ويتعين تقدير أعداد الميكروبات المتبقية على الأجهزة - بصورة منتظمة - بأحد الثلاث طرق كما يلي:

١- طريقة لمس السطح بطبق بترى:

يستخدم لهذا الاختبار أطباق بترى أو أغشية تحتوى على بيئة آجار خاصة لنمو نوعيات معينة من الميكروبات. يضغط طبق بترى أو الغشاء على السطح الذى يمكن أن يلامسه الغذاء. ويسجل المكان. ويلى ذلك تحضين الطبق فى المختبر، حيث يظهر النمو البكتيرى على الآجار إن كان هناك تلوث على السطح المختبر. ويستدل على جودة عملية التنظيف من قلة أعداد المستعمرات البكتيرية النامية بكل سنتيمتر مربع من سطح الآجار.

٢- طريقة مسح الأسطح:

يستخدم فى هذا الاختبار ممسحة صغيرة معقمة ومبللة (تتوفر تجاريًا) فى مسح مساحات محددة من الأسطح التى يمكن أن يلامسها الغذاء، ثم توضع المسحة فى بيئة مغذية سائلة وتحضَّنا معًا، ثم تقدر أعداد البكتيريا فى أطباق بترى.

طريقة الاستشعاع البيولوجى:

يُستفاد من طريقة الاستشعاع البيولوجى biolumescence فى الحصول على نتائج الفحص الميكروبى فى الحال. تعتمد هذه الطريقة على تقدير كمية الـ ATP التى تتواجد على الأسطح التى يمكن أن يلامسها الغذاء. يتواجد الـ ATP فى جميع الخلايا الحية؛ ولذا .. فهو دليل جيد على تواجد المادة العضوية. يتم مسح الجهاز بالمسحة المعقمة المبللة كما فى الاختبار السابق، ثم تقدر كمية الـ ATP فيها باختبار كيميائى تستخدم فيه عدة اختبار test kit تتوفر تجاريًا (عن Gorny & Zagory ٢٠٠٤).

استراتيجيات التخلص من الحمل الميكروبى بالمنتجات الطازجة

الغسيل مع استعمال المطهرات

إن غسيل المنتج قبل تجهيزه أمر مرغوب فيه، ولكنه لا يضمن أن يصبح المنتج خال من التلوث الميكروبى. ولقد أظهرت الدراسات أن غسيل المنتج فى ماء بارد مكلور

يخفض أعداد الميكروبات بمقدار ١٠٠ إلى ١٠٠٠ مرَّة (٢ إلى ٣ log). إلا أن التخلص التام منها لا يتحقق لأن الكائنات الدقيقة تلتصق بأسطح المنتجات، وقد تتواجد فى زوايا وشقوق ميكرسكوبية منعزلة على سطح المنتج.

ويعد ذلك الأمر مشكلة نظرًا لأن السلالة البكتيرية *E. coli* O157:H7 يمكنها إصابة الإنسان إذا توفر منها من ١٠–١٠٠ خلية حية فقط. وإلى الآن لا توجد معاملات غسيل يمكنها التخلص التام من مسببات أمراض الإنسان من المنتجات الطازجة. كذلك فإن مياه الغسيل يمكنها – إن لم تكن كاملة النظافة – أن تكون مصدرًا للتلوث الميكروبى فى كل جزء من المنتج الطازج يمر على هذا الماء (عن Gorny & Zagory ٢٠٠٤).

وتؤثر خشونة سطح المنتج على معدل خفض العدِّ الميكروبى بالغسيل؛ فنجد – مثلاً – أن الكنتالوب – ذات السطح الخشن – يكون أقل كثيرًا فى معدل الانخفاض فى العدِّ الميكروبى بالغسيل مقارنة بالانخفاض فى العدِّ الميكروبى فى التفاح ذى السطح الناعم (Wang وآخرون ٢٠٠٧).

التطهير بالكلورين

استعمالات الكلورين

إن الاستعمال الرئيسى للكلورين هو لأجل تثبيط أو تدمير مسببات الأمراض من البكتيريا والفطريات والفيروسات التى قد تتواجد على البذور والعقل وفى ماء الرى وعلى معدات الزراعة والأسطح التى تتلامس مع المحصول. كما يستخدم الكلورين على نطاق واسع فى شتى معاملات ما بعد الحصاد لمنتجات الخضر (جدول ١–٥)، وهو فعال ومُتاح وليس مكلفًا.

جدول (١-٥): استعمال الكلورين كمطهر أثناء الإنتاج وحتى تسويق الخضر والفاكهة الطازجة (عن Suslow ٢٠٠٨).

المستهدف بالتطهير	الطريقة	التركيز (جزء فى المليون)	الكائنات الدقيقة المستهدفة	شيوع المعاملة
البذور	النقع	٢٠٠-٢٠٠٠٠	فيروسات – بكتيريا – فطريات	شائعة
العقل	الرش – النقع	٢٠-٤٠	بكتيريا – جراثيم فطرية	محدودة
أدوات عمل العقل	الغمس – الرش	٢٥-١٠٠	بكتيريا – جراثيم فطرية – فيروسات	شائعة
أدوات التطعيم	الغمس – الرش	٢٥-١٠٠	بكتيريا – جراثيم فطرية – فيروسات	شائعة
الإكثار الآلى	شفرات تقطيع تقاوى البطاطس	٥٠-١٠٠	بكتيريا	محدودة
إنتاج الشتلات	ماء الرى	١,٠-٢,٥	بكتيريا – فطريات الـ *Pythium* والـ *Phytophthora* والـ *Colletotrichum*	محدودة
الأحذية	الغمس			
المزارع المائية	الرى – ماء الرسمدة – ماء المحاليل المغذية	٢٥-٥٠	فطريات التربة	لم تعد شائعة
		٠,٥-١,٥	بكتيريا – فطريات الـ *Pythium* والـ *Phytophthora* والـ *Colletotrichum*	محدودة
إدامة خراطيم التنقيط	الحقن	٥٠-١٥٠	إزالة أغشية النموات البكتيرية ومنع تكوينها	شائعة
تانكات الرش	الغسيل	٥٠-١٥٠	إزالة أغشية نموات الكائنات الدقيقة ومنع تكوينها	محدودة
المعدات الحقلية	الغسيل	٥٠-١٠٠ باستعمال رشاشات تحت ضغط فى التربة عال	مسببات الأمراض التى تعيش	محدودة

تابع جدول (١-٥).

المستهدف بالتطهير	الطريقة	التركيز (جزء فى المليون)	الكائنات الدقيقة المستهدفة	شيوع المعاملة
معدات الحصاد	الغسيل	٥٠-١٥٠	البكتيريا – الجراثيم الفطرية	شائعة
ماء غسيل المنتجات	—	٥٠-٤٠٠	البكتيريا – الجراثيم الفطرية	شائعة
ماء تفريغ شحنات المنتجات	—	٥٠-٤٠٠	البكتيريا – الفطريات – الحمل الميكروبى السطحى	شائعة
ماء الغسيل بالرش	—	٧٥-١٥٠	البكتيريا – الحمل الميكروبى السطحى	شائعة
القفازات	الغمس	٢٥-٧٥	الميكروبات	حلت محلها محاليل الأيودين غالبًا
ثلج التبريد	معاملة مصدر ماء الثلج	٢٥-٥٠	البكتيريا الـ coliform – الفيروسات	محدودة
ماء التبريد	—	٥٠-٣٠٠	البكتيريا – الحمل الميكروبى السطحى	شائعة
أدوات التقشير بالحك	الغسيل	٥٠-٢٠٠	البكتيريا – الحمل الميكروبى السطحى	شائعة
الخضروات المجهزة للمستهلك	ماء الغسيل والتبريد	٥٠-٢٠٠	البكتيريا – الحمل الميكروبى السطحى	شائعة
خطوط التعبئة (السيور الناقلة – الحاشيات – الموجهات ... إلخ)	الغسيل – الرش	فوم مكلور أو ماء مكلور	منع تكوين أغشية الكائنات الدقيقة – الحد من الحمل الميكروبى	محدودة
خطوط وبشابير المست فى مراكز التوزيع والعرض بأسواق التجزئة	الحقن	٤-١٠	منع تكون أغشية الكائنات الدقيقة ومنع البكتيريا الـ coliform	شائعة
التقليم والغسيل بأسواق التجزئة	الغسيل	٢٥-٥٠	البكتيريا – الحمل الميكروبى السطحى	ليست شائعة

ونقدم – فيما يلي – بيانًا بالمدى الموصى بـه لتركيـز الكلـورين الـذى يستخدم فى تطهير مختلف الخضر والفاكهة الطازجة (Suslow ٢٠٠٨).

المحصول	التركيز (جزء فى المليون)	المحصول	التركيز (جزء فى المليون)
الخضر			
خرشوف	١٠٠–١٥٠	أسبرجس	١٢٥–٢٥٠
فلفل حلو	١٥٠–٤٠٠	بروكولى	١٠٠–١٥٠
كرنب بروكسل	١٠٠–١٥٠	كرنب (مقطع)	١٠٠–١٥٠
جزر	١٠٠–٢٠٠	قنبيط	١٠٠–١٥٠
كرفس	١٠٠–١٥٠	أذرة سكرية	٧٥–١٠٠
خضر ورقية مقطعة	١٠٠–١٥٠	خيار	١٠٠–١٥٠
ثوم مقشر	٧٥–١٠٠	خس آيس برج (مقطع)	١٠٠–١٥٠
خس (مظهر دهنى)	١٠٠–١٥٠	خس (رومين)	١٠٠–١٥٠
كنتالوب	١٠٠–١٥٠	عيش غراب	١٠٠–١٥٠
بصل أخضر	١٠٠–١٥٠	البسلة السكرية	٥٠–١٠٠
الفلفل الحار	٢٥٠–٤٠٠	البطـــاطس (الحمـــراء والبنية)	٢٠٠–٣٠٠
البطاطس (البيضاء)	١٠٠–٢٥٠	القرع العسلى	١٠٠–٢٠٠
الفجل	٥٠–١٥٠	السبانخ	٧٥–١٥٠
البطاطا	١٠٠–١٥٠	الكوسة	٧٥–١٠٠
الطماطم	٢٠٠–٣٥٠	اللفت	١٠٠–٢٠٠
اليام	١٠٠–٢٠٠		
الفاكهة			
التفاح	١٠٠–١٥٠	الكريز	٧٥–١٠٠
الجريب فروت	١٠٠–١٥٠	الكيوى	٧٥–١٠٠
الليمون الأضاليا	٤٠–٧٥	البرتقال	١٠٠–٢٠٠
الخـوخ – النكتـارين – البرقوق	٧٥–١٥٠	الكمثرى	٢٠٠–٣٠٠

وتُطهر البذور التى تستخدم فى إنتاج النبت المأكول sprouts بالنقع فى محلول الكلورين (غالبًا مع الحرارة)؛ بهدف وقف النموات البكتيرية والفطرية عند الاستنبات. ويُسمح فى الولايات المتحدة بتطهير بذور البرسيم الحجازى لهذا الغرض بالنقع فى محلول من هيبوكلوريت الكالسيوم بتركيز ٢٠٠٠٠ جزء فى المليون. وقد وجد أن هذا التركيز يؤدى فى أنواع كثيرة متباينة من البذور إلى خفض الحمل البكتيرى بمقدار ٦ لوغاريتم مقارنة بالتلوث فى البذور غير المعاملة.

وتعد بعض مسببات أمراض الإنسان – مثل الـ *Chrytosporidium* – شديدة المقاومة للكلورين، ولكن مسببات مرضية أخرى – مثل الـ *Salmonella*، والـ *E. coli*، – تعد حساسة له، ولكنها قد تتواجد فى أماكن يصعب الوصول إليها كالتشققات السطحية فى أديم الثمار. وعمومًا تجب المحافظة على تركيز ٧٥–١٥٠ جزء فى المليون من الكلورين فى ماء الغسيل الذى يجب أن يكون قريبًا من التعادل (pH من ٦,٥ إلى ٧,٥).

وقد كان الكلورين يستعمل فى الماضى بتركيزات عالية لاعتقاد كان سائدًا بأنه لا يترك أى متبقيات فى المنتجات المعاملة به، إلا إنه تبين أنه قد يُحدث أكسدة غير كاملة لبعض المواد العضوية تؤدى إلى تكوين مركبات غير مرغوب فيها مثل الكلوروفورم ($CHCl_3$) أو trihalomethanes أخرى، وهى التى قد تكون مسرطنة عند تواجدها بتركيزات عالية.

ولقد أدى غمر الخس المجهز للمستهلك fresh-cut فى محلول هيبوكلوريت كالسيوم يحتوى على ٥٠ جزءًا فى المليون من الكلورين الحر إلى خفض أعداد الـ *E. coli* (٦,٨ لو وحدة مكونة للمستعمرات/جم) بمقدار ١,٩–٢,٨ لو وحدة مكونة للمستعمرات/جم. كذلك حدث تأثير مقارب لذلك التأثير عند معاملة البروكولى (Behrsing وآخرون ٢٠٠٠).

وإنه لمن الفهم الخاطئ الواسع الانتشار أن ماء الغسيل المكلور ينظف أو يعقم المنتج عند استعماله. فالماء المكلور لا يزيد تنظيفه للمنتج عن ماء الشرب العادى، ولكن

الكلورين يطهر ماء الغسيل ويحافظ على بقاء العد الميكروبى منخفضا فيه؛ بما يعنى أن هذا الماء لا يصبح مستودعا لجراثيم الأعفان والبكتيريا التى يمكن أن تلوث المنتج. وأكثر المركبات استخداما كمصدر للكلورين فى مياه الغسيل هيبوكلوريت الصوديوم وهيبوكلوريت الكالسيوم. ويتوقف النشاط المضاد للميكروبات لهذين المركبين على كمية حامض الهيبوكلوريس hypochlorus acid (HOCl) التى تتواجد فى الماء؛ الأمر الذى يعتمد على pH الماء، ومحتواه من المواد العضوية، ودرجة حرارته. فعند زيادة الـ pH عن ٧,٥ لا يتواجد سوى القليل جدًا من الكلورين كحامض هيبوكلوريس نشط، ولكنه يتواجد كهيبوكلوريت hypochorite (OCl^-) غير نشط. ولذا .. تجب المحافظة على pH ماء الغسيل بين ٦,٠، و ٧,٥ لضمان تواجد نشاط للكلورين. وإذا ما انخفض الـ pH إلى أقل من ٦,٠ فإنه قد يتكون غاز الكلور الذى يكون مُلهبًا للعاملين. أما المادة العضوية التى قد تتواجد فى ماء الغسيل فإنها تقلل من نشاط الكلورين؛ ولذا .. يتعين تغيير الماء أو ترشيحه على فترات.

ونعرض فى جدول (١-٦) مقارنة بين الكلورين وبعض المطهرات الأخرى لماء الغسيل، والـ pH المناسب لنشاطها؛ ومدى تأثرها بتواجد المواد العضوية فى الماء المراد تطهيره (عن Gorney & Zagory ٢٠٠٤).

جدول (١-٦): نشاط مختلف مطهرات ماء الغسيل، والـ **pH** المناسب لنشاطها، ومدى تأثرها بتواجد المواد العضوية.

المادة المطهرة	الـ pH المناسب	مدى الحساسية للمادة العضوية	النشاط البيولوجى
Hyopchlorites	٦,٠-٧,٥	حساسة جدًا	مؤكسدة
Chlorine dioxide	٦,٠-١٠,٠	حساسة	مؤكسدة
Ozone	٦,٠-١٠,٠	حساسة نوعًا ما	مؤكسدة
Peroxyacetic acid	١,٠-٨,٠	حساسة نوعًا ما	مؤكسدة
UV light	لا يؤثر	حساسة نوعًا ما	تعطل الدنا

وبينما لم تكن للمعاملة بهيبوكلوريت الصوديوم تأثير جوهرى على معدل تنفس الجزر والكرات والكرنب، إلاّ أنها رفعت معدل التنفس فى الخس الآيس برج من ٠,٣٠ إلى ٠,٤٦ ملللى مول أكسجين/كجم فى الساعة. هذا بينما لم يغير غسيل الكرات والخس الآيس برج والجزر بحامض البيروكسى أستيك peroxyacetic acid من معدل تنفسها، ولكنه أدى إلى خفض المعدل فى الجزر والكرنب إلى أقل من نصف ما كان عليه قبل بدء المعاملة. وبالمقارنة .. فقد أنقصت معاملة الكرات والكرنب بالماء المعامل (neutral electrolysed oxidising water) المحتوى على ٣٠ جزءًا فى المليون من الكلورين الحر .. أنقصت معدل التنفس فيهما (Vandekinderen وآخرون ٢٠٠٨).

مصادر الكلورين

يتوفر الكلورين تجاريًّا فى ثلاثة مصادر يُسمح باستخدامها، وهى:

١- غاز الكلورين:

يعد الغاز المضغوط أقل مصادر الكلورين تكلفة، ولكن يقتصر استعماله على العمليات الكبيرة لاحتياجه لمعدات خاصة فى الحقن ومراقبة الـ pH، نظرًا لأنه يخفض pH الماء إلى أقل من ٦,٥. يستخدم غاز الكلورين فى الحالات التى تزيد فيها احتمالات تواجد التربة والمتبقيات النباتية والثمار المتعفنة كما فى المراحل الأولى للغسيل والتدريج، حيث يحقن غاز الكلورين فى أكثر من مرحلة للمحافظة على تركيز مناسب منه.

٢- هيبوكلوريت الكالسيوم ($CaCl_2O_2$):

يعد هيبوكلوريت الكالسيوم أكثر مصادر الكلورين شيوعًا فى الاستعمال لتطهير المنتج والماء المستعمل معه، وهو يتواجد عادة بتركيز ٦٥٪ أو ٦٨٪ مادة فعالة، وعلى صورة مسحوق محبب أو حبوب مضغوطة أو حبوب بطيئة التيسر. يفضل دائمًا إذابة الكمية المرغوب فيها من هيبوكلوريت الكالسيوم فى ماء دافئ قبل المعاملة بها للتأكد من اكتمال ذوبانها، لأن عدم ذوبانها قد ينشأ عنه حالات سمية للمنتج على صورة فقدان للون واحتراق. وتجدر الإشارة إلى أن هيبوكلوريت الكالسيوم يفيد – كذلك – فى تحسين القدرة التخزينية والمقاومة للأمراض بدخول الكالسيوم فى تركيب الجدر الخلوية.

٣- هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl):

يستخدم هيبوكلوريت الصوديوم – عادة – فى العمليات المحدودة، وهو يوجد بتركيز ٥,٢٥٪ أو ١٢,٧٥٪ مادة فعالة فى صورة سائلة، ذلك لأن الصورة الصلبة تمتص الرطوبة سريعًا من الهواء؛ لينطلق منها غاز الكلورين. ورغم توفر هيبوكلوريت الصوديوم فى سوائل التنظيف المنزلية (مثل الكلوراكس) فإنه لا يُسمح باستعمالها.

وبالإضافة إلى المصادر التى تقدم بيانها يستخدم – كذلك – ثانى أكسيد الكلورين (ClO_2) فى التعقيم بتركيز ٣-٥ أجزء فى المليون. يوجد المركب على صورة غاز أصفر إلى أحمر اللون، وهو ذا قدرة عالية على الأكسدة وقابل للانفجار عند تركيز ١٠٪ أو أعلى من ذلك؛ لذا فإنه يحتاج إلى خبرة كبيرة فى طريقة استعماله والتعامل معه (T. Suslow – جامعة كاليفورنيا – ديفز – الإنترنت – ٢٠٠٧).

وكما أسلفنا .. فإن الصور الرئيسية للكلورين تتضمن هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl)، وهيبوكلوريت الكالسيوم [$Ca(OCl)_2$]، وغاز الكلورين Cl_2. يباع هيبوكلوريت الصوديوم – عادة – كمحلول بتركيز ١٢٪ إلى ١٥٪. أما هيبوكلوريت الكالسيوم فإنه يباع – عادة – كمسحوق أو أقراص بتركيز ٦٥٪، إلا أنه لا يذوب بسرعة – خاصة فى الماء البارد – علمًا بأن الحبيبات غير الذائبة يمكن أن تضر بالخضر والفاكهة. ولمنع حدوث ذلك يذاب المسحوق أولاً فى كمية صغيرة من الماء الدافئ قبل إضافتها إلى تانك الماء. وإذا ما استعملت الأقراص كمصدر مستمر بطئ التيسر من الكلورين، يجب التأكد من وضع الأقراص فى مكان يتحرك فيه الماء جيدًا. ويتوفر غاز الكلورين مضغوطًا فى أسطوانات. ويجب التعامل معه بحرص وتبعًا للتعليمات (Ritenour وآخرون ٢٠٠٢).

تحضير التركيز المناسب من الكلورين ومتابعة التركيز

للحصول على تركيز معين من الكلورين باستعمال هيبوكلوريت الصوديوم، فإنه تستعمل الكميات التالية بالملليلتر (سم^3) لكل لتر من المحلول النهائى.

التركيز المستهدف (جزء فى المليون)	ملليترات هيبوكلوريت الصوديـــوم ٥,٢٥٪	ملليترات هيبوكلوريت الصوديـــوم ١٢,٧٥٪
٥٠	١,٠	٠,٤
٧٥	١,٤	٠,٦
١٠٠	١,٩	٠,٨
١٢٥	٢,٤	١,٠
١٥٠	٢,٩	١,٢

وللمحافظة على تركيز مناسب من الكلورين تجب إضافة الكلورين لماء التطهير بصورة مستمرة لتعويض الفاقد فى التفاعلات مع المادة العضوية، والمركبات الكيميائية، والكائنات الدقيقة، وأسطح منتجات الخضر والفاكهة. وتوجد عدة طرق للمحافظة على التركيز المناسب. فتتوفر أجهزة لقياس تركيز الكلورين آليًا وإضافة الكلورين للماء عند الحاجة لذلك. كما أن أجهزة أخرى تستعمل للمحافظة على الـ pH فى المدى المناسب. وفى كل الحالات تكون الإضافات حسب الحاجة وليس بجرعات منتظمة. ويمكن – كذلك – إجراء تلك العمليات بدقة يدويًا شريطة إجراء القياسات اللازمة مرة واحدة على الأقل كل ساعة.

وتجدر الإشارة إلى أن معدات قياس الكلورين فى حمامات السباحة تقتصر قياساتها على التركيزات التى تكون فى حدود ١–٥ أجزاء فى المليون، وإذا ما استعملت تلك المعدات فإنه يتعين تخفيف الماء المكلور – بالماء المقطر – ليصبح تركيز الكلورين فى حدود المجال الذى يمكن قياسه بها (Ritenour وآخرون ٢٠٠٢).

وتعتمد كثير من محطات تعبئة وتجهيز الخضر على ما يعرف بالـ Oxidation-Reduction Potential (اختصارًا: ORP) – الذى يقاس بالملى فولت – كوسيلة أساسية لقياس قدرة التطهير فى الماء المكلور، ومدى الحاجة إلى إضافات جديدة من الكلور. يعطى الـ ORP قراءة رقمية تسمح بمراقبة مستوى قدرة التطهير فى الماء المستعمل.

ويستدل من الدراسات أن قراءة للـ ORP قيمتها ٦٥٠–٧٠٠ ملي فولت تعني إمكان قتل البكتيريا المرضة للمنتجات. والبكتيريا المرضة للإنسان مثل الـ *E. coli*، والـ *Solmonella* في ثوانٍ قليلة (جدول ١–٧). وكذلك تُقتل الخميرة المتلفة للمنتجات، والفطريات الأكثر حساسيةً للكلور المنتجة للجراثيم في نفس مستوى الـ ORP ولكن في خلال دقائق قليلة. هذا .. إلاّ أن الفطريات المسببة للأعفان الأقل حساسية للكلور، وكذلك بعض مسببات الأمراض للإنسان مثل *Cryptosporidium* تعد شديدة التحمل للكلورين، وكذلك البرومين والأيودين وغيرهم من المؤكسدات الضعيفة. وإذا ما أثبت التحليل تواجد مثل هذه المسببات المرضة للإنسان فإنه يحسن معاملة الماء بالـ peroxyacetic acid أو بالأوزون. ويلزم في حالة استعمال الأوزون الجمع بين الـ ORP ودليل كميائي لمراقبة تركيز الأوزون (T. V. Suslow — ٢٠٠٧ — الإنترنت).

جدول (١–٧): المدة التي تكفي للقضاء على مختلف الأنواع البكتيرية المرضة للإنسان في الماء المكلور عند مستويات مختلفة من الـ **Oxidation Reduction Potential** (اختصارًا: **ORP**)

	المدة التي تلزم للقضاء على البكتيريا عند مستويات مختلفة من الـ ORP بالملي فولت		
النوع البكتيري	> ٤٨٥	٥٥٠–٦٢٠	< ٦٦٥
E. coli O157:H7	< ٣٠٠ ثانية	< ٦٠ ثانية	< ١٠ ثوان
Solmonella spp.	< ٣٠٠ ثانية	< ٣٠٠ ثانية	< ٢٠ ثانية
L. monocytogenes	< ٣٠٠ ثانية	< ٣٠٠ ثانية	< ٢٠ ثانية
بكتيريا الـ coliform المتحملة للحرارة	< ٤٨ ساعة	< ٤٨ ساعة	< ٣٠ ثانية

العوامل المؤثرة في نشاط الكلورين

يتأثر مدى نشاط الكلورين بالعوامل التالية:

١– الرقم الأيدروجيننى (الـ pH) للماء:

عند إضافة هيبوكلوريت الصوديوم للماء فإنه يكوّن أيدروكسيد الصوديوم (N_2OH)

وحامض الهيبوكلوريس hypochlorous acid (HOCl) وجميع هذه الصور للكلورين تنتج حامض هيبوكلوريس (الذى يعرف – كذلك – بالكلورين الميسر أو النشط)، وهو الذى يقتل الكائنات المرضة. وعندما يكون الـ pH مرتفعًا يتحلل حامض الهيبوكلوريس لتكوين أيون الهيبوكلوريس (OCl^-) الذى لا يعد فعالاً كمطهر. وتقيس وسائل تقدير الكلورين الحر كلا من حامض الهيبوكلورين وأيون الهيبوكلوريت، بما يعنى أنها لا تعطى مقياسًا للكلورين الميسر النشط فى قتل الكائنات المرضة. أما محاليل الكلورين التى يزيد الـ pH فيها عن ٨,٠ فإنها لا تكون فعالة نسبيًّا ضد مسببات الأمراض. وتحت pH ٦,٠ فإن الكلورين يتسبب فى تآكل الأجهزة بسرعة، وتفقد فاعليته بسرعة. هذا بينما يحافظ pH فى حدود ٧,٠ على نحو ٨٠٪ من الكلورين فى الصورة الميسرة (حامض هيبوكلوريس) مع تكوين القليل جدًّا من الغاز. ولذا .. فإنه لأجل التعرف على قدرة محلول الكلورين على التطهير يتعين قياس كلا من الـ pH والكلورين الحر.

ويجب تذكر أن إضافة أى من هيبوكلوريت الصوديوم أو هيبوكلوريت الكالسيوم للماء يرفع الـ pH، بينما إضافة غاز الكلور يؤدى إلى انخفاضه، ولذا .. يتعين تعديل pH محلول الكلورين بعد إضافة مصدر الكلور. ويستخدم – عادة – حامض الأيدروكلوريك أو حامض الستريك لخفض الـ pH. بينما يستعمل أيدروكسيد الصوديوم لرفعه.

٢– تركيز الكلورين:

على الرغم من أن تركيز لحامض الهيبوكلوريس لا يزيد عن ٤٠ جزءًا فى المليون يقتل مسببات الأمراض فى خلال دقيقة واحدة، فإنه تستعمل – عادة – وتركيزات أعلى تتراوح بين ١٠٠، و ١٥٠ جزءًا فى المليون لتعويض الفقد الذى يمكن أن يحدث فى الكلورين الميسر.

٣– مدة التعرض للكلورين:

يقتل الكلورين الميسر بتركيزات عالية مسببات الأمراض فى أقل من دقيقة، بينما يحتاج الأمر لمدة أطول من التعرض للكلورين عندما ينخفض تركيزه.

٤- كمية المادة العضوية فى الماء:

إن تواجد المواد العضوية فى الماء - كالبقايا النباتية - توقف فاعلية حامض الهيبوكلوريس، ويمكن أن تخفض بسرعة من الكلورين الميسر؛ ذلك لأن الكلورين الذى يتحد بالمادة العضوية لا يكون ميسرًا ولكنه يدخل ضمن الكمية المقيسة عند تقدير الكلورين.

٥- حرارة الماء:

يقتل حامض الهيبوكلوريس مسببات الأمراض بسرعة أكبر كلما ارتفعت حرارة الماء، ولكنه يفقد أيضًا بسرعة أكبر فى الحرارة العالية بسبب تفاعله مع المادة العضوية.

٦- أنواع المسببات المرضية والحالة التى توجد عليها:

يكون من السهل قتل الغزل الفطرى والجراثيم النباتية بالكلورين، إلاّ أن الجراثيم يكون من الصعب قتلها. كذلك فإن المسببات المرضية التى قد تتواجد داخل الأنسجة النباتية أو داخل الجروح تكون بمعزل عن الكلورين ولا تقتل (Ritenour وآخرون ٢٠٠٢).

توصيات طريقة استعمال الكلورين

يوصى عند استعمال الكلورين فى التطهير ملاحظة ومراعاة ما يلى:

١- لا يستعمل الكلورين إلا إذا كان الماء ضروريًا لعمليات تداول المنتج.

٢- مراعاة عدم زيادة تركيز الكلورين عما ينبغى لأن ذلك يضر بكل من المنتج والعاملين.

٣- يغير الماء المستعمل على فترات متقاربة كلما ازدادت فيه الشوائب من المادة العضوية. ويفضل غسيل المنتج أولاً بالماء غير المكلور إن كان مليئًا بالأتربة والبقايا العضوية قبل استعمال الماء المكلور.

٤- يجب تذكر أن المعاملة بالكلورين لا تفيد فى التخلص التام من كل المشاكل الميكروبية (عن Boyette وآخرين ١٩٩٣).

٥- المحافظة على تركيز للكلورين الحر يتراوح بين ١٠٠، و ١٥٠ جزءًا فى المليون.

٦- المحافظة على الـ pH بين ٦,٥، و ٧,٥.

٧- مراقبة تركيز الكلورين الحر و pH المحلول على فترات قصيرة، ويفضل أن يتم ذلك آليًا، ولكن مع ضرورة معايرة الأجهزة وصيانتها بصورة دائمة.

٨- تصريف المحلول من التانك فى نهاية كل يوم عمل وإعادة ملأه بماء نظيف.

٩- تستعمل كل المركبات الكيميائية تبعًا لتعليمات المنتج.

١٠- تستعمل مناخل فى التانكات للتخلص من البقايا النباتية الكبيرة (Ritenour وآخرون ٢٠٠٢).

مساوئ استعمال الكلورين فى التطهير

إن من أهم مساوئ استعمال غاز الكلورين فى التطهير أنه يتفاعل مع ما قد يتواجد فى الوسط من مواد عضوية ليكون trihalomethanes، وهى مركبات مسرطنة (عن Edmunds وآخرين ٢٠٠٨).

بدائل الكلورين مع الخضر المجهزة للمستهلك

إن المعاملة بالكلورين الحر تفيد كثيرًا فى بقاء منتجات الخضر المجهزة للمستهلك بأقل حمل ميكروبى ممكن، إلاّ أن تفاعل الكلورين مع المواد العضوية واحتمال إنتاج مواد غير مرغوب فيها قد يجعل من الضرورى البحث عن بدائل لمعاملة الكلورين. ومن بين البدائل التى ينظر فى أمر الاستفادة منها حاليًا: الأوزون O_3، والأشعة فوق البنفسجية-سى UV-C، والومضات الضوئية القوية intense light pulses، والتركيز العالى جدًا من الأكسجين والـ N_2O، والغازات النبيلة منفردة أو فى توافيق مختلفة (Artés وآخرون ٢٠٠٩).

التطهير بالأوزون

يعد الأوزون من المطهرات القوية. ولطالما استعمل فى تطهير ماء الشرب وحمامات

السباحة، والماء المتخلف عن الصناعة. وقد بدأ منتجى الخضر والفاكهة فى استعماله فى تانكات تفريغ حمولة المنتج (dump tanks) والتى يمكن أن تكون كفاءته فيها آلاف أضعاف كفاءة الكلورين. يعمل الأوزون على التخلص من جميع الكائنات الدقيقة سواء أكانت مسببات مرضية للإنسان أم للمنتج.

ويعد الأوزون مطهرًا مناسبًا بعد الحصاد. علمًا بأنه يُسمح به للمنتجات العضوية، وهو مركب مؤكسد قوى فعال ضد الميكروبات المقاومة للكلورين، وأسرع فاعلية من التركيزات المسموح بها من الكلورين. ولذا .. فإن المعاملة بالأوزون تعد مناسبة — خاصة — لمعاملات التبريد أو الغسيل التى لا تدوم لفترة طويلة. كذلك فإن تفاعلات الأكسدة التى يدخل فيها الأوزون ينتج عنها عددًا أقل من نواتج التفاعلات عما ينتج فى حالة الكلورة.

يجب أن يولَّد الأوزون فى موقع العمل وقت الاستعمال، مع توفير وسيلة لمراقبة تركيزه، علمًا بأنه لا يبقى ثابتًا فى الماء الصافى لأكثر من ٢٠ دقيقة (Suslow ٢٠٠٠).

التطهير بفوق أكسيد الأيدروجين

يمكن استخدام فوق أكسيد الأيدروجين hydrogen peroxide كمطهر، وذلك بتركيز لا يزيد عن ٠,٥٪ (Bachmann & Earles ٢٠٠٠).

ولقد أمكن خفض العدِّ الميكروبى فى الكرنب الطازج المجهز fresh-cut بمقدار ٢,٣ لوغاريتم، و ١,٧ لوغاريتم وحدة مكونة للمستعمرات (cfu) لكل جرام بالمعاملة بتركيز ٢ جزء فى المليون من ثانى أكسيد الكلورين الغازى، أو بتركيز ٨٠ جزءًا فى المليون من peroxyacetic acid على التوالى (Vandekinderen وآخرون ٢٠٠٧).

المطهرات المسموح باستعمالها مع منتجات الزراعات العضوية

من بين المنظفات ومواد التطهير المسموح بها فى معاملات بعد الحصاد للمنتجات العضوية ما يلى:

١- حامض الخليك:

يُسمح باستعمال حامض الخليك كمنظف أو مطهر، ويجب أن يكون الخل المستعمل من مصدر عضوى.

٢- الكحول الإثيلى:

يُسمح باستعمال الكحول الإثيلى كمعقم، ويجب أن يُحصل عليه من مصادر عضوية.

٣- كحول الأيزوبروبيل:

يُسمح باستعمال كحول الأيزوبروبيل isopropyl alcohol بصورة مفيدة فى بعض الظروف.

٤- مطهرات الأمونيوم:

من أبرز مطهرات الأمونيوم أملاح رباعى الأمونيوم quaternary ammonium salts، ويسمح باستعمالها فى الأسطح التى تلامس الأغذية وليس مع الأغذية ذاتها، ومع الأجهزة التى تُحدث بها المطهرات الأخرى تآكلاً شديدًا. ويجب أن يتبع التطهير بمركبات الأمونيوم الغسيل بالمنظفات ثم الشطف بالماء. ويجب ألا تُظهر عمليات المتابعة أى أثر للأمونيوم قبل بدء تداول المنتجات سابقة التجهيز.

٥- الهيبوكلوريت:

يسمح باستعمال هيبوكلوريت الصوديوم وهيبوكلوريت الكالسيوم وثانى أكسيد الكلورين فى تطهير المنتجات العضوية شريطة ألا يزيد تركيز الكلورين عن ٤-١٠ أجزاء فى المليون حسب الجهة المعتمدة.

٦- المنظفات:

يُسمح باستخدام المنظفات للأجهزة، ويدخل ضمنها – كذلك – الناشرات surfactants والمواد المبللة wetting agents.

٧- فوق أكسيد الأيدروجين:

يُسمح باستعمال فوق أكسيد الأيدروجين كمعقم للماء ومعقم للأسطح.

٨- الأوزون:

يعد الأوزون آمن الاستخدام للتعقيم السطحى للمنتجات والأجهزة.

٩- حامض بيروكسى الخليك:

يعد حامض بيروكسى الخليك peroxyacetic acid معقمًا للماء ومعقمًا سطحيًا للخضر والفاكهة (Suslow ٢٠٠٠).

ونلقى - فيما يلى - مزيدًا من الضوء على استخدام الكلورين مع المنتجات العضوية

إن كل صور الكلورين (مثلاً .. هيبوكلوريت الصوديوم، وهيبوكلوريت الكالسيوم المحبب، وثانى أكسيد الكلورين) هى مواد يفيد استعمالها مع منتجات الزراعة العضوية، ويجب أن يزيد تركيز الكلورين المستخدم عما فى ماء الشرب العادى الآمن، وهو ٤ أجزاء فى المليون من Cl_2 للماء الخارج من عملية الغسيل. ولكن لأسباب تتعلق بالصحة العامة فإن بعض الجهات التى تضع قوانين الإنتاج العضوى سمحت بزيادة التركيز إلى ١٠ أجزاء فى المليون من الكلورين للماء الخارج من عملية التنظيف.

ولأجل أمثل نشاط مضاد للميكروبات مع أقل تركيز من الهيبوكلوريت، فإن pH الماء المستعمل يجب أن يتراوح بين ٦,٥، و ٧,٥. ففى هذا المدى - يتواجد معظم الكلورين على صورة حامض هيبوكلوريس hypochlorous acid (أى HOCl) الذى يعطى أفضل النتائج بالنسبة لقتل الميكروبات فى الوقت الذى يحد فيه من انطلاق غاز الكلورين الخطر والمسبب للالتهابات. ويزيد مستوى غاز الكلورين عن الحدود الآمنة إذا كان المحلول شديد الحامضية.

ويجب أن يستخدم فى تعديل pH الماء مواد طبيعية مثل حامض الستريك، وبيكربونات الصوديوم، والخل.

هذا .. وللحصول على تركيز قدره ١٠٠ جزء فى المليون من الكلورين يضاف ١٦٠ مل (سم^3) من الكلوراكس التجارى لكل ١٠٠ لتر ماء.

وإذا ما استعمل هيبوكلوريت الكالسيوم فإن ذلك يفيد فى تجنب أضرار الصوديوم للمحاصيل الحساسة له (مثل بعض أصناف التفاح)، كما تتوفر أدلة محدودة على أن الطماطم والفلفل الحلو يستفيدان من امتصاصهما للكالسيوم (Suslow ٢٠٠٠).

التطهير بالتعريض للأشعة

يعرف التطهير بالتعريض للأشعة غير الحرارية باسم البسترة الباردة cold pasturization، وهى وسيلة غير عملية وغير مرغوب فيها لعدة أسباب، منها: التكلفة العالية للمعاملة، وعدم توفر الإمكانيات لإجرائها، والأضرار التى تحدثها فى عديد من المنتجات الحساسة لها (فقدان الصلابة)، ورفض المستهلكين لها على الرغم من عدم وجود أى أضرار لها على صحة الإنسان.

ولقد حظيت معاملة الإشعاع بأشعة جاما من مصدر مشع مثل كوبالت ٦٠ باهتمام واسع، ولكن تلك المعاملة — التى قد تؤدى إلى التطهير السطحى للخضر والفاكهة — ليست حلاً لكل المشاكل الميكروبية. نظرًا لأن بعض الميكروبات لا تؤثر فيها حتى أكبر جرعة مسموح بها، وهى كيلوجراى kGy واحد.

تُقتل الميكروبات بالإشعاع حينما تتفاعل الطاقة الإشعاعية مع الماء المتواجد فى الخلايا الميكروبية، لتنتج مركبات ذات قدرة كبيرة على التفاعل تضر بالمادة الوراثية (الدنا) بالخلية. وتقدر قدرة الإشعاع على قتل ميكروب معين بالقيمة D (D-value)، وهى كمية الطاقة التى تلزم لقتل ٩٠٪ من خلايا الميكروب. وبذا .. فإن جرعة مقدارها 2D تقتل ٩٩٪ من خلايا الميكروب ... وهكذا. وطبيعى أن قيمة D تختلف باختلاف الميكروبات.

تتميز بعض الحشرات والمتطفلات (مثل *Cyclospora*، و *Cryptosporidium*) باحتواء خلاياها على كميات كبيرة من الماء والدنا؛ ولذا .. فإنها تُقتل بسهولة بالإشعاع، حيث تبلغ قيمة D بالنسبة لها حوالى ٠.١ kGy. ويعنى ذلك أن جرعة مقدارها ٠,٥ kGy تعطى خفضًا قدره ٥ لو. وفى المقابل .. فإن البكتيريا (مثل الـ *E. coli*، والـ *Salmonella*، والـ *Listeria* وغيرها) يقل محتواها من الدنا وتعد أكثر مقاومة للإشعاع، وتتراوح

قيمة D بالنسبة لها بين ٠,٣ و ٠,٧ حسب البكتيريا. ولذا .. فإنها تتطلب جرعة مقدارها ١,٥ إلى ٣,٥ kGy للوصول إلى خفض قدره ٥ لو فى أعدادها، علمًا بأن الحد الأقصى المسموح به لجرعات الإشعاع فى الخضر والفاكهة هو كيلوجراى واحد. ويعنى ذلك أنه لا يُسمح باستخدام جرعات إشعاع للخضر والفاكهة الطازجة تكون فعالة فى التخلص من مسببات الأمراض. هذا .. فى الوقت الذى يُسمح فيه بجرعات إشعاع تصل إلى ٤,٥ كيلوجراى مع اللحوم الحمراء.

وتُعد البكتيريا المكونة للجراثيم (مثل *Clostridium*، و *Bacillus* وغيرهما) أكثر مقاومة للإشعاع، كما أن الفيروسات (مثل Hepatits، و Norwalk) يستحيل التخلص منها حتى ولو بالجرعات المسموح بها مع اللحوم.

وإذا أضفنا إلى ما تقدم بيانه احتمال تلوث منتجات الخضر والفاكهة بمسببات أمراض الإنسان بعد تعريضها للإشعاع. فإن تلك المعاملة — بالحد الأقصى للجرعة المسموح بها — لا يمكن أن تكون بديلاً للإجراءات الصحية المناسبة لمنع التلوث الميكروبى ابتداءً (Gorny & Zagory ٢٠٠٠).

الهاسب (تحليل المخاطر)

إن الهاسب — أو تحليل المخاطر — HACCP (أو Hazard Analysis Critical Control Points) هو نظام للأمان الغذائى طوّر بواسطة شركة Pillsbury فى ستينيات القرن الماضى لتقليل المخاطر المرتبطة بالغذاء الذى يتناوله رواد الفضاء فى السفن الفضائية إلى الصفر (zero tolerance). وهو نظام يستفاد منه فى منع التلوث الفيزيائى والكيميائى والميكروبى للأغذية.

ويعد الهاسب المرحلة النهائية لبرنامج أمان غذائى متكامل يتضمن الـ GAP، والـ GMP. والـ SSOPs (وهو الـ Sanitation Standard Operating Procedures)، والأخير برنامج خاص بالتفاصيل الدقيقة لعمليات التطهير ضمن إجراءات الصحة العامة. ولا يمكن أن يكون الهاسب فعالاً إلاّ إذا كانت تلك البرامج الثلاثة مطبقة تمامًا.