

1-Methylcyclopropen (1-MCP): Einsatzmöglichkeiten in der Obstlagerung?

Äpfel sollen im Lager nur ein Minimum an Fruchtfleischfestigkeit verlieren. Um dieses Ziel zu erreichen, werden seit etwa fünf Jahren Versuche mit dem Ethylenhemmstoff 1-MCP (1-Methylcyclopropen) durchgeführt. Äpfel, die mit 1-MCP behandelt wurden, zeigen eine bessere Erhaltung der Fruchtfleischfestigkeit im Kühllager und im CA-Lager. Festigkeit und Saftigkeit der Äpfel blieben insbesondere nach der Auslagerung sehr gut erhalten.

JOSEF STREIF, KOMPETENZZENTRUM FÜR OBSTBAU,
BAVENDORF, RAVENSBURG (D)
ERNST HÖHN UND FRANZ GASSER,
EIDGENÖSSISCHE FORSCHUNGSANSTALT WÄDENSWIL

In wissenschaftlichen Untersuchungen zur Reifung und Alterung von Obst, Gemüse und Schnittblumen hat in den letzten fünf Jahren zunehmend eine Substanz von sich Reden gemacht, die möglicherweise zukünftig auch in der Obstlagerung eine Rolle spielen könnte. Es handelt sich dabei um 1-Methylcyclopropen (1-MCP), ein Gas, das die Fruchtreife beeinflussen kann. In der Literatur wurden in den letzten Jahren etwa hundert Arbeiten veröffentlicht, welche über die Wirkung von 1-MCP auf das Reifeverhalten von Äpfeln, Birnen, Aprikosen, Zwetschgen, Kirschen, Beeren und vieler anderer Früchte und Gemüse berichten.

Dieser Artikel möchte Grundlegendes zur Wirkung von 1-MCP vermitteln. Im Weiteren werden Ergebnisse von Versuchen, die in der Lagersaison 2001/2002 am Kompetenzzentrum für Obstbau in Bavendorf mit 1-MCP-behandelten Äpfeln und Birnen durchgeführt wurden, vorgestellt und die Möglichkeiten und Grenzen dieser Substanz für einen Einsatz bei der Obstlagerung aufgezeigt.

Fruchtreifung und Ethylen

Die Reifung von Früchten ist, wie auch andere physiologische Entwicklungsprozesse im Pflanzenreich, ein durch Phytohormone gesteuerter Prozess. Verantwortlich dafür ist vor allem das Phytohormon Ethylen, oft Reifehormon genannt, das von den Früchten vor Reifebeginn selbst gebildet oder auch von aussen appliziert wird, wie zum Beispiel bei der Bananenreifung. Dadurch werden eine Reihe von enzymatischen Stoffwechselfprozessen in Gang gesetzt, die mit der Fruchtreife zusammenhängen. Dazu gehören zum Beispiel das Weichwerden, die Farbänderungen, der Stärkeabbau und die Aromastoffbildung. Zur Auslösung der reifestimulierenden Wirkung muss sich Ethylen mit so genannten Rezeptor-Proteinen verbinden, die an den Membranen der Zellen lokalisiert sind. Erst dann kann Ethylen seine Signalwirkung zur Neusynthese oder Aktivierung von Enzymen weitergeben.

Alle Massnahmen zur Frischhaltung von Obst haben zum Ziel, den Reifeprozess von Früchten möglichst wirksam zu verlangsamen. Bei Kernobst lässt sich dies mit der Kühllagerung und vor allem durch die CA- und insbesondere ULO-Lagerung erreichen. Letztlich bewirken tiefe Temperaturen (0 bis 3 °C), stark verringerte Sauerstoff- (1 bis 2% O₂) und erhöhte Kohlendioxid-Konzentrationen (1 bis 3% CO₂) eine mehr oder weniger starke Hemmung der Bildung und Wirkung von Ethylen. Eine völlige Ausschaltung von Ethylen war jedoch bisher mit technischen Hilfsmitteln, wie zum Beispiel durch den Einsatz von Ethylenabsorbentien nicht möglich. Seit längerer Zeit sind chemische Substanzen bekannt, welche die Ethylenbildung oder -wirkung zumindest vorübergehend verhindern können. Erst mit der Entwicklung von 1-MCP wurde eine Substanz entdeckt, die die Reifung und Alterung bei einigen Obst- und Gemüsearten langfristig hemmen kann.

Wirkungsweise von 1-MCP

Wie bereits dargestellt wurde, ist die Übermittlung von reifestimulierenden Signalen durch Ethylen erst nach einer Bindung mit Rezeptor-Proteinen möglich. Diese Bindungsstellen können jedoch von 1-MCP sehr leicht besetzt und blockiert werden, sodass sie Ethylen nicht mehr erkennen können. Das hat zur Folge, dass die Bildung von pflanzeneigenem Ethylen gehemmt ist und externes, das heisst in der Umgebungsluft vorhandenes Ethylen nicht wirken kann. Unter Lagerbedingungen, bei denen der Stoffwechsel der Früchte sowieso schon vermindert ist, kann diese Blockierung der Ethylenwirkung über Monate anhalten. Bei höheren Umgebungstemperaturen wird Ethylen bei vielen Früchten jedoch nach 10 bis 14 Tagen wieder wirksam. Dies erfolgt dadurch, dass neue Rezeptoren gebildet werden oder die 1-MCP Rezeptorkomplexe aufgelöst werden. Möglicherweise findet auch eine Änderung der Rezeptorkomplexe statt.

Chemisch gesehen ist 1-Methylcyclopropen eine synthetisch hergestellte, gasförmige Substanz mit der Summenformel C₄H₆, die eine Doppelbindung aufweist. Durch die Doppelbindung besteht eine gewisse Ähnlichkeit zum Ethylenmolekül. Das 1-MCP-Gas kann an Dextrinpulver, eine stärkeartigen Substanz,

gebunden werden. In Ländern, in denen die Anwendung zugelassen ist, wird es in dieser Form unter den Handelsnamen «SmartFresh» für Früchte und «Ethyl-Bloc» für Blumen vertrieben. Die Anwendung ist sehr einfach; durch Wasserzugabe zum 1-MCP-Dextrinpulver wird 1-MCP als Gas freigesetzt.

Toxizität und Zulassungssituation von 1-MCP

1-MCP wurde von der amerikanischen Umwelt-schutzbehörde EPA (Environmental Protection Agency) als ein «Biopestizid» eingestuft und zwar, weil es eine ähnliche Wirkungsweise wie ein Naturprodukt aufweist, ungefährlich ist und in geringster Dosis wirkt. Es hat eine sehr niedrige akute Toxizität, ist nicht mutagen, nicht Krebs erregend und nicht schädlich für die Fortpflanzung. Ausserdem hat es eine sehr niedrige Anwendungsrate, bedingt durch die sehr niedrige notwendige Mittelkonzentration und nur einmal notwendige Anwendung. Dadurch bleiben die Rückstände in behandelten Früchten extrem niedrig (unter 0,01ppm). Auch hat 1-MCP keinen negativen Einfluss auf Erd- oder Wasserorganismen und auf die Ozonschicht. Insgesamt wird das Mittel aufgrund seiner Umweltverträglichkeit und Nichttoxizität als sehr günstig beurteilt.

In Chile, Argentinien und Neuseeland ist 1-MCP bereits für die Anwendung beim Apfel zugelassen. Für die USA wird die Registrierung bis zur diesjährigen Apfelernte erwartet und auch für Israel und Südafrika soll sie noch in diesem Jahr erfolgen. In Europa wurde der Antrag für eine Registrierung bereits Ende Februar 2002 eingereicht. Hier soll eine Zulassung nach den Richtlinien eines Wachstumsregulators erfolgen. In England läuft ebenfalls bereits ein Zulassungsantrag, wobei England als Berichterstatter für den EU-Antrag fungieren wird. In Deutschland möchte man vor einem weiteren Vorgehen zuerst die Entscheidung der EU abwarten. Ein Antrag auf Zulassung von 1-MCP in Deutschland wird daher frühestens Ende 2003 denkbar und eine Zulassung nicht vor 2005. In der Schweiz wurde noch kein Antrag für eine Zulassung gestellt.

Versuche mit 1-MCP bei Äpfeln und Birnen in Bavendorf

Am Kompetenzzentrum für Obstbau in Bavendorf erfolgten 2001/2002 Lagerungsversuche mit 1-MCP behandelten Äpfeln und Birnen. Neben den Untersuchungen zur Beeinflussung der Fruchtqualität wie Fruchtfleischfestigkeit, Farbe, Zucker- und Säuregehalt interessierte auch die Auswirkungen von 1-MCP auf die Aromastoffbildung und auf einige physiologische Vorgänge, wie die Atmung, die Ethylenbildung und den Energiestoffwechsel. Die Versuche erfolgten mit den Apfelsorten «Elstar», «Rubinette», «Jonagold» und «Braeburn» sowie der Birnensorte «Conférence». Die Früchte wurden zum optimalen Termin für Langzeitlagerung geerntet, sofort auf etwa 3 bis 5 °C im Kühllager gekühlt und am folgenden Tag mit 1-MCP behandelt. Dazu wurden die Früchte in einem gas-

dichten Lagerbehälter im Kühllager eingeschlossen und die entsprechende Menge an 1-MCP dazugegeben. Das Gas liess man 20 Stunden einwirken. Die 1-MCP-Konzentrationen betragen bei allen Apfelsorten 625 ppb und bei Conférencebirnen 312 ppb. Anschliessend an die Behandlung wurden die Äpfel bei 1 bis 2 °C im Kühllager oder im CA-Lager bei 1 bis 2 °C, 3% CO₂ und 1% O₂ für fünf Monate gelagert. Die Conférencebirnen wurden bei -1°C im Kühllager oder im CA-Lager bei -1°C, 5% CO₂ und 2% O₂ gelagert.

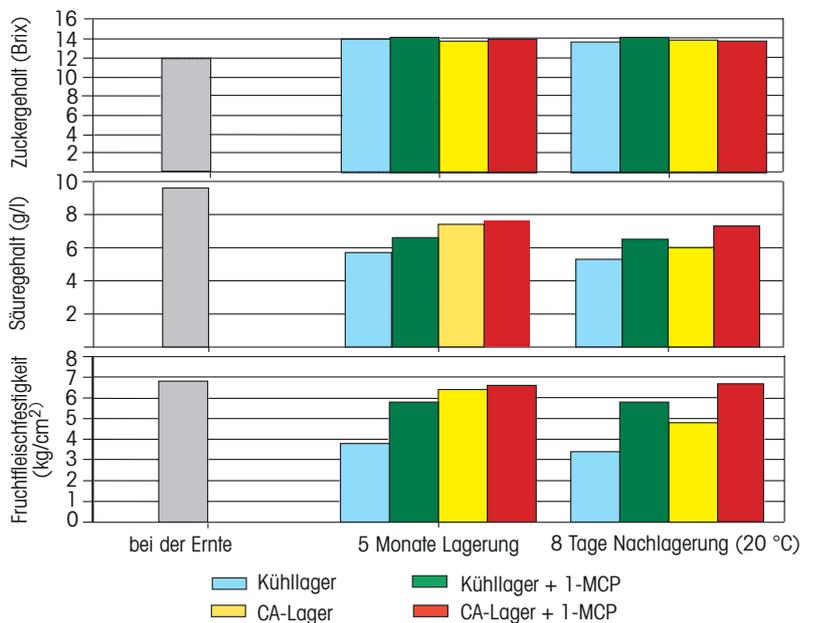
Lagerergebnisse

Von den untersuchten Qualitätsmerkmalen interessierte das Verhalten der Fruchtfleischfestigkeit besonders, zumal mit den Sorten «Elstar» und «Rubinette» zwei Apfelsorten untersucht wurden, bei denen der Festigkeits- und Säureabbau meist recht schnell voran schreitet. In den Abbildungen 1 und 2 sind die Zucker- und Säuregehalte sowie die Fruchtfleischfestigkeitswerte dieser beiden Sorten bei Lagerbeginn, unmittelbar am Ende der 5-monatigen Lagerung und nach einer daran anschliessenden Nachlagerperiode von acht Tagen bei zirka 20 °C dargestellt.

Die Fruchtqualitätsmerkmale Zucker- und Säuregehalt wurden durch die 1-MCP-Behandlung je nach Art der Lagerung unterschiedlich beeinflusst. Nahezu unverändert von den verschiedenen Behandlungen blieb der Zuckergehalt der Früchte, wie dies für diesen Inhaltsstoff bei Lagerungsversuchen oftmals festgestellt werden kann (Abb. 1 und 2).

Dagegen zeigte sich bei der Säure unmittelbar nach Lagerende in den Früchten im Kühllager ein deutlich höherer Gehalt zugunsten der 1-MCP-Früchte. Beim CA-gelagerten Obst traten diese Unterschiede erst verstärkt nach acht Tagen Nachlagerung bei 20 °C in Erscheinung (Abb. 1 und 2). Auch im Verlauf der Lagerung lag der Säuregehalt der 1-MCP-behandelten Kühllagerfrüchte nur wenig unter den CA-

Abb. 1: Wirkung von MCP auf den Zucker- und Säuregehalt sowie die Fruchtfleischfestigkeit von «Elstar» Äpfeln nach fünf Monaten Kühl- bzw. CA-Lagerung und acht Tagen Nachlagerung.



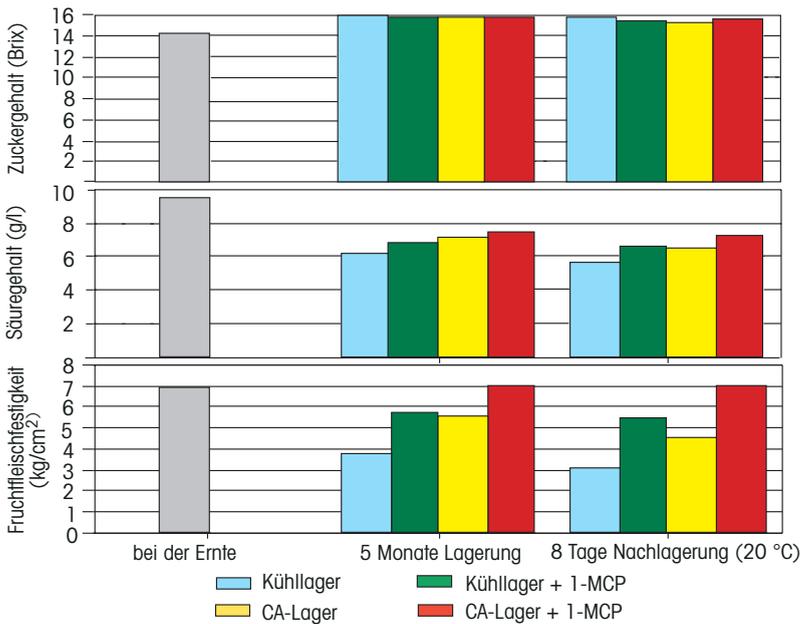


Abb. 2: Wirkung von MCP auf den Zucker- und Säuregehalt sowie die Fruchtfestigkeit von «Rubinette» Äpfeln nach fünf Monaten Kühl- bzw. CA-Lagerung und acht Tagen Nachlagerung.

Früchten. Dies konnte auch bei den Sorten «Jonagold» und «Conférence» festgestellt werden.

Beim Abbau der Fruchtfestigkeit verhielten sich «Elstar» und «Rubinette» etwa gleich (Abb. 1 und 2). Sofort bei Lagerende war die Kühlager-Kontrolle gegenüber den 1-MCP-behandelten Früchten im Kühlager deutlich abgefallen. Diese und alle anderen Behandlungen lagen auf einem deutlich höheren Festigkeitsniveau, wobei nahezu kein Unterschied zwischen den in Luft gelagerten 1-MCP-Früchten und den unbehandelten CA-Früchten bestand. Die höchste Festigkeit zeigten die CA + 1-MCP behandelten Äpfel. Der grösste Unterschied zeigte sich aber erst am Ende einer Nachlagerungsperiode von acht Tagen bei 20 °C. In dieser Zeit verloren vor allem die unbehandelten CA-Früchte an Festigkeit, während die mit 1-MCP behandelten Früchte nahezu unverändert blieben. Auch wenn man den Festigkeitsabbau von «Jonagold» Äpfeln und «Conférence» Birnen im Verlauf der fünfmonatigen Lagerung ver-

Abb. 3: 1-MCP Behandlung kann in empfindlichen Apfelsorten Kernhausbräune fördern. (Foto: Hans Schärer, FAW)



folgte, so wurde ein ähnliches Verhalten deutlich (Daten nicht gezeigt). Die 1-MCP-behandelten Früchte aus dem Kühlager verhielten sich sehr ähnlich wie die CA-gelagerten. Dagegen verloren die Früchte im Kühlager ohne 1-MCP-Behandlung schon bald ihre Festigkeit.

1-MCP scheint also vor allem das Nachreifen der Früchte im Kühlager und nach der Auslagerung zu verlangsamen, was sich besonders auf eine bessere Qualitätserhaltung während der Vermarktungsphase («shelf life») bemerkbar macht. Dieser Einfluss auf die Nachreife konnte auch recht gut am Gelbwerden der «Jonagold» Äpfel im Nachlager während acht Tagen bei 20 °C erkannt werden. Während sich die Äpfel unmittelbar am Ende der fünfmonatigen CA-Lagerung farblich kaum unterschieden, waren zwölf Tage später die nur CA-gelagerten Äpfel deutlich gelber geworden und nachgereift, während die CA + 1-MCP Äpfel noch ziemlich grün geblieben waren. Die anderen Sorten verhielten sich entsprechend ähnlich, besonders deutlich waren die Farbunterschiede zwischen den 1-MCP-behandelten und unbehandelten «Conférence» Birnen im Kühlager. Hervorzuheben bleibt außerdem, dass auch eine schwierig lagerbare Sorte wie «Rubinette», die auch unter CA-Lagerbedingungen oftmals sehr schnell nachreift und entsprechend weich und trocken im Fruchtfleisch wird, durch 1-MCP in Kombination mit CA-Lagerung über fünf Monate bei sehr guter Festigkeit und Saftigkeit gelagert werden konnte.

Lagerkrankheiten

Während insgesamt durch die Verzögerung der Fruchtreife nach einer 1-MCP-Behandlung die Widerstandsfähigkeit der Äpfel gegenüber parasitären Fruchtfäulen länger andauerte und somit weniger Fruchtfäulen auftraten, konnten bei «Braeburn» Äpfeln und «Conférence» Birnen eine Zunahme von CA-spezifischen inneren Fruchtfleischverbräunungen festgestellt werden. Im Lagerversuch wurde die Zunahme an physiologischen Verbräunungen und Kavernenbildung bei 1-MCP-behandelten Früchten jedoch nur dann beobachtet, wenn die Früchte unter zu hohen CO₂-Bedingungen gelagert wurden, die solche Schäden provozieren können. Nach 1-MCP-Behandlung von empfindlichen Sorten ist mit einer gewissen fördernden Wirkung hinsichtlich der inneren Fleischbräune auszugehen. Auch in anderen Untersuchungen in der Steiermark und im Südtirol wurde von einer Zunahme von Kernhausbräune nach 1-MCP-Behandlung von «Braeburn» Äpfeln berichtet (Abb. 3). Positiv wirkte sich die 1-MCP-Behandlung auf die Hautbräune aus. Gemäss Literaturangaben soll 1-MCP die gleiche reduzierende Wirkung gegen Hautbräune wie Diphenylamin (DPA), einem Antioxidans, aufweisen.

Aromabildung

Mit der Fruchtreifung beginnt beim Apfel und bei der Birne normalerweise auch die Bildung von sortentypischen Aromastoffen. Wird der Reifefortgang teilweise gehemmt, wie dies bei der CA-Lagerung der Fall

ist, oder ganz blockiert, wie dies durch 1-MCP erfolgt, können auch nur sehr wenige Aromastoffe gebildet werden. Die Ergebnisse der Aromastoffanalysen zeigten dies sehr deutlich. Der stark verminderte Stoffwechsel führte zu einem Mangel an Aromavorstufen bei gleichzeitig unzureichender Energieversorgung der Zellen. Mit dem Einsetzen der Ethylenbildung bei «Jonagold» ab fünf Monaten Lagerung begann auch die Aromabildung anzusteigen. Dass bei längerer Lagerung und weiter fortgesetzter Reifung ein Anstieg auf das Niveau der Kontrollfrüchte möglich wird, konnte bei «Jonagold» durch zusätzliche Messungen über fünf Monate hinaus bestätigt werden.

Ethylenbildung und Atmung

Zu Beginn und im Verlauf der Lagerung wurde sowohl die Ethylenbildung als auch die Atmung bei «Jonagold» Äpfeln gemessen. Die Wirkung von 1-MCP konnte bereits unmittelbar nach der Behandlung im Verlauf von acht Tagen bei 20 °C an einem deutlichen Atmungsrückgang und einer völligen Hemmung der Ethylenbildung erkannt werden. Dagegen zeigten die unbehandelten Kontrollfrüchte den für Äpfel typischen klimakterischen Atmungs- und Ethylen-Anstieg. Auch während der folgenden fünfmonatigen Lagerung waren die Unterschiede in der Atmung und Ethylenbildung zwischen den 1-MCP-behandelten und unbehandelten «Jonagold» Äpfeln erheblich, wobei die 1-MCP-Früchte etwa nur halb so viel atmeten wie die Kontrollfrüchte beziehungsweise überhaupt kein Ethylen bildeten. Bei den 1-MCP-Äpfeln im Kühllager konnte jedoch nach fünf Monaten Lagerung eine deutlich nachlassende Reifeblockierung festgestellt werden, was auch an der einsetzenden Ethylenbildung erkennbar wurde.

Schlussfolgerungen

Die Behandlung von Äpfeln und Birnen mit dem Ethylen-Hemmstoff 1-MCP bei der Langzeitlagerung ver-

hinderte Qualitätsverluste während und nach der Lagerung. Das Nachlagerverhalten war entschieden besser. Besonders der Festigkeits- und Säureabbau sowie das Gelbwerden waren verlangsamt. Schwierig lagerbare Sorten wie «Rubinette» und «Elstar» konnten erfolgreich gelagert werden. Allerdings verhinderte 1-MCP die Aromabildung im Anschluss an die Lagerung fast völlig. Dies ist jedoch abhängig von der Reife und den Lagerbedingungen. Nach fünf Monaten Kühllagerung begannen die 1-MCP-Früchte mit der Aromabildung. Parasitäre Fäulen waren durch die Reifeverzögerung reduziert. Positiv wirkt sich die 1-MCP Behandlung auch auf die Verminderung von Hautbräune aus. Hingegen zeigten 1-MCP-behandelte und in erhöhtem CO₂ gelagerte «Conférence» Birnen und «Braeburn» Äpfel starken Befall mit innerer Fleischbräune und Kernhausbräune. 1-MCP verminderte die Atmung und die Ethylenbildung sehr stark, sowohl bei der Kühl- als auch bei der CA-Lagerung.

Insgesamt scheint 1-MCP neben einigen Einschränkungen eine ganze Anzahl von Vorteilen für die Lagerpraxis zu bieten. Besonders zu nennen wäre eine grössere Flexibilität beim Erntetermin, bei der Einlagerung, beim Öffnen und beim Räumen des Lagers, bei der Lagerung von Problemsorten und besonders der besseren Qualitätserhaltung bei der Vermarktung, dem Transport und im Verkaufsregal des Detailhandels. Für eine abschliessende Beurteilung dieses Mittels müssen jedoch noch weitere Versuche mit unterschiedlichen Sorten, Reifestufen, Mittelkonzentrationen und CA-Bedingungen erfolgen. Denn trotz Reifehemmung durch 1-MCP sollte gewährleistet sein, dass Äpfel und Birnen beim Konsumenten nachreifen und ihre charakteristischen Geschmackseigenschaften entwickeln können. Sollte sich die Zulassungssituation im europäischen Raum soweit klären, dass für 1-MCP eine Zulassung ausgesprochen wird, so wäre es im Sinne eines fairen Wettbewerbs zwischen den Erzeugerländern unbedingt notwendig, dass die Zulassung allgemein und etwa zeitgleich in allen europäischen Ländern erfolgen würde.

RÉSUMÉ

1-méthylcyclopropène: applications possibles dans l'entreposage des fruits?

Lors de l'entreposage des pommes, on cherche à réduire au minimum la perte de fermeté de la chair. Pour atteindre cet objectif, des essais sont conduits dans le monde entier depuis environ cinq ans avec le 1-MCP (1-méthylcyclopropène), un inhibiteur de l'éthylène. Les pommes qui ont été traitées au 1-MCP conservent une chair plus ferme à l'entreposage en milieu réfrigéré et en atmosphère contrôlée. C'est surtout après leur sortie de l'entrepôt que les pommes sont restées très fermes et juteuses. Des variétés de garde difficile comme "Rubinette" et "Elstar" ont pu être entreposées avec succès. Toutefois, le 1-MCP a pratiquement bloqué tout développement d'arôme après l'entreposage. Les pourritures parasitaires diminuent du fait du retardement de la maturation. Le traitement au 1-MCP permet aussi de réduire le problème de l'échaudure. Par contre, on a enregistré une forte proportion de fruits atteints de brunissement interne et de dégradation du trognon chez les poires "Conférence" et les pommes "Braeburn" traitées au 1-MCP et entreposées dans une concentration élevée de CO₂. A quelques réserves près, le 1-MCP semble apporter bon nombre d'améliorations dans la pratique de l'entreposage. Mais avant de pouvoir juger définitivement des avantages et des inconvénients de ce produit, d'autres essais devront être réalisés avec des variétés, des stades de maturation, des dosages du produit et des conditions AC variables. Car même si l'effet inhibiteur de la maturation par le 1-MCP est recherché, les pommes et les poires devraient quand même pouvoir poursuivre leur maturation une fois parvenus chez le consommateur et déployer leurs qualités gustatives caractéristiques. En Allemagne, la demande d'admission ne se fera en tout cas pas avant fin 2003 et l'admission viendra au plus tôt en 2005. En Suisse, aucune demande d'admission n'a encore été introduite.