

استخدام الكلور كعامل لإزالة التلوث في معالجة الدواجن: مراجعة نقدية شامل

١. المقدمة

يُعدّ لحم الدواجن مصدرًا أساسيًا للبروتين في سلاسل الإمداد الغذائي العالمية. ومع ذلك، فإن عملية إنتاجه تواجه تحديات ميكروبية خطيرة قد تُهدد سلامة الغذاء وصحة المستهلكين. تقليديًا، اعتمدت صناعة الدواجن على طرق إزالة التلوث المعتمدة على الكلور للحد من التلوث البكتيري، وخاصة من خلال استخدام هيبوكلوريت الصوديوم (الكلور)، وذلك نظرًا لبساطتها الأولية وانخفاض تكلفتها.

ورغم الانتشار الواسع لاستخدام الكلور، إلا أن فعاليته، ومخاطره الصحية، وتأثيره على جودة اللحوم أصبحت موضع شك متزايد. والأهم من ذلك أن الأدلة المتزايدة على مقاومة البكتيريا للكلور وتكوّن نواتج ثانوية مسرطنة، تثير تساؤلات جدية حول مدى ملاءمته وسلامته على المدى الطويل.

في هذا المستند، سنستعرض هذه المخاوف بشكل معمّق، مع تسليط الضوء على القيود المرتبطة بطرق إزالة التلوث باستخدام الكلور، وتقديم مقارنة تفصيلية مع **Bio-G-Active**، البديل المبتكر والمتفوق من جميع النواحي.

٢. الكلور كمادة لإزالة التلوث: آلية العمل

عند إذابة الكلور في الماء، يتكوّن حمض الهيبوكلوروس (HOCl)، وهو عامل قوي مضاد للميكروبات يعمل عن طريق تعطيل الوظائف الخلوية للبكتيريا. وتشمل آلياته ما يلي:

- **تخريب البروتينات:** يُكسّر الكلور الروابط الببتيدية في بروتينات البكتيريا، مما يؤدي إلى فقدان وظيفتها وموت الخلية في النهاية.
- **إتلاف أغشية الخلايا:** يخترق حمض الهيبوكلوروس جدران الخلايا البكتيرية ويتسبب في أضرار أكسدية، مما يؤدي إلى تسرّب محتويات الخلية.
- **تعطيل الإنزيمات:** يُعطّل الكلور الإنزيمات الضرورية لعملية الأيض والتكاثر لدى البكتيريا، مما يوقف نموّها.

ورغم هذه الآليات، فإن فعالية الكلور تعتمد بشدة على عدة عوامل، من أهمها:

- **مستوى الرقم الهيدروجيني (pH):** يكون الكلور أكثر فعالية عند مستويات pH منخفضة، حيث تكون نسبة حمض الهيبوكلوروس (HOCl) غير المتأينة أعلى. وعند ارتفاع مستوى pH، تزداد نسبة أيونات الهيبوكلوريت (OCl^-) التي تقلّ فعاليتها كمطهر بشكل كبير.

تأثير الرقم الهيدروجيني على فعالية الكلور

تعتمد الفعالية الميكروبية للكلور إلى حدّ كبير على الرقم الهيدروجيني، لأنه يؤثر مباشرة على النسبة بين الأشكال النشطة للكلور في المحلول.

عند مستويات pH منخفضة (بين 4 و 7)، يكون الكلور موجودًا في معظمه على شكل حمض

الهيپوكلوروس (HOCl) ، وهو شكل فعّال جدًا في اختراق جدران الخلايا البكتيرية وتعطيل وظائفها. ومع ذلك، عندما يرتفع الرقم الهيدروجيني إلى أكثر من 7.5، يتحوّل جزء كبير من الكلور إلى أيونات الهيپوكلوريت (OCI^-) الأقل فعالية كمطهّرات.

وعند مستويات pH أعلى من 8.5، يصبح معظم الكلور في شكل هيپوكلوريت، مما يُقلّل من نشاطه المضاد للبكتيريا إلى حدّ كبير.

وتُعد هذه المشكلة حرجة بشكل خاص في بيئات معالجة الدواجن، حيث يمكن أن يتغيّر الرقم الهيدروجيني لمياه المعالجة بسبب وجود المواد العضوية والمواد القلوية. ولهذا السبب، تتطلب معالجة الكلور **ضبطًا دقيقًا للـ pH** للحفاظ على الفعالية، مما يُضيف تعقيدًا وتكاليف إضافية مرتبطة باستخدام مواد كيميائية موازنة.

• **المادة العضوية:** وجود الدم، والدهون، وبقايا البروتين في مياه المعالجة يُقلّل بشكل كبير من فعالية الكلور، إذ يتفاعل الكلور مع هذه المواد لتكوين مركّبات عضوية كلورية، العديد منها يُعتبر من النواتج الضارة.

• **مدة التلامس:** يحتاج الكلور إلى وقت كافٍ للتفاعل مع الكائنات الدقيقة وقتلها. ومع ذلك، فإن قيود الوقت العملي في معالجة الدواجن تؤدي غالبًا إلى فترات تلامس قصيرة، مما يُضعف من فعاليته.

٣. القيود المتعلقة بفعالية الكلور ومقاومة البكتيريا

على الرغم من الاستخدام الطويل للكلور، إلا أن فعاليته كمادة لإزالة التلوث أصبحت موضع شك متزايد. فقد أظهرت العديد من الدراسات أن خفض أعداد البكتيريا الناتج عن استخدام الكلور غير متسق وغالبًا ما يكون دون المستويات المقبولة في معايير سلامة الغذاء. تُظهر مسببات الأمراض الشائعة مثل *السالمونيلا* و*الكامبيلوباكتر* مقاومة نسبية للكلور ضمن التراكيز المعتادة في معالجة الدواجن، وحتى مع استخدام تراكيز أعلى، تبقى النتائج دون المستوى المطلوب.

٣.١ انخفاضات غير متسقة في أعداد البكتيريا

أظهرت دراسات متعددة أن خفض أعداد البكتيريا باستخدام الكلور يتراوح ما بين 0.5 إلى 1.5 لوغ ($\log \text{cfu/cm}^2$)، وهي نسبة غير كافية لضمان سلامة الغذاء (KOTULA et al., 1967; WABECK et al., 1968). تُعزى هذه التفاوتات إلى عدة عوامل، منها:

• **الاختلاف في الحمل الميكروبي الأولي:** كلما كان عدد البكتيريا الابتدائي أعلى، تقل فعالية الكلور في تقليلها.

• **الظروف البيئية:** تؤثر درجة الحرارة وكمية المواد العضوية في مياه المعالجة بشكل كبير على أداء الكلور. على سبيل المثال، عند وجود محتوى عضوي عالٍ، تتكوّن نواتج كلورية مثل **الهالوميثانات الثلاثية (THMs)**، مما يُقلّل من نسبة الكلور الحر المتاح للتطهير الفعّال.

٣.٢ البكتيريا المقاومة للكلور

من أكثر الجوانب إثارة للقلق في الاستخدام طويل الأمد للكلور هو تطور مقاومة لدى بعض السلالات البكتيرية. فقد طُوّرت عدة أنواع من البكتيريا، بما في ذلك مسببات الأمراض سالبة الجرام مثل *Escherichia coli* و*Salmonella*، آليات للبقاء في بيئات معالجة بالكلور، ومن أبرزها:

• **تكوين الأغشية الحيوية (Biofilms):** تتمتع البكتيريا داخل الأغشية الحيوية بحماية طبيعية من تأثير الكلور. إذ يُشكّل الغشاء الحيوي حاجزًا يحمي الخلايا الداخلية، مما يجعل الكلور غير قادر على

اختراقه وقتل البكتيريا. (MEAD & THOMAS, 1973)

• **مضخات الطرد (Efflux Pumps):** طوّرت بعض البكتيريا مضخات طرد نشطة تقوم بطرد الكلور والمواد الضارة الأخرى من داخل الخلية، مما يسمح لها بالبقاء حتى في البيئات ذات التركيز العالي من الكلور.

• **تغيرات في بنية الغشاء الخارجي:** قامت بعض السلالات البكتيرية بتعديل بنية غشائها الخارجي لتقليل نفاذية الكلور، مما يقلل فعاليته بشكل كبير. (LeCHEVALLIER et al., 1988)

تؤدي هذه الاستجابات التكيفية إلى انخفاض فعالية الكلور وزيادة خطر انتقال التلوث في مصانع معالجة الدواجن، حيث يمكن أن تنتشر السلالات المقاومة من ذبابة إلى أخرى.

٤. المخاطر الصحية المرتبطة باستخدام الكلور في معالجة الأغذية

٤.١ تكوّن نواتج ثانوية ضارة

تُعدّ من أبرز المخاوف المرتبطة باستخدام الكلور في معالجة لحوم الدواجن تكوّن نواتج ثانوية سامة، مثل **الهالوميثانات الثلاثية (THMs)** والمركبات العضوية الكلورية. عند تفاعل الكلور مع المواد العضوية الموجودة على سطح الذبائح، تتكوّن مجموعة من المركبات الضارة، منها:

- **الكلوروفورم:** مادة مصنفة كمسرطنة معروفة، وغالبًا ما تُكتشف في جلد ودهون الدواجن بعد معالجتها بمياه مكلورة. تتجاوز مستويات الكلوروفورم في لحوم الدواجن الحدود المسموح بها لمياه الشرب بكثير. (ROBINSON et al., 1981) وقد ارتبط الاستهلاك طويل الأمد للدواجن الملوثة بالكلوروفورم بتلف الكبد والكلية والجهاز العصبي المركزي.
- **الكلوروهيدروكربونات:** تنتج هذه المركبات من تفاعل الكلور مع الدهون والبروتينات، وتتميز بخواصها **المطفرة** وميلها للبقاء في البيئة، مما يزيد من خطر التعرّض السام طويل الأمد للمستهلكين. (NOLLER, 1960)
- **مواد مطفرة (Mutagenic):** أظهرت الدراسات أن المياه المكلورة، خاصة عند إعادة استخدامها أو تصفيتها، تحتوي على مواد مطفرة يمكن أن تُسبب طفرات جينية وتزيد من خطر الإصابة بالسرطان. وقد تمّ اكتشاف هذه المواد بتركيزات منخفضة تصل إلى 100 جزء في المليون. (MASRI, 1986)

تُشكّل هذه المركبات خطرًا صحيًا كبيرًا، خاصة في ظل غياب رقابة صارمة في مجال معالجة الدواجن، مقارنة بالمعايير الصارمة المفروضة على مياه الشرب.

٤.٢ تهيج الجهاز التنفسي والأغشية المخاطية

يتعرّض العاملون في مصانع معالجة الدواجن بشكل مستمر لبخار الكلور ورذاذه، خصوصًا في المناطق التي تُستخدم فيها المياه المكلورة للتبريد وغسل الذبائح. حتى في التراكيز المتوسطة، يُسبب الكلور تهيجًا للعينين والأنف والحلق، بينما تؤدي التراكيز العالية (مثل 50 جزء في المليون) إلى صعوبات تنفسية حادة تتراوح من سعال مزمن إلى ضيق في التنفس (THOMSON et al., 1979). وقد يؤدي التعرّض الطويل الأمد إلى تلف دائم في الجهاز التنفسي وزيادة خطر الإصابة بأمراض مهنية في الرئة.

٤.٣ تآكل المعادن وتلف المعدات

تُشكل الطبيعة التآكلية للكلور تحديًا كبيرًا في بيئات معالجة الدواجن، حيث يؤدي استخدام الكلور، خصوصًا في مستويات pH منخفضة، إلى تآكل سريع للآلات المصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ. ولا يؤدي هذا التآكل إلى تقصير عمر المعدات فحسب، بل يزيد أيضًا من خطر التلوث نتيجة ملامسة جزيئات المعدن المتآكلة ولحوم الدواجن. (SCHLISSER & STRAUCH, 1981)

٥. التأثير السلبي على جودة لحم الدواجن

٥.١ التدهور الحسي

يؤدي استخدام الكلور، لا سيما عند التراكيز المرتفعة، إلى مجموعة من التأثيرات الحسية السلبية على لحم الدواجن، منها:

- **النكهات غير المرغوبة:** عند استخدام تراكيز كلور تتجاوز 60 جزء في المليون، يُلاحظ ظهور رائحة كيميائية مميزة وطعم شبيه بالكلور في لحم الدواجن، مما يُقلل بشكل كبير من جاذبية المنتج لدى المستهلكين. (DIXON & POOLEY, 1961)
- **تغيرات في القوام:** يُمكن أن يؤدي الماء المكلور إلى تغيير في بنية البروتينات داخل اللحم، مما يُنتج ملمسًا أكثر صلابة وفقدانًا للرطوبة، وهو ما يُعتبر غير مرغوب فيه من حيث الجودة الحسية.

٥.٢ احتباس الماء وإعادة التلوث

تميل الدواجن المعالجة بمياه مكلورة إلى احتباس كميات زائدة من الماء، وهو ما قد يؤدي إلى انتقال التلوث أثناء مراحل المعالجة. وتُجيز اللوائح الأوروبية احتباس ماء بنسبة تصل إلى 6%، بينما تسمح اللوائح الأمريكية بنسبة تصل إلى (VO EWG 2967/768) 6%؛ (TSAI et al., 1992). ويُمكن أن يحتوي هذا الماء المحتبس على بكتيريا متبقية أو نواتج ثانوية، مما يزيد من خطر إعادة التلوث أثناء انتقال الذبائح عبر خط الإنتاج.

٦. ميزة: Bio-G-Active حل أكثر أمانًا وفعالية

يُمثل **Bio-G-Active** تطوّرًا كبيرًا في تقنيات سلامة الغذاء. وعلى عكس الكلور الذي يرتبط بالعديد من السلبيات، يُقدّم **Bio-G-Active** مجموعة واسعة من الفوائد دون المخاطر الصحية أو البيئية المرتبطة بالمواد الكيميائية التقليدية. ويُبرز المقارنة المباشرة بين الكلور و **Bio-G-Active** تفوّق الأخير من جميع النواحي تقريبًا:

٦.١ فعالية ميكروبية متفوّقة

أظهر **Bio-G-Active** فعالية عالية ضد مجموعة واسعة من مسببات الأمراض، بما في ذلك السلالات المقاومة للكلور. وتُتيح تركيبته الفريدة له اختراق الأغشية الحيوية (Biofilms) والقضاء على البكتيريا من مصدرها، مما يجعله أكثر فعالية من الكلور في خفض الحمل البكتيري.

٦.٢ عدم تكوّن نواتج ثانوية ضارة

وعلى عكس الكلور، لا يُنتج **Bio-G-Active** نواتج ثانوية مسرطنة مثل الهالوميثانات الثلاثية

(THMs)أو الكلوروفورم. وتضمن تركيبته القابلة للتحلل الحيوي عدم بقاء أي مواد كيميائية ضارة على اللحم، مما يجعله خيارًا أكثر أمانًا للمستهلكين والبيئة.

٦.٣ الحفاظ على جودة اللحم
يُحافظ **Bio-G-Active** على طعم وقوام ومظهر لحم الدواجن. ولا يُسبب نكهات غير مرغوبة أو تغييرات ملمسية كما يفعل الكلور، مما يُبقي المنتج جذابًا من الناحيتين البصرية والحسية للمستهلك.

٦.٤ سلامة العمال وطول عمر المعدات
لا يُسبب **Bio-G-Active** تهيجًا، ولا يُشكل خطرًا صحيًا على العاملين في مصانع المعالجة. كما أنه لا يتسبب في تآكل المعدات المعدنية، مما يُقلل من تكاليف الصيانة ويُطيل عمر الآلات. ويُشكل ذلك ميزة كبيرة مقارنة بالكلور الذي يتلف المعدات ويزيد من التكاليف التشغيلية.

٧. الخاتمة

أصبح استخدام الكلور في معالجة لحوم الدواجن خيارًا غير مستدام بشكل متزايد، وذلك نظرًا لفعاليتها المحدودة، ومخاطره الصحية، وتأثيراته السلبية على جودة اللحم. وفي المقابل، يُقدّم **Bio-G-Active** بديلاً آمناً وفعالاً وصديقاً للبيئة، يُعالج جميع أوجه القصور المرتبطة باستخدام الكلور.

ومع تطوّر التشريعات وزيادة طلب المستهلكين على منتجات غذائية أكثر أمانًا، يُعتبر **Bio-G-Active** الحل الأنسب لضمان السلامة الميكروبيولوجية في معالجة الدواجن، دون المعوّقات والمخاطر المرتبطة بالأساليب التقليدية القائمة على الكلور.

معلومات الاتصال

BGA Dictum GmbH

Mommsenstraße 7

10629 Berlin / Germany

+49 (0)30 8442891

post@bga-dictum.com

www.bga-dictum.com