

О ВЛИЯНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА МИКРООРГАНИЗМЫ В ОРГАНИЧЕСКИХ СРЕДАХ

М.М. НИКОЛАЕНОК, канд. техн. наук,
П.В. КАРДАШОВ, Е.Е. ЗАЯЦ, инженеры
БАТУ

Жизнедеятельность микроорганизмов неразрывно связана с окружающей их средой и, в частности, температурой, влажностью, химическим составом, количеством воздуха и другими факторами, например, электромагнитным, ионизирующим и ультразвуковым воздействием. На изменении условий окружающей среды основаны различные методы активации или подавления микроорганизмов. Применительно к электротепловой и электрохимической обработкам интерес представляет влияние электрического тока на микроорганизмы в кормах.

Согласно установившимся взглядам, микробная клетка в суспензии представляет собой отрицательно заряженное тело с собственной электрической проводимостью и диэлектрической проницаемостью. Поверхностный заряд клетки определяется диссоциацией ионных групп периферического слоя микроорганизма и адсорбцией ионов из окружающей среды, образующих внутреннюю часть двойного электрического слоя (ДЭС). Наружная часть ДЭС формируется в результате электростатического притяжения ионов среды. Установлено, что величина поверхностного заряда, электрофоретическая подвижность клеток зависят от их вида и возраста, свойств раствора и изменяются в широком диапазоне. Кроме того, установлена связь между электрокинетическим потенциалом клеток и их патогенностью и вирулентностью. Существует и другое мнение, что биологические особенности бактерий нельзя связывать только с электрическими свойствами их поверхности, необходим комплексный учет электрических свойств, гидратации поверхности и изоэлектрических зон рН [1]. Ряд исследований подтверждает значительное влияние рН на заряженные микротела в электролитах [2, 3].

Исходя из сказанного, можно предположить прямое влияние электрического поля на электрически заряженную микробную клетку и косвенное воздействие электрического тока на микроорганизмы через изменение параметров среды их обитания, в первую очередь, температуру и химическую реакцию.

В водных растворах постоянное электрическое поле может оказывать как стимулирующее, так и угнетающее воздействие в зависимости от плотности тока и продолжительности обработки. Переменный ток промышленной частоты не оказывает заметного влияния на микроорганизмы, а на высокой частоте вызывает резко выраженный бактерицидный эффект. Антимикробное действие электрического поля проявляется через температуру и продукты приэлектродных реакций в результате растворения материала электродов под действием тока. В многокомпонентных средах постоянное электрическое поле активизирует взаимодействие ионов среды с микробными клетками, усиливает электролиз, активизирует диссоциацию химических соединений стенок бактериальных клеток.

Следует отметить, что в работах по стерилизации электрическим током не принята во внимание такая важная характеристика электрохимического процесса как количество электричества. Кроме того, практически не изучено электрохимическое действие постоянного тока. Исследователи ограничились рассмотрением приэлектродных процессов на постоянном токе, которые не могут внести заметные изменения в химическую активность всей обрабатываемой среды в силу низких плотностей тока и несравнимости масс в приэлектродном и межэлектродном пространствах.

Бактерицидный эффект электрохимического действия предположительно связан с изменением электрокинетического потенциала микробных клеток под влиянием изменяющегося рН корма. Как отмечено выше, микробные клетки обладают зарядом. Следовательно, изменяя ионный состав атмосферы вокруг клетки, можно воздействовать на ее дзета-потенциал и в изоэлектрической точке изменить его до нулевого значения. Если микробную клетку рассматривать как коллоидную частицу, то к ней применимы положения электрокоагуляции. Объединение микробных клеток под действием молекулярных, электростатических и дипольных сил ведет к их интеграции и потере активности. Некоторым предварительным подтвер-

1. Влияние рода тока и температуры на количество микроорганизмов.

| Характер обработки | Конечная температура, °С | | |
|---|------------------------------|-----------------|------------------|
| | 60 | 75 | 90 |
| | Снижение обсемененности, раз | | |
| Переменный ток, 50 Гц | 4,9 | 10 | $6,9 \cdot 10^3$ |
| Постоянный ток | 208 | 385 | $7,4 \cdot 10^3$ |
| Постоянный ток с разделительной мембраной | $22 \cdot 10^3$ | $32 \cdot 10^3$ | $687 \cdot 10^3$ |
| Нагрев в водяном термостате | 5,7 | 10 | $4,8 \cdot 10^3$ |

ждением сказанного могут быть изменения микробной среды под действием электро- и теплообработки, показанные на рис. 1, где видно, что при нагреве в термостате (рис. 1а) интеграция микробных клеток менее выражена, чем при электрообработке в кислой среде (рис. 1б).

Таким образом, можно заключить, что электрическое поле влияет на микроорганизмы в многокомпонентных средах, к которым относятся и корма, через термическое и химическое действия. Можно предположить, что глубина антимикуробного действия будет зависеть от температуры, количества электричества, введенного в среду, термической и химической активности электрического тока. Количество электричества характеризует режим обработки более полно, чем плотность или сила тока, так как учитывает не только величину тока, но и время его воздействия на микробную среду. Химическую активность среды можно оценить приближенно величиной рН-показателя.

Усилить химическое действие тока на микроорганизмы можно разделением процессов в катодной и анодной областях рабочей камеры, исключив смешивание и взаимную нейтрализацию продуктов электрохимических реакций. Разделение создает среды с резко различной химической активностью - щелочной и кислой, выравнивает концентрацию ионов по зонам обработки. В качестве разделительной перегородки в нашем случае применены мембраны.

Нами совместно с микробиологической лабораторией "Стандартплодоовощ" МСХП РБ, проведены сравнительные исследования влияния электрического тока на микроорганизмы зерна соломы, картофельного сока применительно к технологиям их обработки. Изучено влияние переменного,

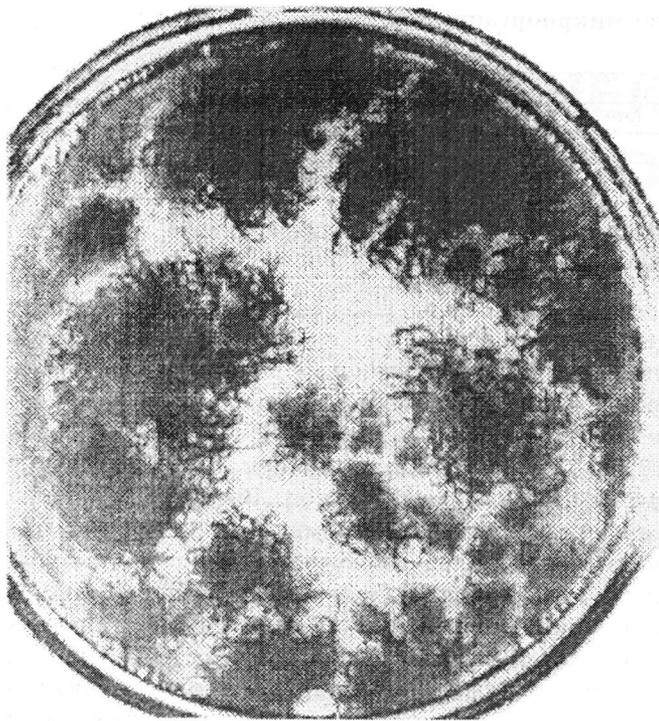
постоянного и постоянного с разделенными мембраной катодной и анодной зонами токов. Исследования проведены в диапазоне плотностей токов $(0,5...2)10^3$ А/м², охватывающем технологические режимы обработки кормов. Воздействию тока подвергали микроорганизмы вида *Бациллу* микоидес, наиболее характерно представляющие микробы кормов. Начальное содержание микроорганизмов составляло от $3,8 \cdot 10^7$ до $3,5 \cdot 10^8$ клеток в м³ (кл/м³). Стерилизующий эффект оценен по снижению обсемененности К, представляющей собой отношение числа микробных клеток до и после обработки.

Установлено влияние рода тока, количества электричества, температуры и водородного показателя на содержание клеток *Бациллу* микоидес в питательной среде (табл. 1, 2). Продолжительность обработки в опытах от 10 до 20 мин. Подготовка кормов соответствовала технологи [4, 5, 6].

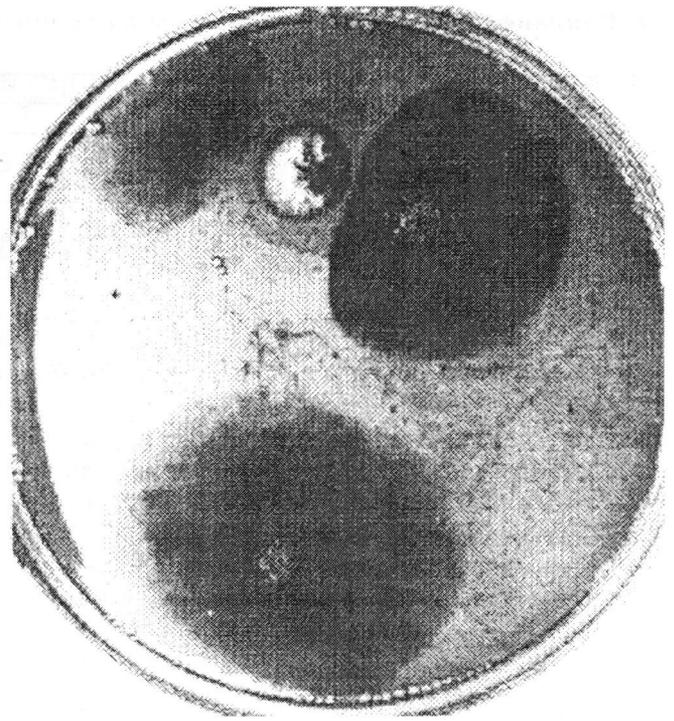
Анализ результатов исследований (табл. 1, 2) показывает, что переменный и постоянный ток, нагрев в термостате при температуре 90 °С обладают сравнимым бактерицидным эффектом. Постоянный ток при 60...70 °С вызывает несколько большее подавление микроорганизмов, что, видимо, связано с процессами электролиза у поверхности электродов и воздействием продуктов реакций на бактерии и грибы. Изменение температуры от 60 до 90 °С усиливает бактерицидный эффект примерно в 10 раз. Наложение переменного и постоянного токов увеличивает подавление микроорганизмов дополнительно в 1,5...2,0 раза. Воздействие электрического тока и ионов Н⁺ и ОН⁻ усиливает антимикуробное действие еще в 50...60 раз (табл. 1). В целом электрическое воздействие снижает в 100...120 раз количество

2. Влияние расхода тока и рН на количество микроорганизмов.

| Конечная температура, °С | 60 | | | 75 | | | 90 | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|------|------------------|------------------|------------------|
| Расход тока, 10 ⁶ Кл/м | 3,8 | 4,8 | 6,5 | 7,2 | 9,6 | 15,2 | 9,9 | 13,5 | 16,0 |
| рН кислой среды | 5,6 | 5,4 | 5,1 | 5,6 | 4,2 | 3,0 | 4,3 | 3,6 | 3,1 |
| Снижение обсемененности, 10 ³ раз | 15 | 16 | 22 | 19 | 32 | 48 | 560 | 687 | 7000 |
| рН щелочной среды | 7,2 | 7,6 | 8,6 | 8,4 | 9,8 | 11,5 | 11,0 | 11,1 | 11,4 |
| Снижение обсемененности, раз | 143 | 38 | 31 | 254 | 450 | 490 | $186 \cdot 10^3$ | $323 \cdot 10^3$ | $140 \cdot 10^4$ |



а



б

Рис. 1. Влияние обработки на *Vacillus tycooides* (мясо-питательный агар, 75 °С, х96):
а - нагрев в термостате;
б - электрообработка в кислой среде.

микроорганизмов в корме по сравнению с традиционной тепловой обработкой. Снижение конечной температуры обработки с 90 до 60 °С приводит к увеличению доли электрохимического фактора в бактерицидном эффекте примерно в 10^3 раз.

Электрохимическое влияние зависит от расхода тока и связанным с ним изменением щелочности и кислотности среды (табл. 2). Анолит обладает большим антимикробным действием, чем католит при всех температурах. С увеличением рН-показателя до 11 и температуры до 90 °С бактерицидное действие католита усиливается и становится сравнимым с действием анолита. Кроме того, рН среды может создавать условия, благоприятные для развития микроорганизмов. Например, повышение щелочности с 7,2 до 8,6 при 60 °С снижало гибель бактерий (табл. 2).

На основе выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Бактерицидное действие тепловой обработки органических сред повышается в 10^3 раз при увеличении температуры от 60 до 90 °С.

2. Наложение электрического тока (переменного и постоянного) при такой обработке повышает подавление микроорганизмов дополнительно в 1,5...2,0 раза, при этом действие постоянного тока возрастает с уменьшением температуры обработки.

3. Воздействие электрического тока и ионов H^+ и OH^- (постоянный ток с разделительной мемб-

раной) усиливает антимикробное действие еще в 50...60 раз, обеспечивая в целом увеличение доли электрохимического фактора в бактерицидном эффекте в 10^3 раз.

Литература

1. Мирошников А.И., Фомиченков В.М., Габуев И.С. и др. Разделение клеточных суспензий.-М.: Наука, 1997.
2. Зимин-Бермес Н.Н., Грошова В.А., Пименова В.А. и др. Сопоставление физико-химических особенностей поверхности бактерий: - В сб. Предупредительная медицина. - Кемерово: Книгоиздат, 1973,с.76.
3. Заяц Я.М., Ющанка И.Б. Да пытання электракаагуляцыі бялкоў бульбянага соку. - Мн.: Весці акадэміі аграрных навук Беларусі, 1994, N3,с.18.
4. А.с. 704585 (СССР). Способ обработки грубых кормов/ В.А. Карасенко, П.С. Авраменко, О.А. Вербич и др. - Оpubл. в Б.И., 1979, N47, МКИ А23К 1/12.
5. Карасенко В.А., Корко В.С., Пашинский В.А.. Влияние электрогидротермической обработки на качество зерна. - Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность, 1981, N1,с.41.
6. Патент РФ N2055622 МКИ А23К1/00. Способ коагуляции белка/ Е.М. Заяц, Л.С. Герасимович, И.Б. Ющенко.