

Kalcium hos äpple

- Funktion i växten, inverkan på lagringsduglighet samt metoder för att höja kalciuminnehållet

Calcium in apple

- Function in the plant, influence on storability and methods to increase the calcium content

Niklas Engelbrekt



Kalcium hos äpple – funktion i växten, inverkan på lagringsduglighet samt metoder för att höja kalciuminnehållet

Calcium in apple - Function in the plant, influence on storability and methods to increase the calcium content

Niklas Engelbrekt

Handledare: Helene Larsson Jönsson, institutionen för Biosystem och teknologi

Examinator: Ibrahim Tahir, institutionen för växtförädling och postharvest, SLU Alnarp

Omfattning: 15hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Kandidatarbete i Biologi

Kurskod: EX0493

Program/utbildning: Trädgårdsingenjör odling

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2013

Omslagsbild: Niklas Engelbrekt

Serietitel: nr: Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, SLU

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Äpple, kalcium, fruktkvalitet, kalciumgödning, bladgödning, efterskördbehandling, lagringsduglighet.

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap
Institutionen för Biosystem och teknologi

Sammanfattning

Kalcium står i nära relation med kvaliteten hos frukten inom en rad olika växtslag, däribland äpple. Genom att tillgodose fruktens behov av kalcium så kan kvaliteten höjas vilket resulterar i ett mer lagringsdugligt äpple samt en större andel klass 1 frukt och därmed en högre inkomst. Samspelet mellan kalcium och frukt är komplext vilket kräver goda kunskaper för att förstå hur och när kalcium tas upp av frukten. Syftet med detta arbete är att sammanställa tillgänglig information om vad kalcium har för funktion hos äpple och hur man kan tillföra kalcium till frukten. Genom att känna till hur kalcium tas upp och transporteras hos äpple så är det lättare att avgöra hur man ska gödsla och när man ska gödsla. Marken innehåller i regel tillräckligt med kalcium men en begränsad transport till frukten i mitten och slutet av fruktutvecklingen gör att kalciumgödsling på marken under träden har dålig effekt. Att tillföra kalcium genom att bladgödsla träden ger bättre resultat. Men det gäller att välja rätt kemisk form av kalcium samt att utföra åtgärden vid rätt tid. Kalciumklorid eller kalciumnitrat är de kemiska formerna av kalcium som har bäst effekt. För att höja halten av kalcium i frukten vid skörd gäller det att bladgödsla sent på säsongen medan om man vill förebygga pricksjuka så kan det vara bra att även bladgödsla några gånger närmre blom. Efterskördbehandlingar i form av att äpplena doppas i kalciumlösning, antingen under atmosfäriskt tryck eller ett förhöjt tryck alternativt undertryck, höjer halten av kalcium i frukten ytterligare. Men oavsett behandlingsmetod så är det viktigt att öka trädets naturliga upptag av kalcium genom att ha stora och vitala rosettblad samt en god vattenstatus i jorden.

Abstract

Calcium has great impact on fruit quality of many different cultivations, apple included. If the fruit get the right supply of calcium the quality will be greater which gives an apple more suited for storage and higher number of first class apples which results in a higher income. The relationship between calcium and the fruit is complex and it takes good knowledge to completely understand how calcium is taken up by the trees. The aim of this work is to put together information about the role of calcium in apples and how to increase the level of calcium in the fruit. With knowledge about calcium uptake and transport within apple trees, it is easier to know how and when to fertilize to increase the calcium level in fruit. Even if there generally are sufficient amounts of calcium in the soil, the limited transport to the fruit in the middle to late season makes soil application with calcium inefficient. Foliar application with calcium is more effective. But it is important to choose the right form of calcium fertilizer and the right time for the application. Calcium chloride and calcium nitrate are the compounds that make the best results. To increase the calcium content at harvest the best way is to apply calcium a couple of times close to harvest, but to prevent bitter pit it is better to spray some times closer to blossom. Postharvest treatments when dipping the apples into a calcium solution under normal, high or low pressure makes the calcium content even higher in the fruit. Regardless how the apples are treated it will be important to increase the soil uptake of calcium in the apple trees, by promoting the development of spur leaves and by having a good water management in the soil.

Innehållsförteckning

Inledning.....	5
- Bakgrund.....	5
- Syfte.....	6
- Frågeställningar.....	6
- Avgränsning.....	7
Material och metod.....	8
Litteraturstudie.....	9
- Funktion i växten.....	9
- Upptag och transport.....	11
- Inverkan på fruktqualität.....	13
- Metoder för att öka kalciumhalten i frukten.....	17
o Behandlingar innan skörd.....	17
o Behandlingar efter skörd.....	21
o Övriga metoder som höjer kalciuminnehållet i frukten.....	22
Diskussion.....	24
Slutsatser.....	28
Referenser.....	29

Inledning

Bakgrund

Kalcium brukar förknippas med fruktkvaliteten i en mängd olika kulturer (Simon, 1978). Detta kommer från att kalcium både är med och bygger upp en stark cellvägg samtidigt som kalcium är med och påverkar olika processer i cellen så som enzymaktivitet och reglering av genomsläpplighet genom cellmembran (Marschner, 1995). En stark cellvägg bidrar rimligtvis till en hård frukt. Äpple är inget undantag utan det har länge varit känt att kalcium står i nära relation med fruktkvalitet hos just äpple, vilket gör att fruktodlare har ett intresse av att ha en odlingsteknik som tillgodoser äpplets behov av näringsämnet för att få en bra kvalitet på skörden. Samtidigt så är det ett komplext samspel i växten mellan bland annat ledningsvävnad, transpiration och fruktutveckling som avgör hur näringsbalansen ser ut i frukten dels vid skörd och dels efter en tids lagring (Lang och Volz, 1998). Det är av vikt att förstå detta komplexa samspel för att kunna hitta metoder för att tillföra kalcium i rätt mängd och vid rätt tid samt för att kunna undvika kostsamma åtgärder som inte fungerar på grund av växtens funktion. Om tillförseln av kalcium misslyckas eller om yttre faktorer är sådana att kalcium inte lyckas tas upp i tillräcklig mängd av växten så kan det få stora problem hos frukten i form av bland annat pricksjuka, ”lenticell blotch pit” och snabbt åldrade (Wilkinson, 1968; Jones et. al., 1983). Förlusterna på grund av en låg kalciumhalt ligger mellan 2 % och 25 %, vilket visar på att en för låg kalciumkoncentration kan få stor negativ påverkan (Loijen, 2013 pers. medd.). Vad som avgör förlusternas omfattning bör vara samma som påverkar upptaget av kalcium. Om man lyckas med att få en tillfredställande koncentration kalcium i frukten finns det stora fördelar, i form av ett lagringsdugligare äpple som åldras långsammare och är mer motståndskraftigt mot svampsjukdomar (Scott och Wills, 1979; Conway och Sams, 1983). Då de svenska odlarna tvingas till en allt mer begränsad kemikalieanvändning är det viktigt att växten har en optimal näringsbalans vilket gör att växten i sig själv blir mer motståndskraftig mot växtpatogener. Kalcium är då en viktig del för att uppnå i ett motståndskraftigt äpple.

I svenska jordar är det generellt god tillgång på kalcium i jorden både när det gäller joner lösta i markvätskan och när det gäller de utbytbara jonerna (Eriksson et. al., 2005). Utbytbara kalciumjoner, i svenska odlade jordar ligger mellan 50 % och 90 % av det totala antalet baskatjoner (Eriksson et. al., 2005). När det kommer till det icke utbytbara förrådet av

kalcium förekommer det i bland annat mineralerna fältspalt, augit, hornblände och kalцит (Eriksson et. al., 2005). Förutom att kalcium har stor betydelse för växterna som näringsämne så har kalcium också inverkan på markens kemiska och fysikaliska egenskaper, vilket gör att en hög halt utbytbara kalciumjoner är att föredra (Eriksson et. al., 2005).

Under de kommande åren kommer det ske ett antal nyplanteringar i Sverige inom Äppelriket, vilket kan tänkas göra att utbudet av svensk frukt kommer öka. För att rådande prisutveckling ska kunna hålla i sig även i framtiden är det kanske tvunget att lagra frukten för att förlänga försäljningssäsongen på våren. För att inte tappa i kvalitet är det viktigt med bra lager men framförallt att odla äpple som klarar av att lagras länge och samtidigt håller en bra kvalitet tills att det konsumerats. En god kalciumdistribution är en åtgärd som bidrar till ett äpple med högre kvalitet och bättre lagringsduglighet (Scott och Wills, 1979).

Syfte

Syftet med detta arbete är att sammanställa befintlig information om kalcium och dess funktion hos äpple samt hur man kan tillföra kalcium till frukten, på ett lättförståeligt och lättövergripbart sätt. Fokus kommer dels ligga på hur transport och andra funktioner fungerar i växten och dels på vilka metoder som finns för att höja kalciumhalten i frukten. Genom att informera om bakomliggande funktioner kan en högre förståelse uppnås vilket i sin tur kan leda till att man som odlare kan ta ett mer korrekt beslut än om man bara följer rådgivarens rekommendation. Målet med arbetet är också att visa på vilka metoder det finns för att höja kalciuminnehållet i frukten och klargöra hur effektiva dessa metoder är. Genom att optimera och förbättra tekniken för att tillföra kalcium så kanske det går att göra ekonomiska besparingar samtidigt som man ändå uppnår ett bättre resultat.

Frågeställningar

Vad har kalcium för funktion i äpplet?

Hur påverkar kalciumhalten lagringsdugligheten på frukten?

Hur kan man förebygga/åtgärda kalciumrelaterade problem hos äpple?

Avgränsning

Arbetet kommer att fokusera på kalciumförhållandena i frukten och kommer inte gå in på bristsymptom hos trädet. Övriga näringsämnen kommer endast behandlas då de fungerar i samspel med kalcium eller påverkar/påverkas av kalciumhalten i frukten. Upplägget på arbetet kommer vara utifrån att bidra med allmän kunskap om kalcium och därför inte vara någon form av handbok för odlaren utan tanken är att arbetet ska vara en källa för grundläggande information. Exakta rekommendationer till exempel för vilka doser som ska användas vid bladgödsling får inhämtas från annat håll eftersom varje situation är unik och en helhetsstrategi måste utarbetas för varje enskild odling. En av frågeställningarna berör vilken funktion kalcium har i äpplet, och där kommer fokus ligga på de funktioner som är relevanta för lagringsduglighet och kalciumrelaterade problem. Utöver de funktioner som behandlas i arbetet så har kalcium andra uppgifter i cellen men de bedöms ha mindre betydelse i detta sammanhang. Därmed inte sagt att dessa andra funktioner inte är av stor vikt i cellens övriga processer.

Material och metod

Arbetet kommer utföras i form av en litteratursökning där insamlad information sammanställs i en skriftlig rapport. Litteraturen kommer i huvudsak bestå av vetenskapliga artiklar så att grunden i arbetet utgår från försök som är gjorda på ett vetenskapligt korrekt sätt. De vetenskapliga artiklarna kommer dels att insamlas via databasen Web of knowledge men främst genom att söka upp litteratur som andra refererar till. En del av informationen kommer att hämtas från tidigare kurslitteratur. Det är sådan information som i regel är ganska vedertagen. I en del fall finns det inga svenska namn utan endast engelska namn används.

Begreppet kvalitet kan ha olika betydelse beroende på sammanhang och vem som använder termen. I detta arbete kommer begreppet kvalitet innefatta patogenangrepp, bristsymptom till följd av näringsbrist, lagringsduglighet, shelf-life och fasthet. Det är alltså faktorer som påverkar hur en köpare värderar frukten och därmed det ekonomiska värdet.

Frågor har skickats ut till John Loijen rådgivaren inom Äppelriket ekonomisk förening. Genom att höra vad en rådgivare har för bild av kalcium och problemet runt detta näringsämne så bildar det en kontrast mot forskningsresultaten. Som rådgivare innebär jobbet att man är ute och jobbar nära den verklighet som odlarna lever i, kanske till skillnad från forskarna. Som rådgivare ser man omfattningen av olika sjukdomar och problem i ett större perspektiv än vad man gör som odlare. John Loijen har dessutom en gedigen erfarenhet från många olika länder vilket gör hans syn på saker, i detta fall kalcium, ännu mer intressant.

Först kommer en yttlig litteratursökning göras för att se vad som är aktuellt inom området och vad som kan beräknas vara relevant att fördjupa sig i. Sedan kommer en plan läggas upp för vad arbetet ska innehålla. Nästa steg är att hitta den litteratur som behövs i arbetet. Efter att ha läst igenom litteraturen så gäller det att börja sammanfatta informationen i en vetenskaplig rapport. Ytterligare litteratur kommer behöva sökas upp för att komplettera de luckor som uppstår. De sista stegen är att justera formalia, redovisa arbetet och publicera rapporten.

Litteraturstudie

Funktion i växter

Kalcium, Ca, är ett essentiellt makronäringsämne då det behövs i relativt stora mängder och näringsämnet behövs för att växter ska kunna fullföra sin livscykel (Raven et. al., 2005). Går man djupare in på vad kalcium har för funktion i växten framgår det att kalcium är med och binds in i cellväggarna när dessa byggs upp (Wilkinson, 1968). Detta visar till viss del var i växten behovet för kalcium finns nämligen i tillväxtdelar där nya celler och cellväggar bildas (Spectrum Analytic Inc, 2010). Kalciuminnehållet i bladen hos äpple ligger mellan 1 % och 2 % av torrsvikt med variation under säsongen och även frukten har ett stort behov av kalcium (Spectrum Analytic Inc, 2010). Förutom att en del av kalciumjonerna, Ca^{2+} , binds in och bygger upp cellväggarna så är det en del av kalciumjonerna som är fria i cellen (Mengel och Kirkby, 1987). De bundna kalciumjonerna ingår i pektat som i sin tur ingår bland annat i mittlamellen, vilken har till funktion att binda ihop cellerna till varandra (Marschner, 1995). Mängden kalcium som finns tillgänglig i växten påverkar alltså hur starkt cellerna är bundna till varandra, vilket stämmer överens med att kalcium påverkar hårdheten hos frukten (Marschner, 1995; Loijen, 2013 pers. medd.). Förutom att bygga upp cellväggarna så påverkar kalcium genomsläppligheten genom cellmembranen (Raven et. al., 2005; Loijen, 2013 pers. medd.), vilket stämmer överens med Hofman (1998) påstående om att kalciumhalten i frukten påverkar avdunstningen från frukten. De kalciumjoner som finns fritt i cellen fungerar bland annat som sekundära budbärare och dessa påverkar bland annat vissa enzyms aktivitet (Raven et. al., 2005). Som sekundär budbärare så är kalciumhalten med och påverkar respirationshastigheten hos frukten (Sharma et. al., 2012). Mängden kalcium och fördelningen mellan bundet och fritt kalcium påverkar hur snabbt frukter mognar (Marschner, 1995; Mengel och Kirkby, 1987; Loijen, 2013 pers. medd.). Som tidigare nämnts påverkas hårdheten av kalciumhalten i mittlamellen. Kalciumkoncentrationen i cellen påverkar aktiviteten hos enzymet polygalakturonas som har funktionen att bryta ner pektat, där ett lågt kalciuminnehåll ökar hastigheten för nedbrytning (Marschner, 1995). Eftersom pektat bidrar till att binda cellerna till varandra innebär det att kalcium har dubbel effekt på hårdheten hos frukten. Kalcium är också med och påverkar mognaden genom att ha effekt på produktionen av eten, som är ett hormon som bidrar till fruktmognad (Mengel och Kirkby, 1987; Loijen, 2013 pers. medd.). Syntesen av eten sker inuti cellen men regleras av ett enzym som finns utanför cytoplasman, och eftersom kalciumjonerna påverkar genomsläppligheten genom cellmembranet så påverkar kalciumkoncentrationen etenproduktionen (Mengel och Kirkby,

1987). Relationen är sådan att vid en låg kalciumkoncentration så ökar produktionen av eten (Mengel och Krikby, 1987).

Även om det finns en stor reserv av kalcium i jorden så är det relativt vanligt att odlingar runt om i världen uppvisar symptom på kalciumbrist (Wilsdorf et. al., 2012). Men även om det bara är en liten del av tillgängligt kalcium som tas upp så är det ändå så att om tillgången på kalcium i marken begränsas under en längre period under växtsäsongen leder detta både till mindre kalciumhalt i frukten men också till att antalet små frukter ökar (Vang-Petersen, 1980). Eftersom ett mindre äpple har en lägre risk att drabbas av pricksjuka så gav denna kalciumbrist en låg förekomst av pricksjuka (Vang-Petersen, 1980). Detta har emellertid liten praktisk betydelse eftersom fruktodlarna försöker få relativt stora frukter för att få en stor skörd och en stor andel äpple som säljs som klass 1. Det är också rimligt att tänka att de övriga egenskaper och sjukdomar som påverkas av kalcium skulle beröras negativt av en minskad tillgänglighet av kalcium i marken. Det är således viktigt att markförhållandena är gynnsamma så rötterna på ett effektivt sätt kan ta upp tillgängligt kalcium. Förutom att ha rätt markförhållande i form av till exempel tillgängligt syre och lagom mycket markvätska så gäller det att ha en balans mellan alla näringsämnen för att undvika antagonism. God eller för stor tillgång på kalium i jorden kan leda till konkurrens, med upptagningsförmågan med kalcium vilket resulterar i att halten kalcium i frukten minskar (Vang-Petersen, 1980). En högre halt kalium i marken resulterar också i att andelen stora äpplen ökar vilket ytterligare ökar risken för pricksjuka (Vang-Petersen, 1980). Detta beror på att kalciumkoncentrationen blir lägre i ett stort äpple på grund av en utspädningseffekt som uppstår när äpplet växer samtidigt som mängden kalcium i frukten är konstant.

Det brukar också finnas en variation mellan olika år hur omfattande de kalciumrelaterade problemen är. Detta tyder på att det finns kopplingar mellan olika yttre faktorer och hur stort kalciuminnehåll frukten har vid skörd (Vang-Petersen, 1980). Faktorer som varierar från år till år och samtidigt kan ha inverkan på innehållet av kalcium i frukten kan till exempel vara väderförhållande i växtperioden, tillgänglighet eller balans av näringsämne och tillväxthastighet hos både generativa och vegetativa delar (Vang-Petersen, 1980). Dessa yttre förhållanden har störst betydelse under den första tiden efter blom, alltså under celledningen, eftersom 80 % av allt kalcium som tas upp från marken, tas upp under den första tredjedelen mellan blom och skörd (Vang-Petersen, 1980). Efter den celledningen är det emellertid inte lika känsligt om växten inte kan ta upp kalcium från marken under kortare perioder (Vang-Petersen, (1980).

Upptag och transport

Tillgången av kalcium i marken är generellt god och det är sällan som det är själva tillgången på kalcium som ligger till grund för kalciumbrist hos äpple. Konkurrensen mellan olika näringsämne kan göra så att upptaget av kalcium inte är möjligt även vid höga halter av kalcium i jorden (Spectrum Analytic Inc, 2010). Kalcium är ett ämne som växten har ganska svårt för att ta upp och magnesium, Mg^{2+} , men framförallt kalium, K^+ , tas upp lättare än kalcium (Spectrum Analytic Inc, 2010). Kalcium är ganska immobilt i växten jämfört med andra makronäringsämne (Jones et. al., 1983). Den huvudsakliga transporten av kalcium sker i xylemet, där kalciumjonerna tas upp av rötterna för att sedan transporteras upp i växten med transpirationen och kapillära krafter som drivkraft (Jones et. al., 1983; Val et. al., 2008). Eftersom kalciumjonerna följer vätskeströmen i xylemet, vilken i sin tur drivs av transpirationen så är det förståeligt att kalciumet främst kommer till de delar som har högst avdunstning och till de delar som tillväxer mest (Val et. al., 2008; Loijen, 2013 pers. medd.). Detta är till nackdel för äpplet som utvecklar ett tjockt skal vars uppgift bland annat är att skydda mot avdunstning. Men det är inte enbart transpirationen från äpplet som påverkar kalciumhalten i äpplet utan Lang och Volz (1998) anser att transpirationen från rosettblad också är av stor betydelse för hur stor mängd kalcium som kan transporteras till frukten. På dagen när det är varmt transporterar vätska från rosettblad vilket skapar ett undertryck i xylemet vid den punkt där vätskan avdunstar. För att kompensera detta undertryck så dras dels vätska från ledningssträngarna som kommer från rötterna och dels från de ledningssträngar som fortsätter in i äpplet (Lang och Volz, 1998). På så sätt så försvinner vätska ut från äpplet under dagen och äpplet krymper (Tromp, 1984). När vätska tränger in i äpplet så expanderar frukten och på så sätt pulserar frukten under dygnet (Tromp, 1994). Hur stora mängder vätska som transporteras in och ut ur äpplet varierar mellan olika dagar (Lang och Volz, 1998). Detta är inte så konstigt då faktorer som luftfuktighet och temperatur varierar från dag till dag. En avgörande sak är att det är en mindre mängd vätska som försvinner ut ur äpplet på dagen än den mängd vätska som transporteras in i frukten igen på natten (Lang och Volz, 1998). Enligt Lang och Volz (1998) så är det ungefär dubbelt så stor mängd vätska som transporteras in i äpplet jämfört med den mängd vätska som transporteras ut till närliggande växtdelar. Den mängd vätska som blir kvar i frukten, bidrar tillsammans med det vätsketillskott som floemet för in i frukten, till antingen en storleksökning hos äpplet eller så ingår vätskan i den del som avdunstar från frukten (Lang och Volz, 1998). Jämför man kalciuminnehållet i den vätskan

som sugts ut ur frukten med vätskan som sedan transporteras in i äpplet igen så har den ingående vätska ett högre innehåll av kalcium (Lang och Volz, 1998). Alltså så blir det en nettoökning av kalcium i frukten. Den mängd kalcium som tillförs till äpplet påverkas alltså av den mängd vätska som transpirerar från bladen som är fästa i närheten av äpplet.

Den mängd vätska som avdunstar från en yta, under givna förhållande, ökar när storleken på ytan ökar. På samma sätt så ökar avdunstningen från rosettblad när dessa blad blir större till ytan, och den ökade avdunstningen leder i sin tur till att transporten in och ut ur äpplet via xylemet ökar (Lang och Volz, 1998). Även om vätsketransporten in och ut ur frukten påverkar kalciuminnehållet i äpplet så bidrar inte en ökad yta på rosettblad till en ökad storlek på frukten (Lang och Volz, 1998). Anledningen till detta kan vara att det både är transporten in och transporten ut ur frukten som påverkas av en ökad transpiration från rosettbladen. Däremot påverkas den mängd kalcium som tillförs till frukten av hur stor yta det är på bladen på fruktsporren (Lang och Volz, 1998). Det är ett direkt proportionerligt samband mellan arean på rosettblad och kalciuminnehållet i frukten, där en ökad bladyta ger en ökad kalciumkoncentration i äpplet (Lang och Volz, 1998). Lang och Volz (1998) med stöd från Jones och Higgs (1985) menar att transpirationen från bladen i fruktens absoluta närhet har större betydelse för kalciumupptaget än vad transpirationen från själva frukten har.

Det är också många fruktslag, däribland äpple, som har utvecklat en funktion där transporten i xylemet begränsas efterhand som frukten utvecklas (Drazeta et. al., 2003; Drazeta et. al., 2001). Att transporten i xylemet begränsas medför att näringsförhållandena i frukten ändras och eftersom kalcium främst transporteras i xylemet är det rimligt att detta näringsämne påverkas betydande vilket får konsekvenser för kalciuminnehållet i frukten (Drazeta et. al., 2003). Allt eftersom fruktutvecklingen fortskrider under säsongen och xylemtransporten successivt minskar så ökar transporten via floemet till frukten (Lang och Ryan, 1994). Om xylemet har stor betydelse för i början av växtsäsongen så är det floemet som har den avgörande rollen i slutet av växtperioden för äpplet, då det i princip enbart är vätska som transporteras via floemet som bidrar till volymökningen hos äpplet (Lang och Ryan, 1994; Jones et. al., 1983). Som tidigare nämnts så är det kapillära krafter och ett undertryck som uppstår vid transpirationen, som driver flödet i xylemet medan drivkraften i floemet kommer från ett övertryck som uppstår där kolhydrater bildas genom fotosyntensen (Raven et. al., 2005). Drazeta et. al. (2003) och Lang och Ryan (1994) visar på att xylemets ledningsträngar brister efterhand som äpplet och fruktköttet expanderar och att det är detta som gör att

transporten i xylemet begränsas. Exakt när detta sker kan skilja mellan olika äpple inom samma sort, där vissa frukter får en övervägande floemtransport tidigt och vissa frukter har en relativt god xylemtransport längre in i säsongen (Lang och Ryan, 1994). Detta åskådliggörs genom att koncentrationen av kalcium varierar mellan olika frukter fast att de har växt under tillsynes samma förhållande (Val et. al., 2008). Förutom skillnader mellan olika frukter inom samma sort så finns det också skillnader mellan olika sorter i hur transporten till och från frukten fungerar under olika delar av säsongen (Lang och Ryan, 1994; Drazeta et. al., 2003; Drazeta et. al., 2001). Lang och Ryan (1994) visar att den maximala transporten i xylemet mellan frukten och trädet varierar mellan olika sorter där till exempel Cox´s Orange hade en högre transport än vad Gala har. Längre fram under säsongen minskade funktionen i xylemet snabbare hos Cox´s Orange medan Gala hade en större transport längre in på säsongen (Lang och Ryan, 1994). Drazeta et. al. (2003) har funnit liknande resultat där sorten Braeburn visade upp en minskad xylemtransport tidigare på säsongen än vad Granny Smith gjorde, vilket också stämmer överens med att Braeburn oftare drabbad av pricksjuka. För dessa fyra olika äpplesorter så verkar det största flödet i xylemet mellan frukt och trädet ske mellan 40 och 70 dagar efter full blom och därefter minskar flödet mer eller mindre snabbt för alla sorter (Drazeta et. al., 2003; Lang och Volz, 2004). Det är således också under denna vändpunkt som kalciumupptaget är som störst hos frukten och sedan minskar upptaget mer och mer efterhand som frukten växer och mognar (Jones et. al., 1983; Wilkinson, 1968).

Som tidigare nämnts så påverkar skalet på äpplet transpirationen och därmed också upptaget av kalcium via rötterna. Skalet på frukten påverkar också upptaget av kalcium vid bladgödsling. Tidigt på säsongen bidrar klyvöppningarna och den hårbeklädda ytan på frukten att kalciumjonerna relativt snabbt kan tränga in i frukten (Schlegel och Schönherr, 2002b). Längre fram på säsongen gör skalets vaxskikt att kalciumjonerna endast kan tränga in genom håligheter i skalet, där lenticellerna har den största betydelsen (Schlegel och Schönherr, 2002b). Sedan kan kalciumjonerna transporteras kortare sträcker inne i frukten genom förflyttningen från cell till cell (Loijen, 2013 pers. medd.).

Inverkan på frukt kvalitet

Immobiliteten hos kalcium gör att eventuella bristsymptom syns i de unga nytillväxta delarna, där tillväxten hämmas samtidigt som skottspetsen och unga blad blir deformerade och

klorotiska (Mengel och Kirkby, 1987). Vid en mer långvarig kalciumbrist kan bladen även bli nekrotiserade i kanterna (Mengel och Kirkby, 1987). Men förutom bristsymptom i växande delar så brukar kalcium relateras med fruktkvalitet där en stor mängd bristsjukdomar och symptom kan kopplas till kalcium (Simon, 1978; White och Broadley, 2003; Hofman, 1998; Spectrum Analytic Inc, 2010). Hos frukten påverkar kalcium direkt eller indirekt bland annat hårdhet, mängden vätska som avdunstar, mottaglighet för sjukdomar, hastighet på åldrandet och fysiologiska skador (Hofman, 1998).

Olika typer av lagringssjukdomar som till exempel pricksjuka och ”lenticel blotch pit” kan ha stor inverkan på sorteringsutfallet och därmed även lönsamheten för ett parti äpple (Loijen, 2013 pers. medd.). Lagringssjukdomar utvecklas efter en tids lagring och det tar upp emot tre månader innan man kan se hur olika lagringssjukdomar börja framträda (Sharma et. al., 2012). Antalet frukter med lagringssjukdomar ökar sedan snabbare och snabbare efter de tre första månaderna av lagring. Sharman et. al. (2012) visar hur skadeutveckling kan ske från att ha cirka 1 % skador efter tre månader vilket sedan utvecklas till cirka 12 % skador efter sex månaders lagring. Samtidigt visar Streif (2011) att vissa sjukdomar börjar tidigare, vilket tyder på att alla lagringssjukdomar utvecklas olika. Av den frukt som under försöket inte blivit drabbad av någon lagringssjukdom var kalciuminnehållet högre jämfört med den frukt som uppvisat symptom av lagringssjukdomar (Sharman et. al., 2012). Både etenproduktionen och respirationshastigheten var högre hos frukt som drabbats av någon form av lagringssjukdom (Sharman et. al., 2012). Vid en högre frigörelse av eten i lagret är det rimligt att tänka sig att även de friska äpplena påverkas negativt av lagringssjukdomar. Ovanstående försök visar vikten av att ha en hög kalciumhalt i frukten vid skörd även om enbart en hög kalciumhalt inte förebygger alla fysiologiska sjukdomar. Det finns ett antal bristsjukdomar som brukar kopplas till kalcium, och de vanligaste beskrivs nedan. Förutom de som är beskrivna nedan så kan kalciumkoncentrationen påverkar utvecklingen av till exempel mösk och scald (Loijen, 2013 pers. medd.).

Pricksjuka

Pricksjuka innebär att det uppstår små insjunkna fläckar i skalet och i fruktköttet precis under skalet (Sharma et. al., 2012). Fläckarna är oftast mellan 3 mm och 5 mm i diameter (Streif, 2011). Symptomen kommer från att cellerna precis under skalet har torkat in och kollapsat vilket bildar dessa insjunkna nekrotiska fläckar (Drazeta et. al., 2001). Vid pricksjuka så är

skalet på frukten intakt och själva skadan drabbar bara cellerna under skalet (Streif, 2011). Prickar med insjunkna celler kan också bildas längre in i frukten och de fläckarna syns då inte utifrån (Streif, 2011). Prickarna bildas oftast på samma sida av frukten som flugan sitter på, oavsett om det är ytliga prickar eller prickar en bit in i fruktköttet (Streif, 2011). Sorter som lätt drabbas av pricksjuka är bland annat Elise, Jonagold, Cox´s Orange och Gravensteiner (Streif, 2011; Hewett och Watkins, 1991). Olika sorter har olika bra förmåga att ta upp kalcium en bit in på säsongen då xylemtransporten skärs av (Lang och Ryan, 1994). Hur mycket kalcium som tas upp av frukten har stor betydelse för hur stor risken är för att frukten ska drabbas av pricksjuka (Drazeta et. al., 2001). Detta är anledningen till att olika sorter drabbas i olika stor utsträckning av pricksjuka, där en sort som tidigt drabbas av en minskad xylemtransport har större risk att få pricksjuka än en sort som har stor xylemtransport långt in på säsongen (Drazeta et. al., 2001). Storleken på frukten ligger i nära relation till hur stor risken är för att äpplet ska drabbas av pricksjuka, där ett stort äpple lättare drabbas av pricksjuka än vad ett litet äpple gör (Vang-Petersen, 1980). Perring (1968) visar att en hög halt magnesium och kalium i frukten i relation till en låg kalciumhalt ökar både förekomsten och angreppsgraden av pricksjuka. Detta låter rimligt då kalium inverkar på storleken på frukten vilket också påverkar utvecklingen av pricksjuka. Kväve däremot verkar inte ha någon betydande inverkan på pricksjuka (Perring, 1968).

Lenticel blotch pit

Lenticel blotch pit uppkommer vid en låg kalciumhalt i kombination med höga halter av kalium, fosfor, magnesium och emellertid kväve (Perring, 1968). Pricksjuka och Lenticel blotch pit är nära relaterade till varandra, vilket även kan ses på att dessa bristsjukdomar utvecklas vid delvis samma näringsförhållande i frukten (Perring, 1968). Symptomen för dessa bristsjukdomar påminner också delvis om varandra, men skillnaden är att Lenticel blotch pit börjar vid en lenticell (Streif, 2011). Runt lenticellen bildas ett område som blir nekrotiserat och ofta med lenticellen som en ljus punkt i mitten (Streif, 2011). Vid ett mer utvecklat symptom så kan det nekrotiserade sträcka sig vidare in i fruktköttet (Streif, 2011). Eftersom Lenticel blotch pit och pricksjuka är nära relaterade och utvecklas under samma förhållande borde de sorter som är känsliga för pricksjuka även vara lätt drabbas av Lenticel blotch pit.

Glasighet

Glasighet uppstår redan när frukten hänger på träden och uppstår genom att det blivit störningar i ackumuleringen av kolhydrater i frukten (Streif, 2010). De kolhydrater som bildas i bladen måste omvandlas via sorbitol till fruktos för frukten ska kunna lagra in kolhydraterna, och när denna omvandling inte sker tillräckligt snabbt så blir det en förhöjd koncentration av sorbitol (Streif, 2011). Denna förhöjda koncentration bidrar till ett högre osmotiskt tryck vilket bidrar till att vätska dras till den punkt där det är en högre koncentration av sockerarter och detta sker i utrymmena mellan cellerna som då blir vätskefyllda istället för att vara fyllda av luft (Streif, 2011). Som namnet avslöjar så ser detta nästan ut som om fruktköttet är gjort av glas då det är delvis genomskinligt (Streif, 2011). Detta behöver emellertid inte vara något stort problem då chansen är relativt stor att symptomen kommer gå tillbaka under lagringen så att vätskan och kolhydraterna går tillbaka vilket skapar balans i frukten igen (Streif, 2011). Den stora skadan uppstår när detta inte sker tillräckligt snabbt utan att vätskan gör att cellerna inte får tillräckligt med syre vilket gör att fruktköttet övergår från att vara genomskinligt till att bli brunt (Streif, 2011). Den frukt som visar upp symptom för glasighet har gemensamt att de har ett lågt innehåll av kalcium i kombination med utmärkande höga halter av kalium och magnesium (Perring, 1968). Förhållandet mellan kalcium och kväve verkar också ha en inverkan på om glasighet uppstår då äpple som uppvisar symptom generellt har en hög kvävekoncentration (Perring, 1968). Att halten kalcium i frukten är med och påverkar glasighet är inte så konstigt eftersom kalcium är med och påverkar både cellväggsuppbyggnaden och cellmembranernas funktion.

Fruktens åldrande

Senescence är en växts åldrande och när det gäller äpple så påverkar kalciumhalten hur snabbt frukten åldras och bryts ner (Perring, 1968). Det kan dock finnas en variation så det är inte säkert att ett äpple åldras markant snabbare bara för att koncentrationen är låg men i ett stort parti frukt så ökar åldrandet om medelnivån av kalciuminnehållet är lågt (Perring, 1968). Som tidigare nämnts så påverkar kalciumhalten indirekt bildandet av eten vilket är ett hormon som styr mognandet hos en frukt vilket kan vara en del i förklaringen av förhållandet mellan kalcium och åldrandet. En steg i mognadsprocessen är att frukten blir mjukare och alltså är det ett tecken på att åldrandet går långsamt om äpplet behåller sin hårdhet länge (Marschner, 1995). Eftersom kalcium är med i uppbyggnaden av cellväggarna så är det rimligt att tänka att äpplets hårdhet påverkas av kalciuminnehållet. När Neilsen et. al. (2005) undersökte detta så kom de fram till ett tvetydigt svar då hårdheten påverkades vissa år, i relation till om kalcium tillförts eller ej. Scott och Wills (1979) visar på mer entydiga svar på sambandet mellan

kalciumhalten och hårdheten då hårdheten ökade efter att kalciumkoncentrationen hade höjts genom efterskördbehandling med kalcium. Som en del i åldrandet blir äpplet mer mottagligt för svampsjukdomar och en undersökning av äpple som drabbats av *Gloeosporium* sp., en svampsjukdom som ofta utvecklas under lagring, visade att de ruttnande äpplena innehöll en lägre halt av kalcium (Perring, 1968). Detta gäller även hos de äpplen där svampen kommer som en sekundär skadegörare, till exempel vid Lenticel blotch pit (Perring, 1968). Den positiva effekten med en hög kalciumhalt kan dels bero på en hårdare cellvägg som har större motståndskraft mot svampangrepp men också på att kalcium fördröjer åldrandet av frukten vilket i sin tur minskar förekomsten av svampsjukdomar (Conway och Sams, 1983).

Metoder för att öka kalciumhalten i frukten

Behandlingar innan skörd

Det är vanligt förekommande runt om i världen att kalcium tillförs genom bladgödsling för att få en högre kalciumhalt i växtcellerna och därigenom bland annat undvika pricksjuka (Lötze, et. al., 2008). Bladgödsling innebär att gödselmedlet först löses i vatten för att sedan sprutas på bladverket eller frukten i trädet. Ämnen som kan vara aktuella vid bladgödsling med kalcium är bland annat kalciumklorid, kalciumnitrat, kalciumkarbonat, kalciumacetat, kalciumlaktat och kalciumpropionat (Schönherr, 2001). Det är dock inte alltid så enkelt att tillföra kalcium via bladgödsling. Yttre förhållanden såsom utvecklingsfas hos äpplena, vilken kemisk form av kalcium som används och väderförhållande vid gödslingen har stor inverkan på hur mycket kalcium som faktiskt tränger in i frukten (Lötze, et. al., 2008; Val et. al., 2008). Det finns stor variation i kalciuminnehåll mellan olika omgångar av provtagningar vilket ytterligare visar på komplexiteten med stora variationer och stor yttre påverkan på kalciumhalt i frukten och effekten av bladgödsling med kalciumprodukter (Lötze, et. al., 2008; Val et. al., 2008). Det gäller också att göra klart för sig vad man vill uppnå med att tillföra kalcium via bladgödsling. Handlar det om att öka den mätbara halten kalcium i frukten vid skördetillfället, så kan en viss strategi vara den mest effektiva men det är inte säkert att samma strategi är optimal om man vill minska förekomsten av pricksjuka (Val et. al., 2008; Neilsen et. al., 2005; Wilsdorf et. al., 2012).

Det framgår att Neilsen et. al. (2005) hade goda resultat i försök att förebygga pricksjuka vid användning av kalciumklorid, däremot så hade inte bladgödsling med kalciumkarbonat någon påverkan på frukten. Det är inte bara kalciumklorid som är effektivt vid tillförsel av kalcium

till växten, utan Lötze et. al. (2008) visar på att bladgödsling med kalciumnitrat också har en god förmåga att höja kalciumhalten i frukten. Däremot så har bladgödsling med kalciumacetat inte samma förmåga som kalciumnitrat att ge ökat kalciuminnehåll vid skörd (Lötze et. al., 2008). Dessa olika kalciumföreningar har olika egenskaper och framförallt så krävs det olika stor mängd vätska för att föreningarna ska lösas upp (Schönherr, 2001). Delikvescens är när en vattenlöslig kemisk förening tar upp så mycket vatten att föreningen blir mättad och flyter isär. Vätskan som tillförs kan till exempel komma från luftfuktigheten, och olika kemiska föreningar kräver då olika hög luftfuktighet för att det ska lösas upp (Schönherr, 2001). Kalciumklorid har en gräns för delikvescens vid en luftfuktighet på 32 % medan kalciumnitrat kräver 55 % luftfuktighet för att saltet ska lösas i vatten (Schönherr, 2001). För organiska föreningar med kalcium som till exempel kalciumacetat, kalciumkarbonat, kalciumlaktat, kalciumpropionat så krävs det betydligt högre luftfuktighet då punkten för delikvescens ligger på mellan 90 % och 100 % (Schönherr, 2001). Hur lätt saltet löses i vatten har stor betydelse då kalcium måste vara som joner i vätska för att ämnet ska kunna tränga in i frukten (Schönherr, 2001). För att ha större effekt av att bladgödsla med kalcium krävs det alltså att luftfuktigheten är så pass hög att saltet förblir löst i vätska under en så lång tid som möjligt. Genom att använda sig av en kemisk form av kalcium som löses upp vid en låg luftfuktighet ökar därför den tid som kalciumjonerna kan tränga in i frukten, vilket resulterar i en högre kalciumhalt i äpplet (Schönherr, 2001). Detta kan vara förklaringen på varför Lötze et. al. (2008) och Neilsen et. al. (2005) hade skiftande resultat av sina kalciumsprutningar vid användning av olika former av kalcium. Schönherr (2001) visar att tiden det tar för kalcium att tränga in i frukten minskar ju högre luftfuktighet det är. Differensen mellan den punkt för delikvescens och rådande luftfuktighet är alltså det som avgör vilken hastighet och därmed mängd kalcium som tränger in i frukten (Schönherr, 2001). Även om en organisk förening med kalcium mycket väl kan lösas upp vid en hög luftfuktighet så kommer alltid till exempel kalciumklorid eller kalciumnitrat tas upp snabbare av frukten (Schönherr, 2001). En annan nackdel med organiska föreningar av kalcium är att när de börjar kristalliseras, vid en sjunkande luftfuktighet, så bildas vita kristaller jämfört med de mer genomskinliga kristaller som bildas av till exempel kalciumklorid (Schönherr, 2001). Dock är det värt att notera att det inte är säkert att luftfuktigheten är lika hög ute i luften som i luften i äpplets absoluta närhet vilket är till fördel vid bladgödsling (Schönherr, 2001). För att ha en så hög luftfuktighet efter bladgödsling som möjligt så kan det vara bäst att spruta på sen eftermiddag för att kalciumjonerna ska kunna tränga in i frukten undre natten, när det är som högst luftfuktighet (Schönherr, 2001). För att ytterligare höja effekten av bladgödslingen kan vätnedel tillsättas

för att sprutvätskan ska fördelas jämnare över frukten och på så sätt höja inträngningshastigheten ytterligare (Schönherr, 2001). Det ska också tas i beaktan vad mer som blandas i sprutan vid bladgödsling så att kalciumjonerna inte påverkas av till exempel en fungicid, så att punkten för delikvescens höjs (Schönherr, 2001).

Generellt verkar det som att kalciumsprutningar tidigt i fruktutvecklingen är det som har störst effekt på att minska risken för pricksjuka (Neilsen et. al., 2005; Lötze et. al., 2008; Val et. al., 2008). Dock framgår det också att dessa tidiga kalciumsprutningar oftast inte påverkar kalciuminnehållet i frukten vid skördetillfället (Val et. al., 2008; Lötze et. al., 2008). En möjlig bidragande orsak till att kalciumhalten i frukten inte ökar även om kalciumsprutningar utförts ett flertal gånger tidigt på säsongen kan enligt Neilsen et. al. (2005) vara äppelns storlek vid gödslingstillfället. Tidigt på säsongen är äpplena små vilket resulterar i att endast en liten mängd kalcium kan träffa den lilla ytan på frukten, därmed är det endast en liten volym kalcium som har möjligheten att komma in i äpplet. Men med tanke på att tidiga kalciumsprutningar ändå enligt Neilsen et. al. (2005) har god effekt på pricksjuka så måste denna lilla volym kalcium som tar sig in i frukten ändå vara av betydelse. Förutom att storleken på frukten har betydelse för hur mycket sprutvätska som träffar äpplet så inverkar också vilket utvecklingsstadium frukten är i, hur lätt sprutvätskan tränger genom skalet på frukten (Schlegel och Schönherr, 2002a). Tidigt på säsongen, ungefär vid kartfallet så är hastigheten för kalcium att tränga in i frukten som högst (Schlegel och Schönherr, 2002a). Under den perioden så är äpplet täckt av både små hår och klyvöppningar där kalciumjonerna relativt snabbt tränger in (Schlegel och Schönherr, 2002b). Efterhand som äpplet växer så ersätts den hårbeklädda ytan av ett vaxskikt och klyvöppningarna försvinner och gasutbytet kommer ske genom lenticellerna vilket gör att det blir allt svårare för kalciumjonerna att tränga in i frukten (Schlegel och Schönherr, 2002b). När det närmar sig skörd av frukten så blir det lättare för kalciumjonerna att tränga in i äpplena igen, men dock inte i samma utsträckning som i början av säsongen (Schlegel och Schönherr, 2002a). Det är i samband med att antalet lenticeller ökar som genomträngningen genom skalet bli lättare (Schlegel och Schönherr, 2002b). Under denna senare del så är det också en större variation mellan olika frukter i hur mycket av kalciumjonerna som tränger igenom skalet, vilket kan bero på om sprutdropparna av slumpen träffar lenticeller eller inte (Schlegel och Schönherr, 2002b). Som jag tidigare varit inne på så har storleken på frukten också betydelse för hur mycket kalcium som tas upp av frukten, och inte bara hur lätt kalciumjonerna tränger igenom skalet (Schlegel och Schönherr, 2002a). Desto större frukten är desto större volym vätska kan träffa frukten, så

även om inte all kalcium i sprutvätskan lyckas tränga genom skalet så kompenseras det av den stora volym vätska som träffar frukten (Schlegel och Schönherr, 2002a).

Pricksjuka är kanske den sjukdom som man mest förknippar med kalciumrelaterade problem. Detta är inte så konstigt att förstå när Neilsen et. al. (2005) hade pricksjuka på 25 % av frukten i den obehandlade kontrollgruppen. Trots svårigheterna med att tillföra kalcium i rätt mängd och att få näringsämnet att tränga in i frukten så går det relativt bra att förhindra förekomsten av pricksjuka (Lötze et. al., 2008; Neilsen et. al., 2005). Både Neilsen et. al. (2005) och Lötze et. al. (2008) visar att både den kemiska formen av kalcium och vilket utvecklingsstadium som frukten befinner sig i påverkar effekten av bladgödsling för att förebygga pricksjuka. Neilsen et. al. (2005) visar att bladgödsling med kalcium tidigt på säsongen inte ger ett förhöjt kalciuminnehåll i frukten vid skörd, men trots detta så minskar antalet äpple med pricksjuka vid skörd om bladgödsling skett tidigt i fruktutvecklingen. Det är till och med så att frukt som bladgödslets med kalcium sent på säsongen innehåller relativt höga halter kalcium vid skörd men trots det så förekommer pricksjuka i större utsträckning än när kalcium har tillförts tidigt på säsongen och frukten har en relativt låg kalciumhalt vid skörd (Lötze et. al., 2008). Detta tyder på att grunden till pricksjuka läggs tidigt på säsongen och att det därför har sämre effekt att bladgödsla med kalcium sent på säsongen då skadan kanske redan är skedd, när det gäller pricksjuka (Lötze et. al., 2008).

Eftersom det både är önskvärt att ha ett högt kalciuminnehåll i frukten vid skörd samtidigt som man förebygger pricksjuka med tidiga kalciumsprutningar så kan det teoretiskt mest effektiva vara att börja med kalciumsprutningar tidigt på säsongen och med jämna intervall fortsätta med gödslingen ändå fram till skörd (Fallahi et. al., 2010). Men även om man gör detta så är det inte helt säkert att man uppnår det resultat man hoppas på. Val et. al. (2008) lyckades nämligen generellt inte höja halten kalcium inne i själva frukten trots att kalciumklorid tillfördes genom bladgödsling. Men sannolikheten för att lyckas höja halten av kalcium i frukten ökar om man bladgödslar med kalcium upprepade gånger, då det gör att effekten av bladgödsling behålls under en längre tid (Val et. al., 2008; Neilsen et. al., 2005). Som tidigare nämnts så har yttre förhållande stor betydelse på om man lyckas höja halten kalcium i frukten eller ej. Det är också rimligt att tänka att det finns sortskillnader mellan hur effektivt det är med bladgödsling med kalcium. Utför man kalciumsprutningarna under rätt förhållande så kan det vara en effektiv metod för att minska kalciumrelaterade problem.

Neilsen et. al. (2005) påstår i alla fall att bladgödsling med kalciumklorid sent på säsongen är det som har störst effekt mot kalciumrelaterade problem.

Behandlingar efter skörd

I nuläget så är det inte tillåtet med efterskördbehandlingar i Sverige. Denna typ av behandling är ändå relevant då lagstiftningen kan ändras om behov eller intresse finns. Olika försök har gjorts för att utveckla metoder för att höja kalciumkoncentrationen i frukten genom att behandla äpplena efter att det är skördade. Conway och Sams (1983) visar på olika metoder för att tillsätta kalcium efter skörd, där frukten doppas i en lösning med kalcium under tre olika förutsättningar, antingen under atmosfäriskt tryck, med ett undertryck eller med övertryck. Principen är liknande som när man sprutar kalcium på frukten, nämligen att kalciumjonerna ska tränga in i frukten och sen genom att ända på trycket runt äpplena när de ligger i lösningen med kalcium så kan upptaget av kalcium öka ytterligare (Conway och Sams, 1983). Efterskördbehandling kan användas antingen för sig själv, som den enda åtgärden mot kalciumrelaterade problem eller så kan den användas i kombination med bladgödsling med kalcium (Hewett och Watkins, 1991). För att försöka styra hur mycket kalcium som tränger in i frukten så kan olika parametrar varieras, till exempel saltkoncentrationen i den vätskan som frukten doppas i, storleken på trycket runt frukten och om äpplena sköljs av med färskvatten efter behandlingen eller inte (Scott och Wills, 1979; Conway och Sams, 1983; Hewett och Watkins, 1991; Conway och Gross, 1986). Den vanligaste kalciumformen för efterskördbehandling verkar vara kalciumklorid (Scott och Wills, 1979; Conway och Sams, 1983; Hewett och Watkins). Kalciumkloridkoncentrationen i vätskan ligger någonstans mellan 2 % och 12 %, effekten av de olika koncentrationerna har lite olika genomslag beroende på vilket tryck som råder vid behandlingen (Conway och Sams, 1983). Generellt kan man säga att ju högre koncentration i lösningen ju mer kalcium tar frukten upp, och på samma sätt kan man ordna de olika metoderna där doppning under högt tryck har störst effekt medan atmosfäriskt tryck påverkar kalciumhalten minst och undertryck ligger någonstans emellan (Conway och Sams, 1983). Om frukten spolav med färskvatten efter behandlingen har stor betydelse för upptaget av kalcium, oavsett vilken metod som används och på så sätt går det att antingen öka upptaget ytterligare genom att inte spola av frukten eller så går det att begränsa upptaget genom att spola av frukten direkt efter behandlingen med kalcium (Scott och Wills, 1979). Till skillnad från bladgödsling med kalcium där det ofta behövdes upprepade behandlingar för att få en relativt lite höjning av

kalciuminnehåll i frukten, så kan efterskördbehandling ge stor påverkan på kalciumkoncentrationen i frukten efter bara en behandling och det kan även uppkomma skador på grund av för höga saltkoncentrationer (Scott och Wills, 1979). Enligt Conway och Sams (1983) så är risken för saltskador som störst när ett förhöjt trycks används i kombination med en saltkoncentration i kalciumlösningen på över 4 %. För att lyckas komma så nära brytpunkten som möjligt där så mycket kalcium som möjligt tillsätts utan att det slår över och äpplena drabbas av saltskador så går det att välja att spola frukten efter behandling eller ej (Scott och Wills, 1979). Vid doppning under atmosfäriskt tryck tas en begränsande mängd kalcium upp och därför kan det vara bra att inte spola av äpplena efter behandlingen för att på så sätt förlänga och höja den mängd kalcium som tas upp av frukten (Scott och Wills, 1979). Vid doppning under ett högt tryck är förhållandet omvänt och det finns ett större behov av att spola av frukten efter behandling för att inte få saltskador, samtidigt så är behandlingsmetoden så effektiv att en tillfredställande mängd kalcium tas upp ändå (Conway och Sams, 1983). Hur lätt saltskador uppkommer är till viss del sortberoende då vissa sorter har en öppen fluga vilket gör att dessa frukter får saltskador då alldeles för stora mängder kalcium tas upp samtidigt som det är svårt att spola bort saltlösningen inuti flugan (Scott och Wills, 1979).

Också värt att nämna är risken för spridning av svampsjukdomar då ett stort antal äpple doppas ner i samma vätska vilket möjliggör spridning av svampen samtidigt som äpplet är fuktigt vilket ytterligare ökar förutsättningarna för infektion (Hewett och Watkins, 1983). Samtidigt så visar Conway och Sams (1983) på att genom att höja kalciumhalten genom efterskördbehandlingar så blir äpplet mer motståndskraftigt mot svampsjukdomar. Det gäller nog i alla fall att tänka på hygien vid utförandet av efterskördbehandling för att minska risken för kontamination.

Övriga metoder som höjer kalciuminnehållet i frukten

Att tillföra kalciumtiosulfat i flytande form på marken hade inte någon effekt på frukten varken genom förhöjt kalciuminnehåll eller genom minskad förekomst av pricksjuka (Nielsen et. al., 2005). Generellt så är tillförsel av olika ämnen till marken för att höja kalciumhalten i jorden för att det i sin tur ska öka upptaget av kalcium, ett ineffektivt sätt för att höja kalciumhalten i frukten (Spectrum Analytic Inc, 2010). Detta beror dels på att tillgången på kalcium i marken generellt är god på de svenska jordarna, samtidigt som den mängd kalcium

som tas upp av växten inte påverkas i så stor utsträckning även om kalciumhalten höjs i jorden (Spectrum Analytic Inc, 2010; Eriksson et. al., 2005). Dock gäller det att försöka styra så att andra näringsämnen inte konkurrerar i så stor utsträckning med kalcium, vilket kan röra sig om att undvika att tillföra magnesium eller kalium under den första tiden efter blom, då potentialen för att ta upp kalcium är som störst (Spectrum Analytic Inc, 2010; Jones et. al., 1983; Wilkinson et. al., 1963). Andra åtgärder för att ytterligare optimera det naturliga upptaget av växten kan vara av stor vikt. Det kan då handla om att ha en god vattenstatus i jorden efter blom eftersom kalciumupptaget bygger på att det finns en riklig saftström i växten. Samtidigt så kan torkstress ytterligare vara negativt då både vätska och kalcium kan dras från frukten ut i bladen vid hög transpiration, om tillräckligt med vätska inte kan tas upp via rötterna (Spectrum Analytic Inc, 2010).

Eftersom tillväxten i trädet kräver kalcium när de nya cellväggarna byggs upp så kan det uppstå en konkurrenssituation av tillgängligt kalcium mellan frukten och de vegetativa delarna (Spectrum Analytic Inc, 2010). Därför är det viktigt att ha ett träd i balans mellan vegetativ och generativ tillväxt vilket uppnås genom bland annat en balanserad beskärning och en inte alltför riklig gödsling med kväve då det genererar tillväxt (Spectrum Analytic Inc, 2010). Även om en hög vegetativ tillväxt påverkar kalciumkoncentrationen i frukten negativt så är det positivt att trädet startar växa tidigt på säsongen eftersom träden måste börja växa och bilda blad för att det ska bli genomströmning genom xylemet (Loijen, 2013 pers. medd.). Övriga näringsämnen till exempel bor, kan påverka hur trädet fungerar samt även påverka upptag av kalcium och funktionen av kalcium, vilket gör det viktigt att ha en allmän god näringsstatus i trädet för att minska risken för kalciumrelaterade problem (Raven et. al., 2005; Spectrum Analytic Inc, 2010).

Som tidigare tagits upp så är det en relation mellan rosettbladen och hur mycket kalcium som äpplena tar upp. Därför borde det vara av intresse att öka storleken och vitaliteten hos dessa blad. Det kan göras genom att följa de vanliga bladgödslingsprogram som rådgivare generellt rekommenderar. För att ytterligare få växten själv att öka kalciumhalten i frukten så kan ett sätt vara att tillgodose en god pollination av blommorna då Spectrum Analytic Inc (2010) visar på att en väl pollinerad blomma bildar ett äpple som innehåller höga halter kalcium samtidigt som äpplet har bättre förutsättningar att bli stort. Sannolikheten för en god pollination bör öka genom att tillgången på bi och humlor ökar och genom att tillgången på pollen är god till exempel genom att ha pollineringssträd av en annan sort ibland huvudsorten.

Diskussion

Det råder ingen tvekan om att kalcium i högsta grad har inverkan på fruktkvalitet många olika växtslag däribland äpple. Dock är det ganska svårt att sammanfatta och avgränsa vad kalcium är med och påverkar och vad som inte påverkas av kalciumhalten i frukten. Det är också svårt att på förväg förutspå om och hur omfattande de kalciumrelaterade problemen kommer bli för olika år. Det är också i vissa fall svårt att i efterhand dra tydliga slutsatser varför olika kalciumrelaterade problem uppstår vissa år medan samma problem inte uppstår andra år trots att det varit till synes samma odlingsåtgärder och yttre omständigheter under alla år. Detta tyder på att det är en stor mängd olika faktorer som samspelar (Val et. al., 2008). Det är också säkert att säga att vissa av dessa faktorer idag inte är helt klarlagda hur de inverkar på kalciumrelaterade problem. Det som är känt ger dock en bra grund för att få en förståelse för hur det går att öka koncentrationen av kalcium i frukten och minska de kalciumrelaterade problemen. Att till exempel känna till hur kalcium transporteras i växten är av hög relevans för att veta både hur och när kalcium ska tillföras. Både Nielsen et. al., (2005) och Spectrum Analytic Inc (2010) visar att gödsling för att höja halten av kalcium i marken för att på så sätt höja trädets upptag av kalcium, inte har någon större effekt på kalciuminnehållet i frukten. Detta är inte så konstigt då den kemiska sammansättningen i de svenska jordarna gör att tillgången av kalcium i marken vanligen är god (Eriksson et. al., 2005). Detta i kombination med att det endast är under den första tiden av utvecklingsfasen som äpplet kan ta upp kalcium från marken via xylemet borde räcka för att konstatera att tillförsel av kalcium till jorden har begränsad effekt. Dock måste det gå att öka trädets naturliga upptag av kalcium genom att optimera de yttre faktorerna. Eftersom det är vattentransport som är grunden både för transporten i växten och för att rötterna ska kunna ta upp kalciumjonerna så är det viktigt att ha rätt vattenmängd tillgängligt för trädets. Är det för mycket vatten i jorden så blir det lite syre för rötterna vilket bidrar till att de inte fungerar optimalt. Samtidigt så är det inte heller bra med för lite vätska i jorden då det hindrar transporten av kalcium upp i växten och torkstress kan också bidra till att kalcium dras ut ur frukten till de vegetativa delarna (Spectrum Analytic Inc, 2010). Det gäller alltså att ha vetskap om hur blöt jorden är så att bevattningen kan finjusteras, särskilt under den första tiden under fruktmognaden.

För att ytterligare optimera trädets naturliga upptag av kalcium gäller det att försöka öka bladarean på rosettbladen eftersom den ytan står i relation med den mängd kalcium som tas upp av frukten. Det finns säkert många råd hur man ökar bladvolymen men mycket borde

sluta vid att det handlar om att förse växten med de näringsämnen den behöver vid den tiden näringsämnena behövs. Tillförseln av näringsämnen bör därför ske efter en utarbetad plan, vilket ofta rådgivare har förslag på. På marknaden finns också en del växtstärkande medel som kan vara ett komplement till de vanliga gödselmedlen för att ytterligare öka bladvolymen. Dock gäller det att fundera över när man tillför näringen så att det inte sker så att det konkurrerar med upptaget av kalcium. Kalcium är relativt svårt för växten att ta upp via rötterna till skillnad från kalium och magnesium som tas upp lättare (Spectrum Analytic Inc, 2010). Därför är det kanske att rekommendera att undvika gödsling på marken av magnesium och kalium under den period som kalcium tas upp av rötterna och transporteras till frukten, för att minska risken för antagonism. Längre fram på säsongen tas inte kalcium upp till frukten via rötterna vilket gör att kalium och magnesium då kan tillföras vid denna tidpunkt utan att kalciumupptaget minskar.

Genom att öka trädets upptag av kalcium så kan de kalciumrelaterade problemen minskas men mest troligt aldrig undvikas helt, i alla fall inte för de sorter som är känsliga och lätt drabbas av kalciumbrist. För att höja kalciumhalten ytterligare behövs någon form av konstgjord metod för att tillför kalcium till frukten. Det kan antingen vara en metod som tillför kalcium innan skörd eller så kan kalcium tillföras efter att äpplena skördats. I Sverige är det dock inte tillåtet med så kallade efterskördbehandlingar vilket det klassas som om man tillför kalcium efter skörd. Denna metod är ändå relevant då lagstiftningen kan ändras. Dock är det inte säkert att efterskördbehandlingar är det effektivaste sättet för att tillföra kalcium. Det som är slående är i alla fall att det inte är helt entydiga svar på vilka metoder som är effektivast både innan och efter skörd. Det tyder på att resultatet av en metod avgörs hur metoden utförs på detaljnivå. För att gå djupare in på behandling innan skörd så är det parametrar som vilken kemisk form av kalcium som används och under vilken utvecklingstid som behandlingen utförs. Eftersom Neilsen et. al., (2005) påstår att bladgödsling med kalciumkarbonat inte har någon mätbar effekt samtidigt som de samtidigt påstår att bladgödsling med kalciumklorid är det effektivaste sättet för att undvika pricksjuka så är det kanske den kemiska formen av kalcium som är det mest avgörande för effekten av kalciumspritningarna. Schönherr (2001) visar att kalciumklorid är den form av kalcium som har lägst punkt för delikvoscens vilket talar för att det är det ämne som är att föredra vid kalciumspritning. Kalciumnitrat har också en relativt låg punkt för delikvoscens vilket gör att denna form också är effektiv för att tillföra kalcium via bladgödsling (Schönherr, 2005). Dessa två former är alltså att fördras om man ska bladgödsla med kalcium, eftersom dessa

ämnen lättast tränger igenom skalet och kommer in i själva fruktköttet, vilket är av stor vikt. Risken med att använda organiska föreningar med kalcium är att kalciumet endast ligger i skalet. För att ha så stor effekt som möjligt så krävs det att kalciumjonerna tränger igenom skalet och in i frukten eftersom en förhöjd kalciumhalt där kan bidra med positiva effekter och förhindra de kalciumrelaterade problemen. Det är viktigt att veta hur frukten testas för att kunna utvärdera den utförda kalciumsprutningen. Testas hela frukten med skal och allt så är det möjligt att resultatet visar på att kalciumhalten har höjts medan i själva verket så är det kalcium i skalet som bidrar till ett positivt provresultat. Detta kan resultera i en kostnad för att köpa in och sprida gödselmedel som inte har någon effekt men den största skadan är att inte få bukt på de kalciumrelaterade problemen. Oavsett vilken form av kalcium som tillförs så fungerar de bättre ju högre luftfuktighet det är. För vissa kalciumformer så ökar det hastigheten för hur snabbt kalcium tränger in i frukten och för andra kemiska former så är en hög luftfuktighet en förutsättning för att kalcium ska tas upp över huvud taget. När den varma luften kyls av under kvällen och natten så ökar den relativa luftfuktigheten eftersom den kalla luften inte kan innehålla lika mycket vatten. Som odlare kräver det lika mycket gödselmedel och tid för att bladgödsla på morgonen som att göra det på kvällen vilket motiverar att det är att föredra att göra det på kvällen då sannolikheten för kalciumupptag då ökar.

Förutom när på dagen så har det betydelse när på säsongen som bladgödslingen utförs. Som Neilsen et al., (2005) visar på så har det störst effekt mot pricksjuka att spruta med kalcium tidigt på säsongen medan om man försöker höja koncentrationen kalcium i frukten vid skörd så är det effektivast att bladgödsla så nära inpå skörden som möjligt. Det är lätt att tänka sig att för att få bäst resultat så är det bara att köra ofta igenom hela säsongen för att gardera sig. I verkligheten för odlaren är det emellertid inte så enkelt. Det kostar pengar varje gång en åtgärd ska utföras i odlingen, i detta fall så kostar både jobbet att köra över odlingen med traktor och sprutan samtidigt som gödselmedlet också kostar pengar. Hur man än vrider och vänder på det så handlar fruktodlingen om att ha ett yrke för att försörja sig eller att få ett företag att gå med vinst. Det gäller också att få ihop allt arbete så att det går att lösa rent praktiskt. Det är därför inte alltid hållbart att utföra de åtgärder som i teorin är de bästa. Som odlare får man istället utgå ifrån de problem som finns i odlingen och lägga upp en strategi efter det. Brukar det finns problem med pricksjuka så är det bästa kanske att fokusera på att köra tidigt på säsongen. Om sorterna gör att det inte finns problem med pricksjuka är det optimala att istället att göra så mycket som möjligt sent på säsongen nära inpå skörd för att höja halten kalcium i frukten och på så sätt få en produkt som är bättre i kundens ögon till

exempel genom ett längre shelf-life. Genom att utgå utifrån odlarens problem och hur omfattade dessa problem är så blir åtgärderna i proportion med problemen. Så en odlare med stora problem både bör och har utrymme för att sätta in stora åtgärder för att undvika ett problem eftersom en lösning på problemet i sin tur också kan inbringa en stor intäkt. Mindre insatser bör endast sättas in för att lösa ett mindre problem då det inte finns så stor ekonomisk vinning även om problemet löses helt. Att använda efterskördbehandlingar i kombination med bladgödsling innan skörd kan vara det effektivaste och säkraste sättet att kontrollera kalciumrelaterade problem (Hewett och Watkins, 1991). Men återigen så kostar det att utföra en extra behandling så då måste intäkterna och utgifterna jämföras för att det ska gå att avgöra om en åtgärd är ekonomiskt lönsam.

När det gäller efterskördbehandlingar så behöver man också överväga fördelarna som kan komma ut av en behandling med de risker det finns att behandla frukten. Enligt Conway och Sams (1983) så finns risken att äpplet får skador vid dopkning av äpple, både vid atmosfäriskt tryck och vid antingen ett förhöjt eller ett undertryck. Samtidigt så har denna metod potentialen att höja kalciumhalten i betydligt högre utsträckning än vad kalciumsprutningar under säsongen har. Så har man väl bestämt att en efterskördbehandling är nödvändig så finns även behovet att avgöra vilken nivå som utförandet ska läggas på. Brytpunkten borde vara när de saltskadade äpplena är färre än äpplena i kontrollen som har kalciumrelaterade problem, men med en viss marginal för att täcka kostnaderna för behandlingen. Att välja att doppa äpplena under atmosfäriskt tryck tillsammans med att spola av äpplena efteråt kan vara en åtgärd som är relativt säker men kanske inte har så väldigt stor effekt. Att istället höja trycket under behandlingen tillsammans med en ganska låg kalciumkoncentration i vätskan, under 4 %, och med en efterföljande avspolning kan vara den metod som bäst höjder kalciumhalten i frukten men ändå är relativt säker.

Slutsats

Kalcium är ett essentiellt näringsämne som behövs i cellen för att bland annat bygga upp cellväggarna. Kalcium påverkar också vissa enzyms aktivitet, samt styr genomsläppligheten genom cellmembran. Dessa funktioner gör att kalcium står i nära relation med kvaliteten hos frukten. Vid en för låg halt av kalcium i växten kan en rad olika bristsjukdomar uppstå däribland pricksjuka, lenticel blotch pit, glasighet och tidigt åldrande. Orsaken till låga kalciumhalter i frukten beror på att kalcium endast transporteras i xylemet, i kombination med att det endast sker en transport via xylemet till frukten i början av fruktutvecklingen. Hur stor denna xylemtransport är till frukten är nära relaterat till hur stor transpirationen är från rosettbladen i fruktens närhet och därmed påverkar arean på dessa blad hur mycket kalcium som frukten kan ta upp.

För att tillföra kalcium till frukten kan några olika metoder användas. Det vanligaste och kanske mest lämpliga är att bladgödsla med kalcium på frukterna så att kalciumjonerna kan tränga in i frukten. Det är viktigt vilken kemisk form av kalcium som används och kalciumklorid och kalciumnitrat ger bäst resultat medan organiska föreningar med kalcium har sämre förmåga att tränga igenom skalet. Tidpunkten på säsongen när kalciumspritningen utförs har också betydelse, för att motverka pricksjuka är det effektivast att gödsla tidigt till skillnad om kalciumhalten ska höjas i frukten, vilket är effektivast sent på säsongen. Efterskördbehandlingar är ett alternativ för att höja kalciumhalten i frukten. Äpplena doppas då i en kalciumlösning och för att variera effekten så kan trycket runt äpplena ändras samtidigt som koncentrationen av kalcium i vätskan också påverkar resultatet. Oavsett hur man behandlar frukten så är det viktigt att optimera trädets naturliga upptag av kalcium genom att främja en god vattentillgång och vitala rosettblad.

Referenser

Conway W. S. och Gross K. C., (1986) Relationship of bound calcium and inoculum concentration to the effect of postharvest calcium treatment on decay of apples by *Penicillium expansum*, *Plant disease*, Vol. 71 (1) S. 78-80

Conway W. S. och Sams C. E., (1983) Calcium infiltration of Golden Delicious apples and its effect on decay, *Phytopathology*, Vol. 73 (7) S. 1068-1071

Drazeta L., Lang A., Hall A., Volz R., Jameson P., (2003) Causes and Effects of Changes in Xylem Functionality in Apple Fruit, *Annals of Botany* Vol. 93 S. 275-282

Drazeta L., Lang A., Morgan L., Volz R., Jameson P. E., (2001) Bitter pit and vascular function in apples, *Scientia Horticulturae*, Vol. 564 S. 387-392

Eriksson J., Nilsson I., Simonsson M., (2005) *Wiklanders marklära*, Lund, Studentlitteratur

Fallahi E., Fallahi B., Neilsen G. H., Neilsen D., Peryea F. J., (2010) Effects of Mineral Nutrition on Fruit Quality and Nutritional Disorders in Apples, *Acta Horticulturae* Vol. 868

Hewett E. W., Watkins C. B., (1991) Bitter pit control by sprays and vacuum infiltration of calcium in 'Cox's Orange Pippin' apples, *Hortscience*, Vol. 26 (2) S. 284-286

Hofman P.J., (1998) Production Factors Influence Fruit Quality and Response to Postharvest Treatments, I: Coates L.M., Hofman P.J., Johnson G.I. (red), *Disease Control and Storage Life Extension in Fruit*, Canberra, Australian Centre for International Agricultural Research, S. 6-18

Jones H. G., Higgs K. H. (1985) Water movement into and out of apple fruits, *Acta Horticulturae*, Vol. 71 S. 353-359

Jones H. G., Higgs K. H., Samuelson T. J., (1983) Calcium uptake by developing apple fruits. I. Seasonal changes in calcium content of fruits, *Journal of Horticultural Science*, Vol. 58(2) S. 173-182

Lang A., Ryan K., (1994) Vascular development and sap flow in apple pedicels, *Annals of Botany* Vol. 74 S. 381-388

Lang A., Volz R. K., (1998) Spur leaves increase calcium in young apples by promoting xylem inflow and outflow, *Journal of the American Society for Horticultural Science*. Vol 123(6) S. 956-960

Loijen J, (2013-03-12) Rådgivare Äppelriket ek. för.

Lötze E., Joubert J., Theron K.I., (2008) Evaluating pre-harvest foliar calcium applications to increase fruit calcium and reduce bitter pit in 'Golden Delicious' apples, *Scientia Horticulturae* Vol. 116 S. 299-304

Marschner H., (1995) *Mineral nutrition of higher plants*, 2. ed. London, Academic Press

- Mengel K. och Kirkby E. A., (1987) *Principles of plant nutrition*, 4. ed. Worblaufen-Bern, International potash institute
- Neilsen G., Neilsen D., Dong S., Toivonen P., (2005) Application of CaCl₂ Sprays Earlier in the Season May Reduce Bitter Pit Incidence in 'Braeburn' Apple, *HortScience* Vol. 40(6) S. 1850-1853
- Perring M. A., (1968) Mineral composition of apples VIII. *-Further investigations into the relationship between composition and disorders of the fruit, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 19 S. 640-645
- Raven P., Evert R., Eichhorn S., (2005) *Biology of plants*, 7. ed. New York, W. H. Freeman and Company
- Schlegel T. och Schönherr J., (2002a) Penetration of Calcium Chloride into Apple Fruits as Affected by Stage of Fruit Development, *Acta Horticulturae*. Vol .594 S. 527-532
- Schlegel T. och Schönherr J., (2002b) Stage of development affect penetration of calcium chloride into apple fruits, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Vol. 165 S. 738-745
- Schönherr J., (2001) Cuticular penetration of Calcium salts: effects of humidity, anions, and adjuvants, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* Vol. 164 (2) S. 225–231
- Scott K. J. och Wills R. B. H., (1979) Effects of vacuum and pressure infiltration of calcium chloride and storage temperature on the incidence of bitter pit and low temperature breakdown of apples, *Australian Journal of Agricultural Research*, Vol. 30 S. 917-928
- Sharma R. R., Pal R. K., Singhd D., Singh J., Dhiman M. R. Rana M. R., (2012) Relationships between storage disorders and fruit calcium contents, lipoxygenase activity, and rates of ethylene evolution and respiration in 'Royal Delicious' apple (*Malus x domestica* Borkh.), *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* Vol. 87 (4) S. 367–373
- Simon E. W., (1978) The symptoms of calcium deficiency in plants, *New Phytologist*. Vol. 80 S. 1-15
- Spectrum Analytic Inc, (2010-03-16) *A guide to fertilizing apple trees*, http://www.spectrumanalytic.com/support/library/rf/A_Guide_to_Fertilizing_Apples.htm [2013-03-12]
- Streif J., (2010) Physiological disorders of apples and pears during storage: Water core (glassiness), *European fruitgrowers magazine*, 2010-12
- Streif J., (2011) Physiological disorders of apples and pears during storage: Bitter pi and lenticel blotch pit, *European fruitgrowers magazine*, 2011-01
- Tromp J., (1984) Diurnal fruit shrinkage in apple as affected by leaf waterpotential and vapour pressure deficit of the air, *Scientia Horticulturae* Vol. 22 S.81-87

Val J., Monge E., Risco D., Blanco A., (2008) Effect of pre-harvest calcium sprays on calcium concentrations in the skin and flesh of apples *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 31 (11) S. 1889-1905

Vang-Petersen O., (1980) Calcium deficiency of 'Cox's Orange' apple trees during the fruit growth period, *Scientia Horticulturae*, Vol 12 S. 163-168

White P. J., Broadley M. R., (2003) Calcium in plants, *Annals of Botany* Vol. 92 S. 487-511

Wilkinson B. G., (1968) Mineral composition of apples IX.*-Uptake of calcium by the fruit, *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 19 S. 646-467

Wilsdorf R. E., Theron K. I., Lötze E., (2012) Evaluating the effectiveness of different strategies for calcium application on the accumulation of calcium in apple (*Malus x domestica* Borkh. 'Braeburn') fruit, *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, Vol. 87(6) s. 565–570