

Nya material för etenabsorption i fruktlager

MARIE E. OLSSON OCH KARL-ERIK GUSTAVSSON,
INSTITUTIONEN FÖR VÄXTFÖRÄDLING, BOX 190, SLU ALNARP, 234 22 LOMMA.

Sammanfattning:

Nya lagringstekniker har medfört ökade möjligheter att lagra äpplen och andra ätliga trädgårdsprodukter under en längre tid, men fortfarande medför kvalitetsförsämringar under lagring att frukt blir industrifrukt eller måste kasseras. Ett av problemen är ökande mjölighet och minskande fasthet hos frukt under lagringen, som beror på mognadsprocesser. Eten, ett växthormon som avges naturligt av frukten under mognad, påskyndar dessa processer. Med ett effektivare filter som avlägsnar etengasen i lagringsutrymmet skulle hållbarheten kunna öka.

I detta projekt undersöktes ett nytt filtermaterial, areogel, beträffande effektivitet att absorbera eten, och även ett filter med aktivt kol testades. Resultaten visade att areogel hade en god förmåga att absorbera eten, och hade en högre effektivitet än filtret aktivt kol som testades som jämförelse. Resultaten i dessa försök var positiva, men det återstår ännu ett fortsatt utvecklingsarbete innan de testade filtren är anpassade till kommersiell lagring av frukt.

Lagring av frukt i Sverige

Produktionen av äpple i Sverige har ökat under en rad år, och var den näst högsta någonsin under 2020 med drygt 29 000 ton (Jordbruksverket, 2022). En effektiv lagring av frukt är en avgörande förutsättning för att kunna ha en lönsam produktion av frukt i Sverige. Succesivt har metoderna för lagring förbättrats. Idag lagras en stor del av

svenskproducerade äpplen i ULO-lager (ultralow oxygen; syrehalten i laget sänks till låga nivåer), vilket både minskar respirationen och etenpåverkan, och därmed ökar lagringstiden (Mditshwa et al., 2018). Under senare år har lagringstekniken förbättrats ytterligare genom införande av DCA (dynamic controlled atmosphere), vilket minimerar risken för att alltför låga syrenivåer resulterar i oönskad respons hos frukten, som anaerob respiration, vilket kan ge lagringsskador (Mditshwa et al., 2018). Idag finns fyra olika tekniker framtagna för att övervaka tillståndet hos frukten under DCA: respons hos frukten relaterat till anaerob metabolism, som produktion av etanol (DCA-Eth), att kontrollera klorofyllfluorencens (DCA-CF), att bestämma den respiratoriska kvoten (DCA-RQ) eller att kontrollera fruktens respons på låg syrehalt baserat på koldioxidproduktion (DCA-CD) (Thewes et al., 2021).

Trots de nya förbättrade teknikerna så är problem med lagringsförluster relativt stora, huvudsakligen beroende på lagringssjukdomar orsakade av växtpatogener (som visar sig som t.ex. mögel) eller fysiologiska sjukdomar (t.ex. mjukskalbränna), samt förändringar i fasthet hos frukten som resulterar i mjölig textur (Kader et al., 1989). När frukten genom mognadsprocesser får en mjukare, mjölig textur så betraktas detta som ett kvalitetsfel, och frukten kan eventuellt säljas till ett reducerat pris, som industrifrukt, eller måste kastas, med ekonomiska förluster som resultat.



Figur 1. Trots nya lagringstekniker, som DCA (dynamic controlled atmosphere), så sker kvalitetsförsämring av äpplen under lagring genom att mognadsprocesser fortskrider och fastheten minskar så att äpplen blir för mjuka. Påverkan av växthormonet eten påverkar mognadsprocesserna, och effektivare etenfilter där äpplen förvaras efter skörd, skulle kunna förlänga hållbarheten.

Äpple tillhör gruppen klimakteriska frukter, dvs. de har en topp i respirationshastigheten samt i produktionen av växthormonet eten under mognad, och de kan efter mogna efter skörd. Eten, som naturligt utsöndras av äpple, bidrar till att mognadsprocesserna i frukten går snabbare. Eten är ett gasformigt ämne som produceras av frukten, och som kommer att ackumuleras i lagringsutrymmet om det inte på

något sätt avlägsnas. Det kan även finnas andra, externa källor till eten, som t.ex. avgaser från förbränningsmotorer i närheten där frukt förvaras (Keller et al., 2013). När eten påverkar fruktens celler och vävnader så kommer mognadsprocesserna att accelerera, och fruktens möjliga lagringstid kommer därmed att förkortas (Botton et al., 2019). Produktion av eten hos klimakteriska frukter benämns som autokatalytisk, dvs. en inledande koncentration av eten leder till en ökad produktion av eten. Detta innebär att när etenproduktionen startar, så kommer frukten av sig självt öka sin fortsatta produktion av eten.

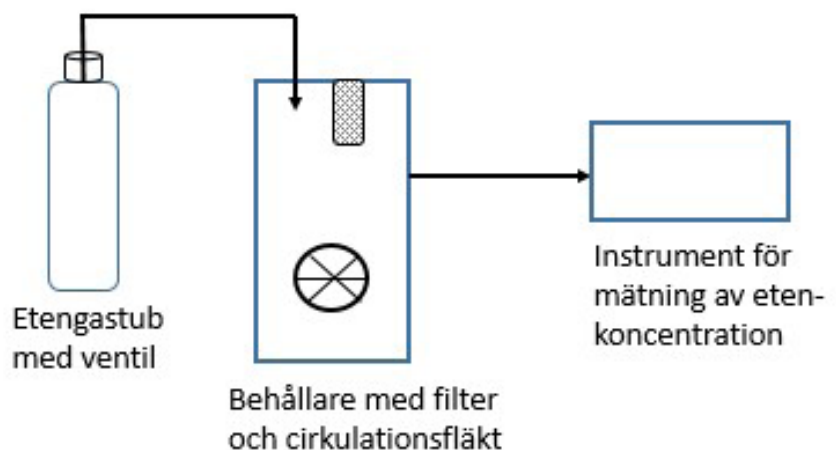
Idag begränsas till viss del etenets effekt genom att det motverkas av ULO-lagring, samt att det i lagringsrummen installeras luftfilter. Trots detta kommer det ändå att vara en viss koncentration av eten i atmosfären i lagringsutrymmet, så mer effektiva metoder för att minska etenkoncentrationerna i lagren skulle bidra till målet att minska svinn och förlusterna under lagring, och att kunna öka lagringstiden. Detta är särskilt viktigt under den tidsperiod direkt efter skörd, då de ny-skördade äpplena förvaras i kyla men i normal atmosfär, innan ULO-lagret stängs. ULO-lagren fylls på succesivt, och först när lagret är fullt kan det stängas med en kontrollerad atmosfär.

Filter med etenabsorbenter

De filter som skall absorbera eten som används idag i fruktlager baseras ofta på aktivt kol, som har varit i användning som etenabsorbent sedan 1950-talet. Granulär form av aktivt kol används vanligen beroende på hanterbarhet och absorptionsförmåga (Martínez-Romero et al., 2007). Zeoliter är en annan typ av etenabsorberande material, som är en grupp kristallina aluminiumsilikater, och som förekommer naturligt eller framställs syntetiskt. De har använts ensamt, eller i kombination med andra etenreducerande tekniker (Martínez-Romero et al., 2007).

Andra filter baseras på kaliumpermanganat (KMnO_4) som aktiv komponent, men de anses mest lämpade för små lagringsutrymmen eftersom ämnet snabbt förbrukas och filtret därmed ofta behövs bytas, eller de används i förpackningar (Keller et al., 2013; Silva et al., 2016; Szczerbanik et al., 2005). Effektivitet hos filter baserade på kaliumpermanganat, liksom potentiellt negativa sidoeffekter har diskuterats. Lämplighet vid livsmedelshandling har ifrågasatts genom ämnets toxicitet, och även bildandet av sidoprodukter anses vara en negativ konsekvens (Álvarez-Hernández et al., 2019; Martínez-Romero et al., 2007; Wei et al., 2021; Young, 2003). En annan princip för att reducera koncentrationen av eten som har prövats är fotokatalytiska filter, ofta baserade på titanoxid (Wei et al., 2021). Denna metod kräver dock belysning med UV-ljus som en del av den fotokatalytiska elimineringen av eten, och detta skulle kunna medföra negativa effekter beträffande livsmedlens kvalitet. De olika principerna för etenreducering som har testats har alla haft sina brister, så utveckling av nya har fortsatt.

Under senare år har ett nytt material, baserat på en aerogel, börjat användas i filter. Aerogeler är ämnen med mycket låg densitet, och är också extremt porösa. Endast 1–15% av volymen består av ett fast material medan resten består av den omgivande gasen eller av vakuum. Aerogeler består oftast av silikatmaterial, men utgångsmaterial kan även vara plastpolymerer, kol eller metalloxider (Aegerter et al., 2011; Twumasi Afriyie, 2013). Svenska Aerogels produkt Quartzene är en vidareutveckling av materialet aerogel. Ett gram av materialet har en inre yta på upp till 550 kvadratmeter (Svenska Aerogel, 2023a, b). Produkten Quartzene används idag för olika applikationer; i första hand isolering, färg och ytskikt samt filtrering. Det pågår även ett utvecklingsarbete inom området filtrering, som är speciellt inriktat mot absorption av eten (Patent WO 2018 / 203797; Svenska Aerogel). Ett mer effektivt etenfilter för att reducera etenkoncentrationen i lagerutrymmena, och därmed minska lagringsförluster, har potential att användas inte bara i fruktlager, utan även under längre transporter och i handelsledet.



Figur 2. Schematisk bild över försöksuppställning. Eten tillfördes till en sluten behållare under en tidsperiod till en given koncentration, och tillflödet stängdes sedan av. En cirkulationsfläkt inne i behållaren säkerställde att halten av eten var jämnt fördelad i volymen, samt att det var en viss luftcirkulation genom filtret. Etenkoncentrationen inne i behållaren mättes efter ett antal tidsintervaller. Ett kontrollförsök med samma uppställning, men utan filter, utfördes med samma försöksuppställning.

Försök med nya etenabsorbenter

Försöken utfördes med filter innehållande etenabsorberande material Quartzene (Svenska Aerogel) samt med filter med aktivt kol, som jämförelse. Dessutom gjordes parallella försök, där inget filter användes.

I den första omgången med försök studerades filtrens förmåga att absorbera etengas. I slutna behållare, volym 30 liter, med lufttillflöde och avflöde tillfördes etengas från en gastub (Figur 2). Koncentrationen av eten vid försökets start reglerades till mellan 25 och 35 ppm. I varje behållare placerades en fläkt, för att generera ett luftflöde. Tre parallella försök utfördes för varje typ av experiment, dvs. med Quartzene-filtret, med aktivt kolfilter, samt utan filter. Försöken pågick under 43 till 51 timmar, och filtrens förmåga att absorbera etengasen observerades. Etenkoncentrationen i varje behållare mättes vid 6-7 tillfällena under tidsperioden. Mätningarna utfördes med det portabla instrumentet Ethylene Spy, ES100 (Fruit Control Equipment Srl, Milan, Italy). Resultatet visade att etenkoncentrationen i behållarna med Quartzene-filtret sjönk snabbare än i behållarna med aktivt kol, och därmed att Quartzene-filtret hade en klart högre absorptionsförmåga än filtret med aktivt kol.

Försöket upprepades senare med en annan typ av Quartzene-filtermaterial, och vid detta tillfälle användes olika mängder av Quartzene-filtermaterial, filter med aktivt kol, samt försök utan filter. Försöken utfördes denna gång under en något längre tidsperiod; upp till 117 timmar. Resultaten visade att etengasen absorberades av Quartzene-filtret i proportion till hur mycket filtermaterial som hade använts i försöket, och att det vid den högsta mängden filtermaterial visade en högre effektivitet av absorption än filtret med aktivt kol.

I den tredje omgången av försök användes äpple för att producera eten. Beroende på tidpunkt på året när för-

söken utfördes, och att försöket krävde äpplen som var relativt nyskördade för att inte etenproduktionen skulle ha avklingat under lagringen, så användes ekologiska äpplen, importerade från Chile. Äpplena hämtades från ett grossistlager i Helsingborg strax efter ankomst till Sverige. I försöket användes ca 5 kg äpple till varje uppsättning. Resultatet från detta försök visade att Quartzene-filtret minskade etenkoncentrationen i behållaren med äpplen, i jämförelse med kontrollförsöket. Upprepade försök skulle dock behövas för att säkerställa resultaten.

I ett annat experiment undersöktes egenskaper hos filter med aerogel respektive aktivt kol beträffande filtrens förmåga att avge det bundna etenet vid uppvärmning. Filtren hade använts i tidigare etenförsök, och då reducerat etenkoncentrationen i behållaren. Nu upphettades de båda filtren i två omgångar. De placerades först i 1 l glasburkar, i 40 ° C under 6 timmar, varefter etenhalt i burkens atmosfär mättes. Två parallella försök gjordes. Inget eten kunde uppmätas i glasburken med filter med aerogel, och i burken med filter med aktivt kol uppmättes 1,7 – 2%. Burkarna placerades därpå åter i ugn vid 48° C, och efter 15 timmar mättes etenkoncentrationen igen. Det blev samma resultat för burkarna med aerogelfilter, dvs. inget uppmätt eten i något prov, men något förhöjd koncentration i burkarna med aktivt kolfilter; 0,3-0,4%

Diskussion och slutsatser:

Trots förbättrad teknik vid lagring av frukt kvarstår etengasen som en faktor som är värd att rikta fortsatt uppmärksamhet på. Detta gäller framför allt strax efter skörd, då ULO-lagren ännu inte är klara att stängas, och då det är viktigt att inte accelerera mognadsprocesser i frukten genom att etenkoncentrationen ökar i kylskåpet under tiden frukten kyls ned. Även i lagring under kontrollerad atmosfär är reduktion av

eten betydelsefullt. Tidigare försök som utfördes i lagringsrum med kontrollerad atmosfär (lägre syrehalt och högre koldioxidhalt), med eller utan filter som reducerade halten av etengas angiven från de lagrade äpplena, fann att fastheten var högre hos de äpplen som hade lagrats i lägre etenkoncentration (Brackmann & Saquet, 1999). Även när ULO-lagren öppnas, och äpplena skall packas och försälas, samt under distributionen ut till affär och konsument är kritiska perioder då en förhöjd etenkoncentration kan förkorta hållbarheten. Tidigare utförda försök har visat att etenproduktionen direkt efter frukten har tagits ut från ULO-lager har varit låg, men att den visar en ökande tendens under veckan efter ULO-lagringen har avbrutits (Thewes et al., 2015).

Resultaten i dessa försök var positiva, men det återstår ännu ett fortsatt utvecklingsarbete innan de testade filtren är anpassade till kommersiell lagring av frukt. Liksom för övriga porösa material som har prövats som etenabsorbenter, så krävs att fortsatta undersökningar visar att materialet binder stabilt till eten, är kostnadseffektivt och helst är återanvändningsbart.

Referenser

- Álvarez-Hernández, M. H., Martínez-Hernández, G. B., Avalos-Belmontes, F., Castillo-Campohermoso, M. A., Contreras-Esquivel, J. C., Artés-Hernández, F. (2019). Potassium permanganate-based ethylene scavengers for fresh horticultural produce as an active packaging. *Food Eng. Rev.*, 11(3), 159-183. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09193-0>
- Aegerter, M.A., Leventis, N., Koebel, M.M. (2011). *Aerogels Handbook*. Springer publishing.
- Botton, A., Tonutti, P., Ruperti, B. (2019) [Chapter 5 - Biology and Biochemistry of Ethylene](#). Ed. by Yahia, E.M., Carrillo-Lopez A. In *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. Woodhead Publishing.

- Kader, A.A., Zagory, D., Kerbel, E.L., Wang, C.Y. (1989). Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 28, 1-30.
- Keller, N., Ducamp, M. N., Robert, D., Keller, V. (2013). Ethylene removal and fresh product storage: A challenge at the frontiers of chemistry. Toward an approach by photocatalytic oxidation. *Chemical reviews*, 113(7), 5029-5070.
- Jordbruksverket (2022). Trädgårdsproduktion 2020, Jordbruksverkets statistikrapporter. Hämtad 2022-04-05: [Trädgårdsproduktion 2020 - Jordbruksverket.se](https://www.jordbruksverket.se/tradgardsproduktion-2020)
- Martínez-Romero D., Bailén G., Serrano M., Guillén F., Valverde J.M., Zapata P., Castillo S., Valero D. (2007) Tools to maintain postharvest fruit and vegetable quality through the inhibition of ethylene action: A review, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 47(6), 543-560, DOI: 10.1080/10408390600846390
- Mditshwa, A., Fawole, O.A., Opara, U.L. (2018). Recent developments on dynamic controlled atmosphere storage of apples—A review. *Food Pack. Shelf Life*, 16, 59-68.
- Szczerbanik, M., Scott, K., Paton, J., Best, D. J. (2005). Effects of polyethylene bags, ethylene absorbent and 1-methylcyclopropene on the storage of Japanese pears. *J. Horticult. Sci. Biotechn.*, 80 (2), 162-166.
- Silva, D., Salomão, L., de Siqueira, D., Lopes, D., Cecon, P., Rocha, A. (2016). Potassium permanganate effects in postharvest conservation of the papaya cultivar Sunrise Golden. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 44 (7), 669-675.
- Svenska Aerogel, (2023a). Hämtad 2023-05-12. [Products - Svenska Aerogel](https://www.aerogel.se/products)
- Svenska Aerogel, (2023b). Hämtad 2023-05-12. [Quartzene - Svenska Aerogel](https://www.aerogel.se/quartzene)
- Thewes, F.R., Both, V., Brackmann, A., Anderson Weber, de Oliveira Anese, R., (2015). Dynamic controlled atmosphere and ultralow oxygen storage on 'Gala' mutants quality maintenance, *Food Chem.*, 188, 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.128>.
- Twumasi Afriyie, E. (2013). Preparation and evaluation of new nanoporous silica materials for molecular filtration and for core materials in vacuum insulation panels. Doktorsavhandling, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm. ISBN 978-91-7501-701-3.
- Wei, H., Seidi, F., Zhang, T., Jin, Y., Xiao, H. (2021). Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables: A review, *Food Chem.*, 337, 127750, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127750>.
- Young, J.A. (2003). Potassium Permanganate. *J. Chem. Educ.*, 80 (8), 873.

-
- Faktabladet är utarbetat inom LTV-fakultetens område: Institutionen för växtförädling, Avdelningen för växtens produktkvalitet [Växtens produktkvalitet Hortikultur | Externwebben \(slu.se\)](https://www.slu.se/externwebben/vaxtens-produktkvalitet-hortikultur)
 - Projektet är finansierat av SLU Partnerskap Alnarp [SLU Partnerskap Alnarp | Externwebben](https://www.slu.se/partnerskap-alnarp)
 - Projektansvarig/författare: Marie Olsson, Marie.Olsson@slu.se Institutionen för växtförädling, SLU Alnarp
 - På webbadressen <https://pub.epsilon.slu.se> kan detta faktablad hämtas elektroniskt