы.

Влияние излучения МСВ на биологические объекты исследовалось в работе [16]. Показано, что, изменяя параметры излучения, можно как повышать, так и понижать скорость прироста биомассы микроорганизмов.

Известны данные о воздействии электромагнитных полей нетепловой интенсивности на дрожжи [17], бактерии [18]. Положительный эффект действия электромагнитного поля выражается в стимуляции роста, ускорении процессов метаболизма, изменении биохимического состава клеток. Большое внимание уделяется изучению действия электромагнитного поля на микроорганизмы (рассматривается достаточно широкий их спектр). Однако в общем картина не отличается системностью как в отношении изучаемых диапазонов длин волн излучения, так и в отношении выбора объектов исследования.

Литература

1. Lakhovsky G., *The Secret of Life Cosmic Rays and Radiations of Living Beings*. 3rd rev. ed. Health Science Press, Rustington, Sussex (1963) (Original French ed. 1929; English translation first published in 1939)
2. Rosenberg, U and Bogl, W. 1987. Microwave pasteurization, sterilization, blanching, and pest control in the food industry. *Food Technol.* 41(6): 92 – 99
3. Knutson, K.M., Marth, E.H. and Wagner, M.K. 1987. Microwave Heating of Food. *Lebensm Wiss Technol.* 20: 101 – 110
4. Vela, G.R. and Wu, J.F. 1979. Mechanisms of lethal action of 2,450-MHz radiation on microorganisms. *Appl Environ Microbiol.* 37(3): 550 – 553
5. Jeng, D.K., Balasky, G., Kaczmarek, K.A. and Woodworth, A.G. 1987. Mechanism of microwave sterilization in the dry state. *Appl Environ Microbiol.* 53(9): 2133 – 2137
6. S. Bamk, S. Bandyopadhyay and S. Qanqalay. Bioeffects of microwaves – a brief review. *Bioresource Technology*, v. 57, iss. 2, April 2003, p. 155 – 159
7. Khalil, H. and Villota, R. 1988. Comparative study on injury and recovery of *Staphylococcus aureus* using microwaves and conventional heating. *J. Food Protection.* 51(3): 181 – 186
8. Khalil, H. and Villota, R. 1989b. The effect of microwave sublethal heating on the ribonucleic acids of *Staphylococcus aureus*. *J. Food Protection.* 52(8): 544 – 548
9. Heddleson, R.A., Doores, S. And Anantheswaran, R. 1994. Parameters affecting destruction of *Salmonella* spp. by microwave heating. *J. Food Sci.* 59(2): 447 – 451
10. Ризниченко Г.Ю. лекции по математическим моделям в биологии. Часть 1 (изд. 2-е, испр. и дополн.), 2011

11. Rosenberg, U., Sinell, H.J. Effect of high frequency treatment on several microorganisms important to food health. Zentralbl. Hyg Umweltmed. 1989, June, 188 (3 – 4); s 271 – 83
12. Бурдо О.Г., Рыбина О.Б. Процессы инактивации микроорганизмов в микроволновом поле. 200стр., Одесса-2010, Изд. «Полиграф».
13. Renzo Carta, Francesco Desyus. The effect of low-power microwaves on the growth of bacterial populations in a plug flow reactor. AIChE Journal, v. 56, iss 5, pp 1270 – 1278, May, 2010
14. Saeed, M.A., Jilbert, P. Influence of low intensity 2450 MHz microwave radiation upon the growth of various microorganisms and their sensitivity towards chemical inactivation. Microbios, 1981, 32, pp 129 – 130, 135 – 142
15. Крыцын Д.И. Влияние переменных магнитных излучений на динамику роста микроорганизмов. Автореферат к. ф-м. н. Краснодар, 2009
16. Вызулин С.А., Вызулина В.И., Крыцын Д.И. Эффект действия излучения магнитостатических волн на биологическую активность микроорганизмов. Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества, 2004, №4, с. 28 – 33
17. Голант М.Б., Кузнецова Ф.Г., Божанова Т.П. О механизме синхронизации культуры дрожжевых клеток КВЧ излучением. Биофизика, 1994, т. 39, №3, с. 490 – 495
18. Бержанская Л.Ю., Бержанский В.И., Белопогодова О.Ю. Влияние ЭМ полей на биолюминисцентную активность бактерий. Биофизика, 1995, т. 40, №5, с. 974 – 977

УДК 537.868:663.18

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КЕФИРНЫЙ ГРИБ CORDYCEPS CHINENSIS

**Бурдо О.Г., д-р техн. наук, профессор, Рыбина О.Б., к.т.н., Терзема Е.Ф.
Одесская национальная академия пищевых технологий**

Рассматривалось влияние электромагнитного поля СВЧ диапазона на тибетский кефирный гриб. Проводились исследования зависимости рН молока с тибетским кефирным грибом от времени обработки и от удельной мощности электромагнитного поля, а также зависимости прироста биомассы от удельной мощности электромагнитного поля. Установлено, что максимальное значение прироста биомассы и минимальное значение рН продукта достигается при удельной мощности электромагнитного поля 0,08 кВт/кг.

The action of electromagnetic field of UHF range on Tibetan kefir fungus (Cordyceps chinensis) was considered. The dependence of pH of milk with the Tibetan kefir fungus and biomass growth on specific power and duration of treatment were studied. It was found 0,08 kWt/kg (specific power) biomass growth has a maximum and pH has a minimum.

Ключевые слова: тибетский кефирный гриб, электромагнитное поле, прирост биомассы.

Key words: Tibetan kefir fungus, electromagnetic field, biomass growth.

Электромагнитное поле может оказывать различное влияние на живые микроорганизмы. При одних значениях мощности поля и времени облучения может произойти инактивация определенного типа микроорганизмов. При других режимах происходит обратный процесс – микроорганизмы начинают быстрее развиваться, усиливается процесс их жизнедеятельности [1, 2, 3].

Одним из интересных объектов исследования является тибетский кефирный гриб (Cordyceps chinensis).

Сам по себе кефирный гриб является симбиозом более десяти различных микроорганизмов, растущих и размножающихся вместе [4]. В состав этого гриба входят лактобактерии, уксуснокислые бактерии, молочные дрожжи (таблица 1).