



SINTEF

Rapport

Ozonbehandling av gulrøtter og moreller

Resultater fra ozonbehandling og lagringsstudie

Forfatter(e):

Solveig Uglem (SINTEF), Guro Møen Tveit (SINTEF), Atle Wibe (NORSØK), Anniken Fure Stensrud (NORSØK) og Helge Bullgård (RedOx)

Rapportnummer:

2024:00947 - Åpen

Oppdragsgiver:

FFL/JA





SINTEF Ocean AS
Postadresse:

Sentralbord: 46415000

Foretaksregister:
NO 937 357 370 MVA

Rapport

Ozonbehandling av gulrøtter og moreller

Resultater fra ozonbehandling og lagringsstudie

EMNEORD

Ozon
Teknologi
Lagringsstudie
Gulrøtter
Moreller

VERSJON

1

DATO

2024-08-30

FORFATTER(E)

Solveig Uglem (SINTEF), Guro Møen Tveit (SINTEF), Atle Wibe (NORSØK), Anniken Fure Stensrud (NORSØK) og Helge Bullgård (RedOx)

OPPDRAGSGIVER(E)

FFL/JA

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

2022/68096, Agros 204795

PROSJEKTNUMMER

SINTEF 302007393

ANTALL SIDER

25


SAMMENDRAG

Både innen produksjon av moreller (*moreller*) og gulrøtter (*Daucus carota subsp. Sativus*) er soppsykdommer som kan gi store produksjonstap en utfordring. Det er vist at behandling med ozon kan forlenge holdbarheten av ulike matvarer. I denne studien har vi undersøkt hvordan og hvor lenge moreller og gulrøtter bør behandles med ozonholdig vann. Vi har også gjennomført en lagringsstudie der vi har undersøkt hvordan behandling i ozonholdig vann påvirker kvalitetsegenskaper som smak, lukt og farge på emballerte moreller og gulrot. Studien viste at det er potensiale for å forlenge holdbarhet for både moreller og gulrøtter ved å benytte ozonert vann, men at teknologi og prosess må tilpasses produktet.

UTARBEIDET AV

Solveig Uglem

SIGNATUR


Solveig Uglem (Aug 29, 2024 11:43 GMT+2)

KONTROLLERT AV

Guro Møen Tveit

SIGNATUR


Guro Møen Tveit (Aug 29, 2024 11:44 GMT+2)

GODKJENT AV

Kirsti Greiff

SIGNATUR


Kirsti Greiff (Aug 29, 2024 14:24 GMT+2)

COMPANY WITH
MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
ISO 9001 • ISO 14001
ISO 45001

RAPPORT NR.

2024:00947

ISBN

978-82-14-07012-5

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2024-08-30	Siste versjon til gjennomlesning

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn	4
2	Mål	5
3	Metode	5
3.1	Moreller	5
3.1.1	Råvarer.....	5
3.1.2	Forsøksdesign moreller	6
3.1.3	Tillaging av ozonert vann.....	6
3.1.4	Ozonbehandling av moreller	6
3.1.5	Pakking av moreller	8
3.1.6	Lagringsstudie moreller	8
3.2	Gulrøtter	8
3.2.1	Råvarer.....	8
3.2.2	Forsøksdesign gulrøtter.....	9
3.2.3	Tillaging av ozonert vann for gulrøtter	9
3.2.4	Ozonbehandling av gulrøtter	10
3.2.5	Lagringsstudie	11
4	Resultater og diskusjon	12
4.1	Moreller	12
4.1.1	Tillaging av ozonert vann for moreller.....	12
4.1.2	Ozonbehandling av moreller	12
4.1.3	Lagringsstudie moreller	13
4.2	Gulrøtter	18
4.2.1	Tillaging av ozonert vann for gulrøtter	18
4.2.2	Ozonbehandling av gulrøtter	18
4.2.3	Lagringsstudie gulrøtter.....	18
5	Konklusjon	22
6	Litteratur.....	23

BILAG/VEDLEGG

Vedlegg A - Forholdet mellom oppløst ozon (mg/L eller ppm) redokspotensial (mV)

1 Bakgrunn

Både innen produksjon av moreller (*moreller*) og gulrøtter (*Daucus carota subsp. Sativus*) er soppsykdommer som kan gi store produksjonstap en utfordring. For gulrot er «tuppråte» hovedutfordringen og undersøkelser viser at 9 til 30 % av gulrøttene som ble tatt ut til prøver hadde tuppråtesymptomer (NIBIO 2020). Symptomene sees sjelden ved høsting, men tuppråten utvikles som oftest i løpet av de første månedene etter høsting. For moreller er det flere soppsykdommer, for eksempel monilia, bitterråte, skjeggmugg og gråskimmel, som kan gi store produksjonstap. Diverse tiltak som plastdekke eller tunnel, dryppvanning og bruk av fungicider er med på å redusere soppangrepene. Imidlertid er det i gråskimmel på moreller påvist høy grad av multiresistent mot tillatte fungicider (NLR Vest AS, 2019).

For å møte behovet for mer effektive og bærekraftige desinfeksjonsmetoder har ozonbehandling blitt anerkjent som en lovende metode. Ozon er en reaktiv form av oksygen og har dokumenterte antimikrobielle egenskaper som bekjemper ulike mikroorganismer, inkludert bakterier, sopp, protozoer og virus (Stensrud et al, 2023, Ziyaina & Rasco, 2021). En viktig egenskap ved ozon er at det er svært ustabil i både gass- og løsningsstilstand. Ozonmolekylene brytes raskt ned til frie radikaler med høy oksiderende kraft og reaktivitet (Manousaridis et al., 2005). Disse frie radikalene er i stand til å reagere raskt med målrettede mikroorganismer og organisk avfall, og deretter brytes de umiddelbart ned til ufarlige oksygenmolekyler. Ozon etterlater dermed ingen rester i maten. Dette gjør ozonbehandling til en attraktiv metode for desinfeksjon av frukt og grønnsaker uten potensielle negative konsekvenser for helse og miljø (Pandiselvam et al., 2020; Miller et al., 2013).

Behandling med ozon kan utføres ved å tilføre omgivelsene O₃-gass f.eks. i en forpakning eller i et lukket lager. Ozon kan også løses i vann for så å spraye det ozonerte vannet på det som skal renses eller ved å dyppe det som skal renses i et vannbad med ozonert vann. Ozonbehandling av frukt og grønnsaker involverer bruk av både ozonert vann og ozongass, tilpasset varierte konsentrasjoner og eksponeringstider for å oppnå maksimal effektivitet (Stensrud et al, 2023). Når frukt og grønnsaker behandles med ozonert vann, blir de enten nedsenket eller forsiktig sprøytet med vann beriket med ozon. Her varierer typisk konsentrasjoner fra 0,1 til 2 mg/L, mens eksponeringstiden ligger mellom 1 og 10 minutter. Denne metoden bidrar til en grundig desinfisering, samtidig som den ivaretar produktets integritet.

Ozonbehandling av ferske gulrøtter etter høsting har vist seg å være en effektiv metode for å redusere mikrobiell aktivitet på gulrøtter. Det er kritisk å vaske bort jorda på gulrøttene før behandling for å oppnå optimale resultater (Singh et al. 2002). I en studie utført av Singh et al. (2002), ble det påvist en betydelig reduksjon ($P < 0,05$) i antallet E. coli-bakterier på babygulrøtter ved bruk av både ozonert vann og ozongass som behandlingsmetode. Chauhan et al. (2011) viste at kombinasjonen av ozonbehandling og kontrollert atmosfærelagring hadde positive virkninger på reduksjon av mikroorganismer og vedlikehold av sensorisk kvalitet av ferskskårede gulrøtter over tid. I tillegg viste resultatene at bruk av ozon i kombinasjon med kontrollert atmosfære (CA) begrenset veksten av mikroorganismer som gjær og mugg under lagring.

Studiene på moreller viser noe mer usikre resultater. I en studie utført av Koyuncu et al., (2008) ble moreller behandlet med ozonert vann på 0,48 mg/L i 16 minutter. Studien konkluderte med at behandlingen ikke påvirket farge, fasthet eller det ytre utseendet til frukten. Samtidig opprettholdt de behandlede morellene en grønnere farge på stilkene og bedre markedsverdi sammenlignet med kontrollprøvene i løpet av en syv-dagers lagringsperiode. Zhao et al. (2023) observerte også at ozonbehandling bremsset opp nedbrytingen av moreller. Koyuncu et al., (2008) observerte ingen reduksjon i bakterieantall umiddelbart etter behandling med ozonert vann, men det ble fra den femte dagen registrert en betydelig reduksjon i gjær- og muggvekstsammenlignet med kontrollkirsebærene.

Hvordan ozon påvirker kvalitetsegenskaper som smak, lukt og farge ved lagring etter emballering er lite undersøkt (Chauhan et al, 2011). Det er rapportert at ozon kan forlenge holdbarhet på gulrot (Evrendilek og Ozdemir, 2019; Forney et al, 2007), men det har i liten grad blitt undersøkt om ozon har effekt på utvikling av sopp sykdommer ved lagring. Basert på de tilgjengelige studiene om bruk av ozon på moreller, antyder resultatene at ozonbehandling kan ha en positiv effekt på kvaliteten til moreller. Imidlertid må det bemerkes at studiene er begrensede, og det er derfor ikke mulig å konkludere dette på nåværende tidspunkt. Ytterligere forskning og undersøkelser er nødvendig for å få bedre forståelse av ozonbehandlingens effekt på moreller og for å kunne trekke mer konkrete konklusjoner.

Dette prosjektet er finansiert av FFL/JA og ble gjennomført høsten 2023 og våren 2024. Takk til Sogn Frukt og Grønt AS for moreller og Produsentpakkeriet Trøndelag for gulrøtter. Takk til begge for nyttige bidrag i planlegging og gjennomføring av forsøkene. Takk til Bendik Toldnes (SINTEF) for rigging av utstyr og ozonbehandling av gulrøtter.

2 Mål

Hovedmålet med prosjektet er å undersøke om ozonbehandling av gulrøtter før pakking og moreller etter høsting kan redusere svinn som følge av soppangrep og forlenge holdbarheten av disse matvarene. I denne rapporten presenteres resultater fra en lagringsstudie der vi har studert kvalitetseffekter ved lagring av ulike konsentrasjoner og oppholdstider i ozonert vann før pakking.

Målet har vært to-delt og denne rapporten presenterer resultater for begge delmålene.

- Å utvikle en metode for å behandle gulrøtter med ozonholdig vann før pakking
- Gjennomføre en lagringsstudie og vurdere hvordan kvalitet og holdbarhet påvirkes

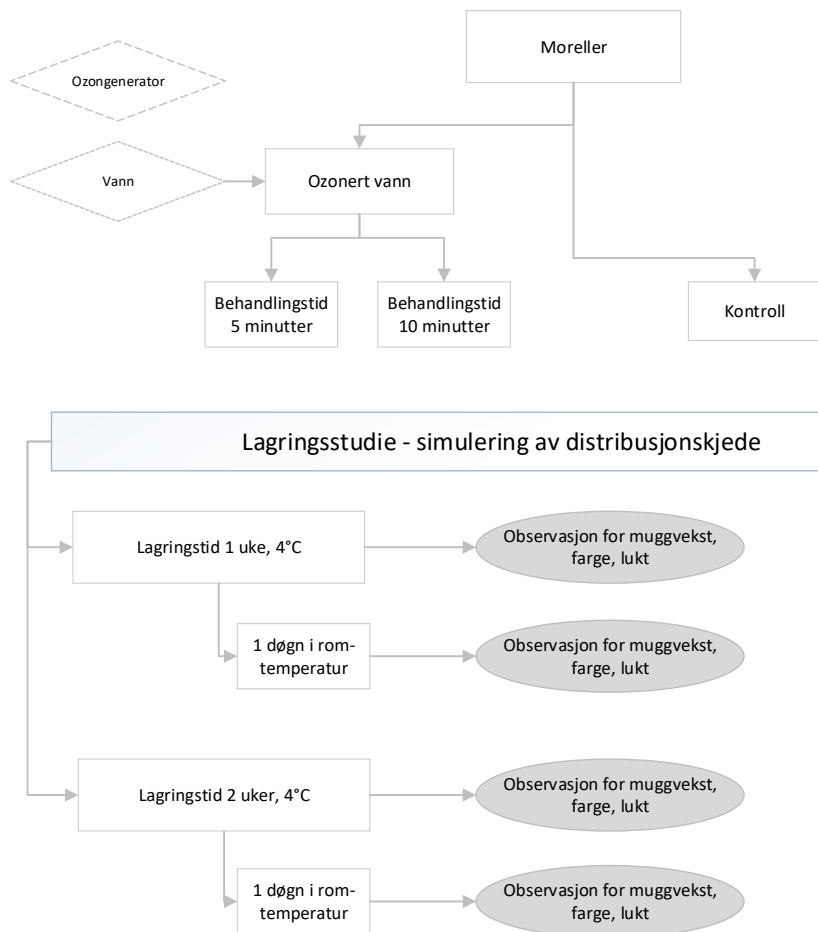
3 Metode

3.1 Moreller

3.1.1 Råvarer

Det ble benyttet moreller som var høstet og pakket av produsent. Morellene var høstet fire dager før forsøket startet og ble fraktet fra Sogn Frukt og Grønt til SINTEF i åpne perforerte plastkasser med kjølt transport. Etter ankomst SINTEF ble morellene oppbevart i de samme perforerte plastkassene på kjølerom ett døgn frem til ozonbehandlingen startet.

3.1.2 Forsøksdesign moreller



Figur 1. Figuren viser forsøksdesignet for ozonbehandlingen og lagringsstudien for moreller

3.1.3 Tillaging av ozonert vann

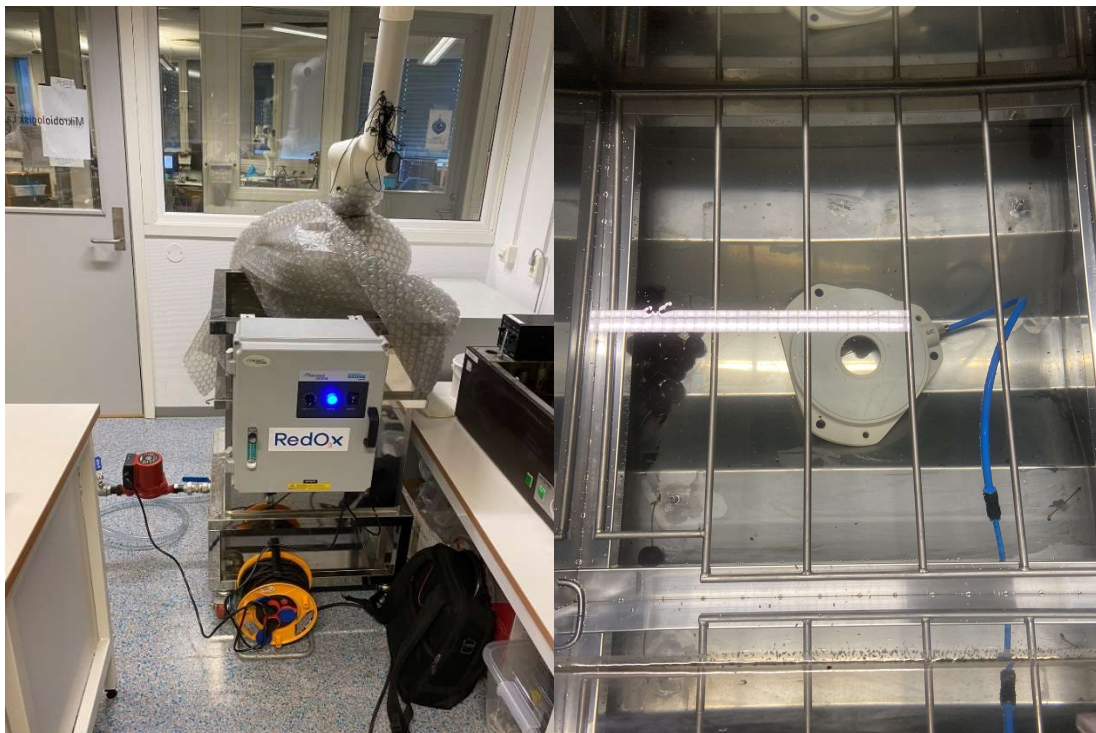
Ozonert vann ble tillaget i en ozongenerator med en diffusorstein (Faraday ozone). Dette systemet består av en ozongenerator som produserer ozon. Fra ozongeneratoren går ozonet gjennom en slange til en diffusorstein plassert i bunnen av en ozoneringstank i rustfritt stål. Generatoren produserer 15 g/ozon pr time.

3.1.4 Ozonbehandling av moreller

Vann ble fylt i ozoneringstanken og vannet ble ozonert opp i systemet til ønsket verdi og vedlikeholds-ozonert under behandlingstiden. Konsentrasjonen av ozon i vannet ble målt med et håndholdt ORP måleapparat som måler millivolt (mV) ozon ved hjelp av en portabel ozonsensor (PC 7 Vio, DOSTMANN). Temperaturen på vannet ble målt med et håndholdt termometer (Testo 925).

Moreller ble behandlet i ozonert vann i fem og ti minutter. Før nedsenking i ozonert vann ble morellene fordelt i batcher på tre kilo (tre batcher à tre kilo for hver behandlingstid, totalt seks batcher) og hver batch ble overført til trådkurver i metall. I tillegg inkluderte forsøket en kontrollbatch som ikke ble behandlet med ozonholdig vann.

For moreller som ble behandlet i 10 minutter, ble det ozonerte vannet pumpet over i en balje for de to første batchene, mens den siste batchen ble behandlet direkte i ozoneringstanken (Figur 2 og Figur 3). Baljen hadde en størrelse på 26x40x24 cm og vannstanden i baljen var 16 cm. For moreller med fem minutters behandlingstid ble trådkurven med moreller senket direkte i ozoneringstanken (Figur 2).



Figur 2. Figuren viser ozongeneratoren festet på ozoneringstanken (t.v) og diffusorsteinen i bunnen av tanken (t.h). For moreller med 5 minutters oppholdstid i ozonert vann og en av 10 minutters batchene, ble denne tanken benyttet.



Figur 3. Figuren viser baljen som benyttet for to av morell-batchene som hadde 10 minutters oppholdstid i ozonert vann. Ozonert vann ble sirkulert gjennom denne baljen fra ozoneringstanken ved hjelp av ei pumpe (se figur 2).

3.1.5 Pakking av moreller

Etter ozonbehandlingen ble morellene tørket og pakket i plastposer med hull, ca. 500 gram per pose. Posene ble plassert åpne i en trådkurv i plast og fraktet til kjølerom, slik Figur 4 viser.



Figur 4. Bildet viser hvordan morellene ble pakket og lagret på kjølerom under lagringsstudien.

3.1.6 Lagringsstudie moreller

Under lagringsstudien ble morellene oppbevart på kjølerom ved 4°C. Etter tre dagers lagring ble morellene observert for lukt, mugg, væskeslipp, skader og fargeendringer. Etter sju dagers lagringstid på kjølerom, ble morellene observert, før halvparten av morellene ble flyttet til romtemperatur. Etter ett døgn lagring i romtemperatur, ble kvaliteten på morellene som var lagret i romtemperatur observert på nytt. Moreller med kvalitetsavvik ble sortert ut og veid ved alle uttakstidspunkt.

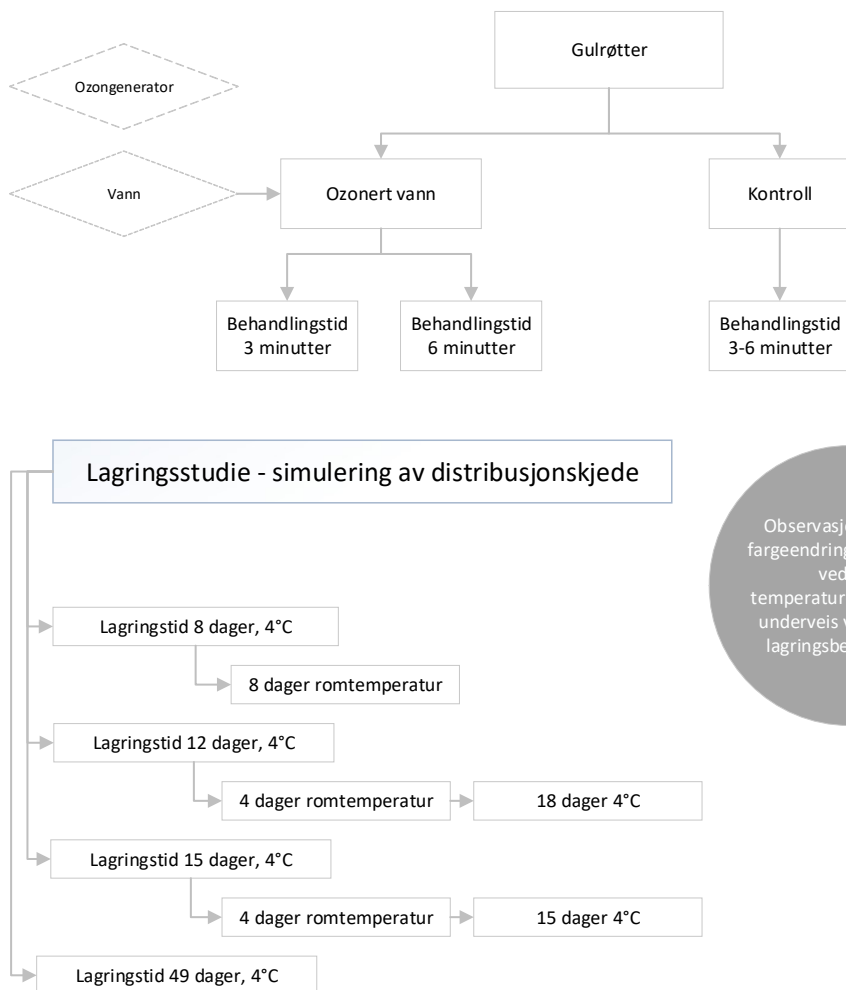
Morellene som ble lagret på kjølerom i to uker ble observert etter 8, 11 og 14 dagers kjølelagring. Morellene ble observert for lukt, mugg, væskeslipp, skader og fargeendringer. Moreller med kvalitetsavvik ble sortert ut og veid på dag 8 og 14.

3.2 Gulrøtter

3.2.1 Råvarer

Produsentpakkeriet Trøndelag AS, Frosta, bidro med 18 kg gulrøtter til forsøkene. Disse gulrøttene var høstet oktober 2023 og lå på lager fram til de ble hentet april 2024. Da ble de vasket og polert før de ble pakket i 1 kg-poser. Gulrøttene ble så transportert til REDOX AS, Averøy, for ozonbehandling.

3.2.2 Forsøksdesign gulrøtter



Figur 5: Figuren viser forsøksdesignet for ozonbehandlingen og lagringsstudien for gulrøtter

3.2.3 Tillaging av ozonert vann for gulrøtter

En rustfri stålkontainer med 200 liter vann ble tilført ozongass fra en ozongenerator (Figur 6) til ozonkonsentrasjonen i vannet var 5 mg/l. Ozonkonsentrasjonen ble målt med et instrument av typen Hack DR 300 (Figur 6).



Figur 6. Bildet til venstre viser ozongenerator, mens bildet til høyre viser måleinstrument for ozonkonsentrasjon, Hach DR300.

3.2.4 Ozonbehandling av gulrøtter

6 kg gulrøtter ble lagt i en stålkurv for så å bli senket ned i det ozonerte vannet i tre minutter (Figur 7). Tilsvarende 6 kg gulrøtter ble senket ned i det ozonerte vannet i seks minutter. For kontroll ble 6 kg gulrøtter senket ned i vann uten ozon i seks minutter. Etter behandlingen ble gulrøttene pakket i plastposer med ca. 400 gram gulrøtter i hver pose, lukket med tape, plassert i gjennomsiktige plastkasser (Figur 8) og transportert til kjølerom ved SINTEF Ocean AS, Trondheim.



Figur 7. Stålkonteiner for ozonbehandling av gulrøtter.



Figur 8. Bildet viser hvordan gulrøttene var pakket i plastposer og hvordan de ble oppbevart på kjølerom i plastkasser

3.2.5 Lagringsstudie

Under lagringsstudien ble gulrøttene oppbevart på kjølerom ved 4°C og det ble gjennomført observasjoner til ulike tidspunkt som beskrevet i Figur 5. Ved alle uttak ble gulrøttene observert for råte, skader og fargeendringer. I lagringsstudien ble ulike kombinasjoner av lagringstider og lagringsbetingelser testet for å simulere mulige distribusjonskjeder (kjølelager, butikk og hjemme hos forbrukere). Dette inkluderte både lagring i romtemperatur over lang tid og lagring på kjølelager. Noen av pakningene ble flyttet tilbake igjen til kjøleromtemperatur etter fire døgns lagring i romtemperatur slik figur 5 viser, mens andre pakninger ble oppbevart i romtemperatur i opptil åtte dager. Det er lite trolig at gulrøttene lagres i romtemperatur i åtte

dager i butikk, men det var ønskelig å undersøke ytterpunktene og få informasjon om når gulrøttene burde observeres i de øvrige simuleringene.

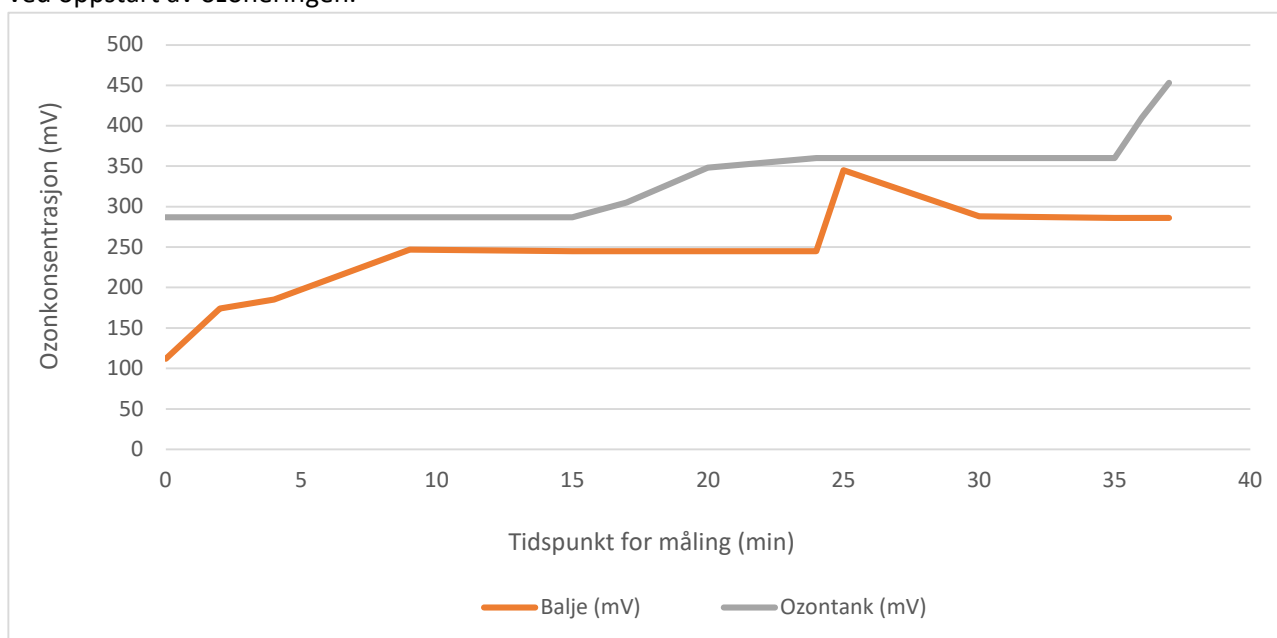
Som kontroll ble noen pakninger oppbevart på kjølerom i hele lagringsperioden for å skaffe kunnskap om hvor lenge gulrøttene kan stå på et kjølelager hos produsent etter ozonbehandling. Ved alle endinger i lagringsbetingelser ble gulrøttene observert for råte, skader og fargeendringer.

4 Resultater og diskusjon

4.1 Moreller

4.1.1 Tillaging av ozonert vann for moreller

Det tok ca. 40 minutter før ozonkonsentrasjonen (mV) i tanken var stabil (Figur 9) og ozoneringen av morellene startet. Ozonkonsentrasjonen i tanken var da ca. 400 mV og det tilsvarer en mengde på ca. <0,25 mg/L løst ozon i ozoneringstanken. For omregning fra mV til mg/L se vedlegg A. Konsentrasjonen av ozon var lavere i baljen enn i ozoneringstanken gjennom hele forsøket. Temperaturen på vannet ble målt til 20,5°C ved oppstart av ozoneringen.



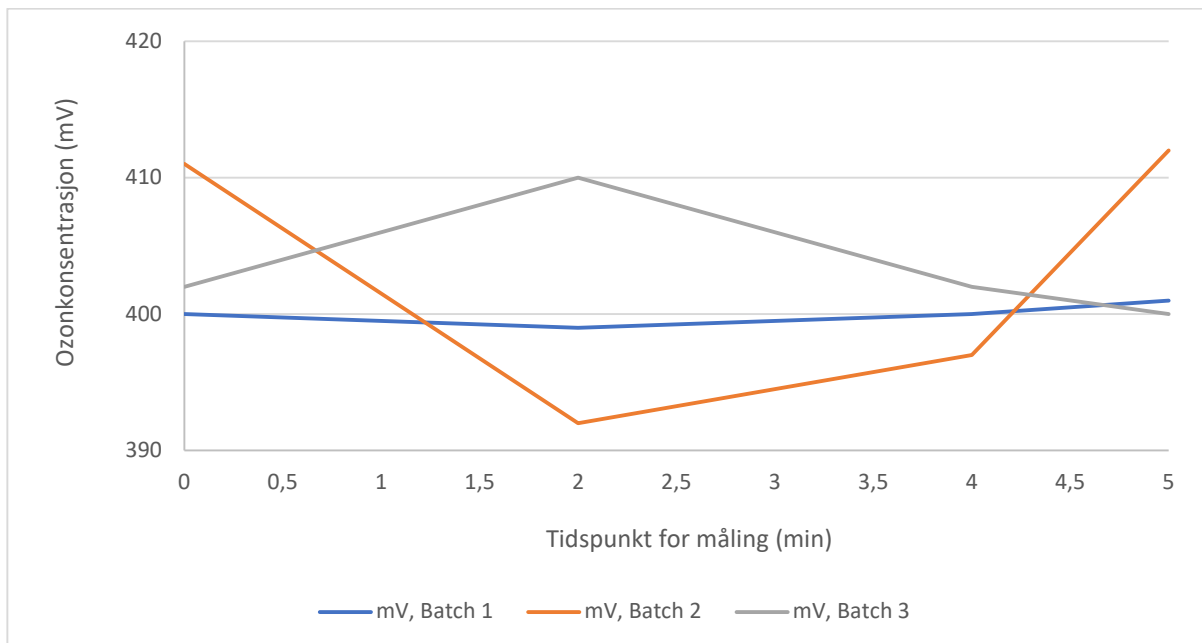
Figur 9. Figuren viser ozonkonsentrasjonen (mV) i ozoneringstanken og i baljen ved tillaging av det ozonerte vannet.

4.1.2 Ozonbehandling av moreller

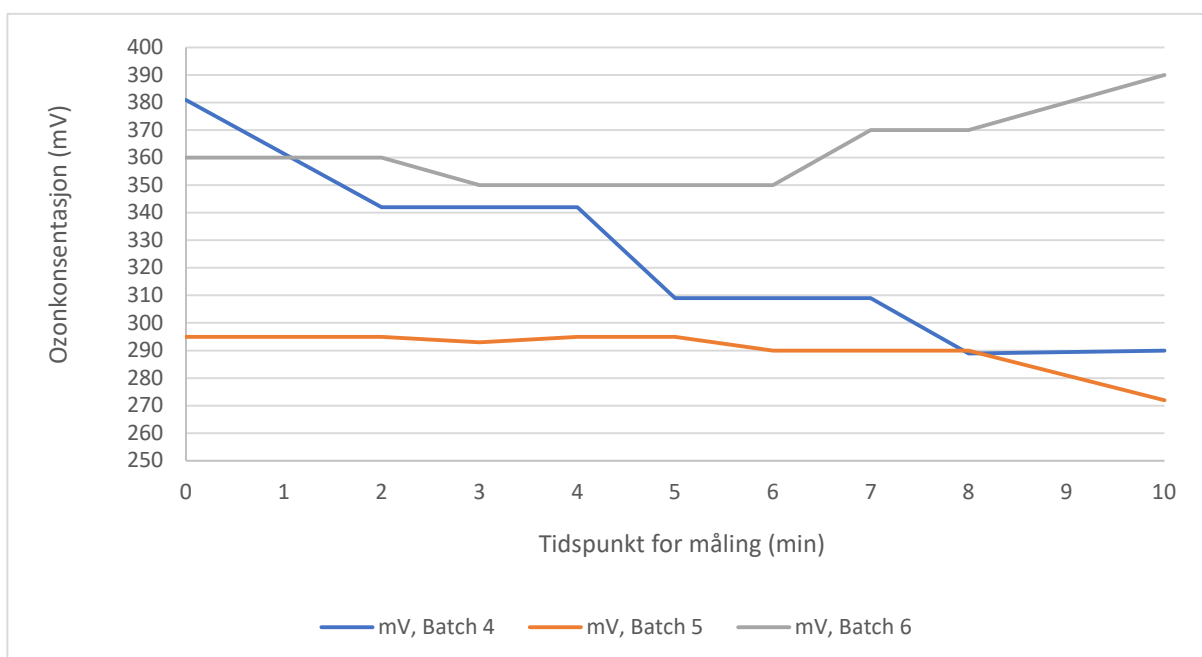
Ved overpumping til balje var det mer utfordrende å holde ozonkonsentrasjonen (mV) i vannet stabil sammenlignet med direkte i tanken, slik målingene i Tabell 1 og Figur 11 viser.

Tabell 1: Tabellen viser gjennomsnittlig ozonkonsentrasjon (mV) i vannet under behandling av morellene

Batch	5 minutter			10 minutter		
	1	2	3	4	5	6
Behandlingssted	Ozontank	Ozontank	Ozontank	Balje	Balje	Ozontank
Ozonkonsentrasjon (mV)	400,0±0,7	403,0±8,7	403,5±3,8	322,2±35,1	289,0±8,7	367,5±14,8
Mengde moreller	3 kg	3 kg	3 kg	3kg	3 kg	3 kg



Figur 10. Figuren viser ozonkonsentrasjonen (mV) i vannet under ozonering av morellene i 5 minutter. Alle batchene ble ozonert i ozontanken. Batch 1 ble ozonert først.

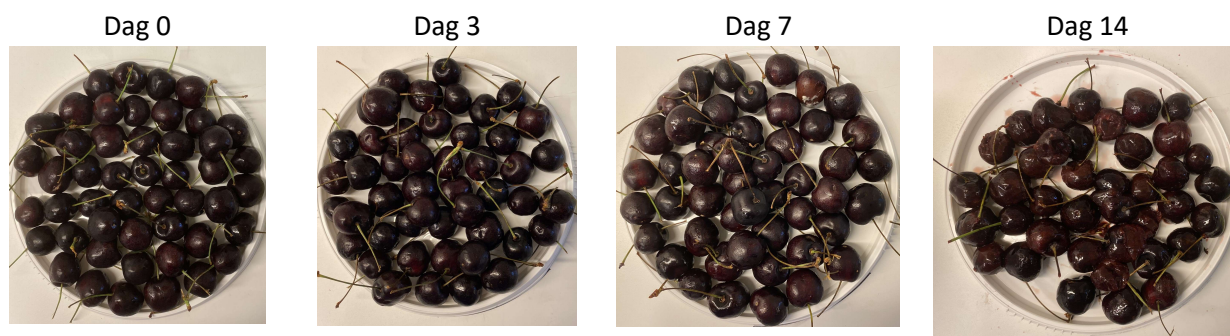


Figur 11. Figuren viser ozonkonsentrasjonen (mV) i vannet under ozonering av morellene i 10 minutter. Batch 4 var den første batchen som ble ozonert i baljen. Batch 6 ble ozonert i ozontanken.

4.1.3 Lagringsstudie moreller

Det ble ikke observert at ozonbehandlingen påvirket kvaliteten på morellene under eller rett etter behandlingen. Moreller som var behandlet med ozonert vann hadde samme farge, lukt og fasthet som kontrollen ved pakketidspunktet på dag 0 (Figur 12, Figur 13, Figur 14). Morellene som var behandlet i ozonholdig vann, virket imidlertid mer fuktige enn kontrollen og det ble også liggende igjen noe vann ved stilken på de morellene som var behandlet i ozonholdig vann. Resultatene samsvarer med en studie utført

av Koyuncu et al., (2008) der moreller ble behandlet med ozonert vann på 0,48 mg/L i 16 minutter. Studien konkluderte med at behandlingen ikke påvirket farge, fasthet eller det ytre utseendet til frukten.



Figur 12. Figuren viser utvikling gjennom lagringstiden for kontroll (kjølelaget)



Figur 13. Figuren viser utviklingen gjennom lagringstiden for moreller som ble behandlet i ozonert vann i 5 minutter (kjølelaget)



Figur 14. Figuren viser utviklingen gjennom lagringstiden for moreller som ble behandlet i ozonert vann i 10 minutter (kjølelaget)

I løpet av de tre første døgnene ble det imidlertid observert at morellene som var behandlet i ozonholdig vann «svettet» og skilte ut en burgunderrød farget væske (Figur 15). Posene ble derfor byttet daglig for å unngå vekst av mugg som følge av dette væskeslipet. Morellene pakkes normalt i papirposer med hull, men denne typen poser var ikke tilgjengelig ved gjennomføring av forsøket.



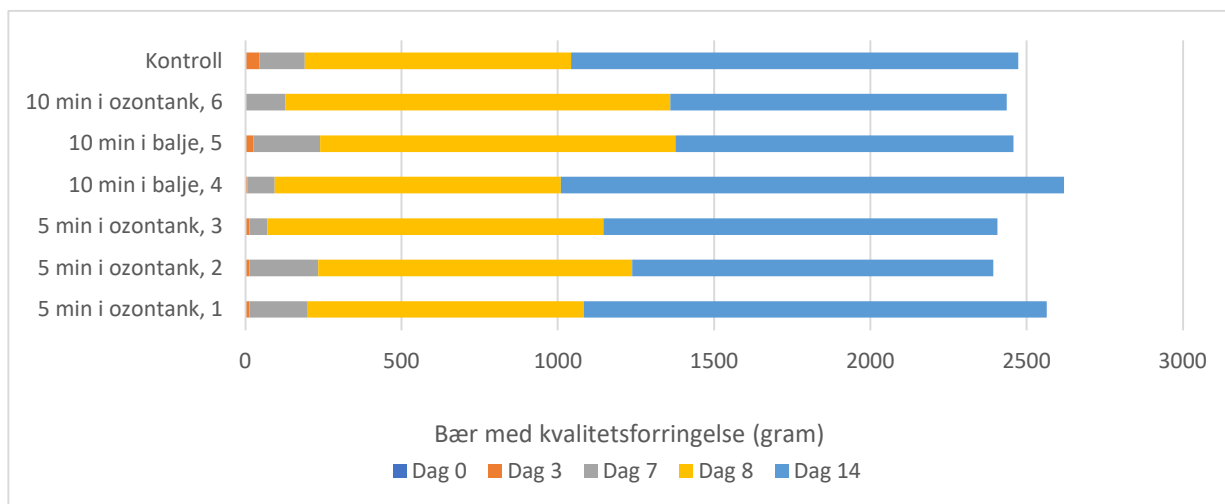
Figur 15. Figuren viser væskeslippet som dannet seg i posene under lagring for moreller som var behandlet i ozonholdig vann.

Tre dager etter pakking ble det også observert at morellene som var ozonbehandlet, hadde skader i skinnet som lignet klemskader, slik Figur 16 og Tabell 2 viser. Det ble observert noe mer skader på morellene som var behandlet i fem minutter i ozonholdig vann, sammenlignet med morellene som ble behandlet i ti minutter på dette tidspunktet. Videre gjennom lagringstiden ble det ikke observert forskjeller i andelen skadede bær mellom de to behandlingstidene i ozonholdig vann. Det samme fenomenet ble ikke observert for kontrollen før mot slutten av lagringstiden på 14 dager. Morellene som ble behandlet med ozon i fem minutter ble senket direkte ned i ozontanken hvor det var en del sirkulasjon i vannet og dette kan ha bidratt til at disse morellene raskere fikk skader i skinnet.



Figur 16. Figuren viser skade i skinnet på morell som var behandlet i ozon. Bildene er tatt etter tre dagers kjølelagring. Bildet til høyre viser også hadde begynt å utvikle seg mugg i det skadede partiet.

Det ble observert en forringelse i kvalitet gjennom lagringstiden slik Figur 17 viser. Denne forringelsen var særlig tydelig fra og med dag sju av kjølelagringen. Bær som var skadet, gjæret eller mugne ble tatt ut og veid på hver uttaksdag. På dag sju ble halvparten av bærene fra alle behandlinger flyttet over til romtemperatur og lagret ved 22,3°C i ca. 18 timer. I løpet av denne perioden gjæret alle bærene fra alle behandlinger og den delen av forsøket ble stoppet opp.



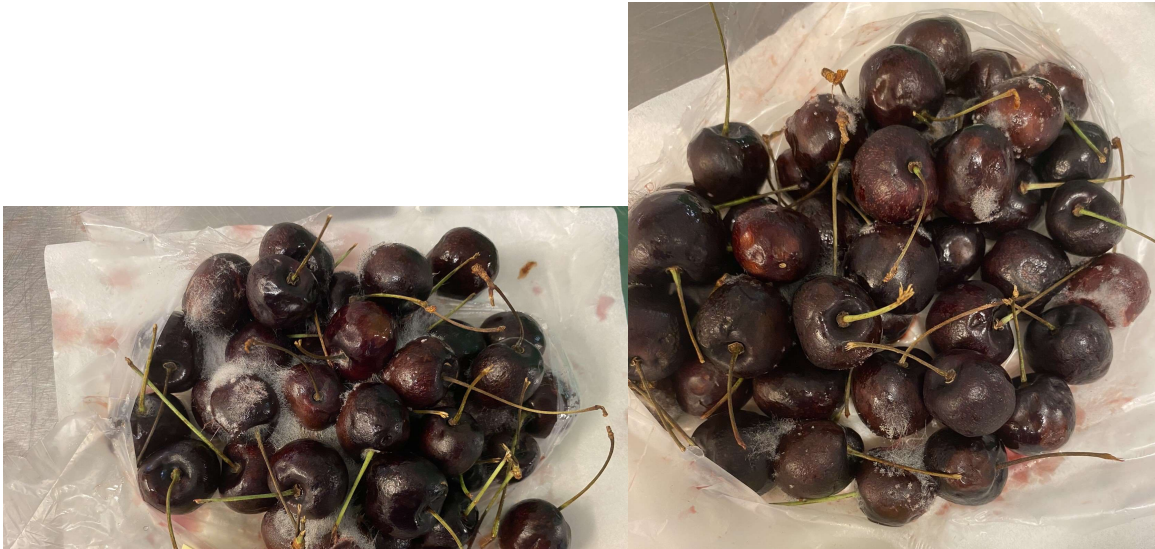
Figur 17. Figuren viser mengde bær med kvalitetsavvik (gram) på de ulike uttaksdagene for hver behandling og batch.

Helt i starten av lagringstiden (dag 3) ble det observert noe mer mugg på kontrollen sammenlignet med bær som var behandlet i ozonholdig vann. Sommeren 2023 var ifølge produsenter av moreller vært et år med mye mugg, så det er mulig at ozonet har hatt en effekt på muggvekst i starten av lagringsperioden. Etter sju dagers lagring ser det imidlertid ut som om effekten har avtatt, og på de videre uttaksdagene ser det ikke ut til å være noen systematiske forskjeller mellom de ulike behandlingene. En studie av Zhao et al. (2023) viste at ozonbehandling bremset opp nedbrytingen av moreller. Også i en studie av Koyuncu et al., (2008) der moreller ble behandlet med ozonert vann på 0,48 mg/L i 16 minutter ble det vist at de behandlede morellene opprettholdt en grønnere farge på stilkene og bedre markedsverdi sammenlignet med kontrollprøvene i løpet av en syv-dagers lagringsperiode.

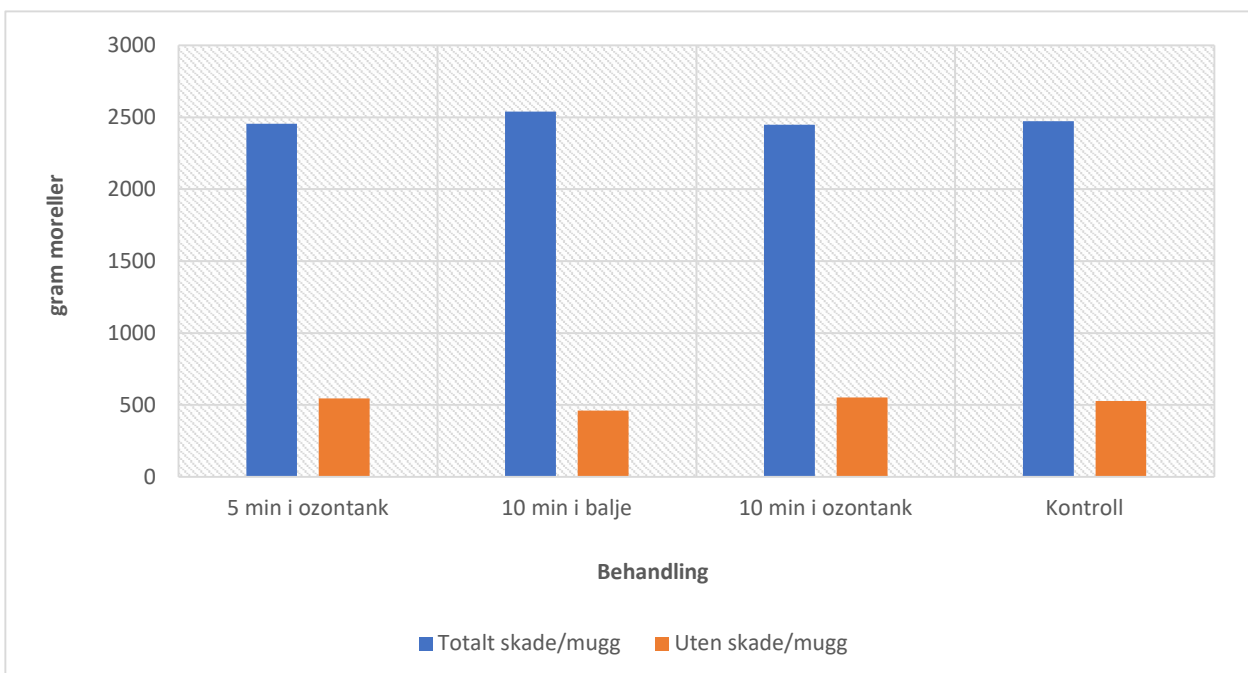
Tabell 2: Tabellen gir en oppsummering av kvalitetsparametere for de ulike behandlingene

Kvalitetsparameter	Kontroll	Ozonbehandlet, 5 min	Ozonbehandlet, 10 min
Farge	Ingen forskjeller mellom de ulike behandlingene gjennom lagringstiden	Ingen forskjeller mellom de ulike behandlingene gjennom lagringstiden	Ingen forskjeller mellom de ulike behandlingene gjennom lagringstiden
Fasthet	Fast frem til dag 11	Observert skader fra og med dag 3	Observert skader fra og med dag 3
Lukt	Søtlig og friskt av bær til og med dag 8. Noe mer lukt av mugg på dag 11 og 14	Kjemisk, søtlig og læraktig. Noe mer lukt av gjær sammenlignet med kontrollen mot slutten av lagringstiden	Kjemisk, søtlig og læraktig. Noe mer lukt av gjær sammenlignet med kontrollen mot slutten av lagringstiden
Væskeslipp	Væskeslipp observert fra dag 8	Væskeslipp observert fra dag 3	Væskeslipp observert fra dag 3
Mugg	Observert som hvite kolonier med hvitt mycel	Observert som hvite kolonier med hvitt mycel	Observert som hvite kolonier med hvitt mycel

Figur 18 viser typiske skader som medførte at morellene ble sortert ut. Figur 19 viser total mengde bær med skade, mugg eller gjær som ble plukket ut i løpet av lagringsstudien, samt bær uten kvalitetsforringelse. Det ble ikke observert noen systematiske forskjeller i mengde kvalitetsforringede bær mellom de ulike behandlingene på slutten av lagringstiden.



Figur 18. Muggvekst som medførte utsortering av moreller etter 14 dagers lagring. Moreller som var ozonbehandlet i 10 minutter til venstre, kontroll til høyre.



Figur 19. Figuren viser total mengde bær med kvalitetsavvik (gram) og mengde bær uten kvalitetsavvik ved slutten av lagringstiden (14 dager) for de ulike behandlingene (gjennomsnitt).

4.2 Gulrøtter

4.2.1 Tillaging av ozonert vann for gulrøtter

Den ønskede ozonkonsentrasjonen ble oppnådd etter ca. 30 min, og holdt seg stabil mellom 4,8 og 5,6 mg/l. Stålkonteineren med det ozonerte vannet ble satt utendørs før behandlingen. Det skyldes at ozongass som ikke umiddelbart løste seg i vannet kunne "boble" fra vannoverflaten i konteineren og blande seg i luften. Om behandlingen ble utført innendørs uten god nok ventilasjon kunne det oppstå ubehagelig høy ozonkonsentrasjon i luften.

4.2.2 Ozonbehandling av gulrøtter

Like før 3-minuttersbehandlingen lå ozonkonsentrasjonen på 4.8 mg/L. Like etter behandlingen var konsentrasjonen på 5.0 mg/L (Figur 20). Det viser at konsentrasjonen holdt et stabilt nivå under hele behandlingen. Det ble ikke observert at ozonbehandlingen påvirket kvaliteten på gulrøttene under eller rett etter behandlingen.



Figur 20. Ozon-konsentrasjonsmålinger av vannet i stålkonteiner ett minutt før (til venstre) og ett minutt etter (til høyre) 3-minuttersbehandlingen av gulrøttene.

4.2.3 Lagringsstudie gulrøtter

Gulrøtter som var behandlet med ozonert vann hadde samme farge, lukt samt omfang av råte og skader som kontrollen etter en ukes lagring på kjølerom. Resultatene er i samsvar med tidligere studier som har vist at ozonbehandling har en betydelig effekt på bekjempelse av råtesykdommer på gulrøtter (Liew og Prange, 1994; Sharpe et al., 2009).

Det ble imidlertid observert en del fukt på innsiden av posene (Figur 21), men dette gjaldt alle tre behandlingene og kan skyldes at emballasjen ikke var perforert. Gjennom lagringstiden ble det observert mer fukt på innsiden av posene for gulrøtter som ble behandlet i ozonholdig vann sammenlignet med behandlingen med bare vann.



Figur 21. Figuren viser fukt på innsiden av posene ved lagring på kjølerom.

Det ble ikke observert at behandlingen med ozon bidro til fargeendringer på gulrøttene. Gulrøttene fra alle tre behandlingene og ulike lagringsforhold beholdt en frisk oransje farge gjennom lagringstiden (Figur 22).



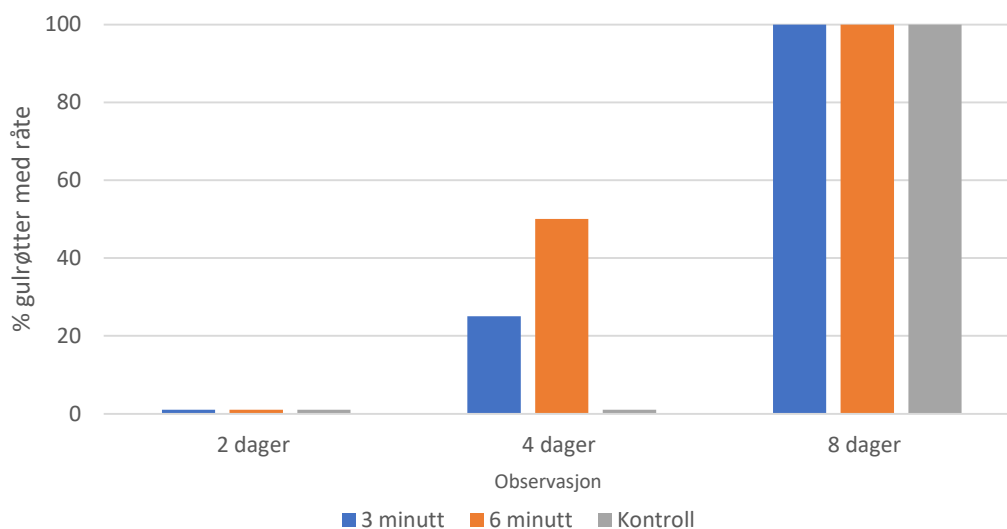
Figur 22. Bildene viser gulrøtter fra alle tre behandlingene. Poser med svart tape er kontroll, hvit tape er gulrøtter som ble behandlet i ozonholdig vann i tre minutter og rød seks minutter. Bildet til venstre viser gulrøttene rett etter uttak fra kjølerom en uke etter ozonbehandlingen, mens bildet til høyre viser gulrøttene etter fire dagers lagring i romtemperatur.

Vekst av tupprråte eller andre sopparter bidro imidlertid til svarte flekker eller gulaktig belegg på de gulrøttene som var angrepet (Figur 23). I motsetning til moreller, ble det ikke observert at ozonbehandlingen bidro til endringer i lukt.



Figur 23. Bildet viser eksempel på fargeendringer som skyldes vekst av tuppråte

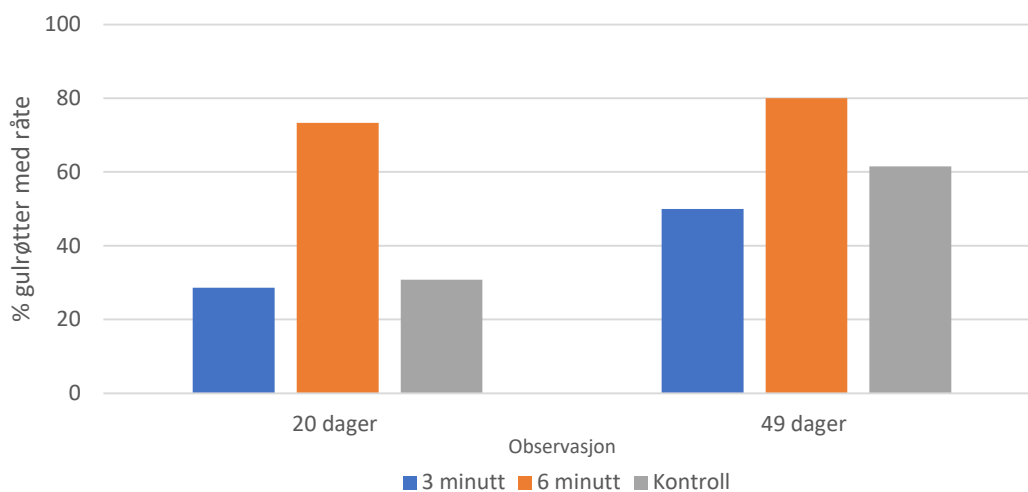
Som figur 24 viser var ingen av gulrøttene råtne etter åtte dager i 4°C og to dagers lagring i romtemperatur, mens alle gulrøttene var råtne etter åtte dager i romtemperatur. Etter fire dagers lagring i romtemperatur ble det observert råte på begge variantene som var behandlet i ozonholdig vann, men ikke på kontrollen.



Figur 24. Figuren viser utviklingen i antall (%) gulrotpakninger med råte etter åtte dager i kjølerom (4°C) etterfulgt av 2, 4 og 8 dager i romtemperatur (simulering 1). $n = 4$ for hver behandling. Blå søyler viser resultater for gulrøtter som ble ozonbehandlet i tre minutter, og tilsvarende er oransje behandlet i seks minutter. Grå er kontroll som ikke er ozonbehandlet.

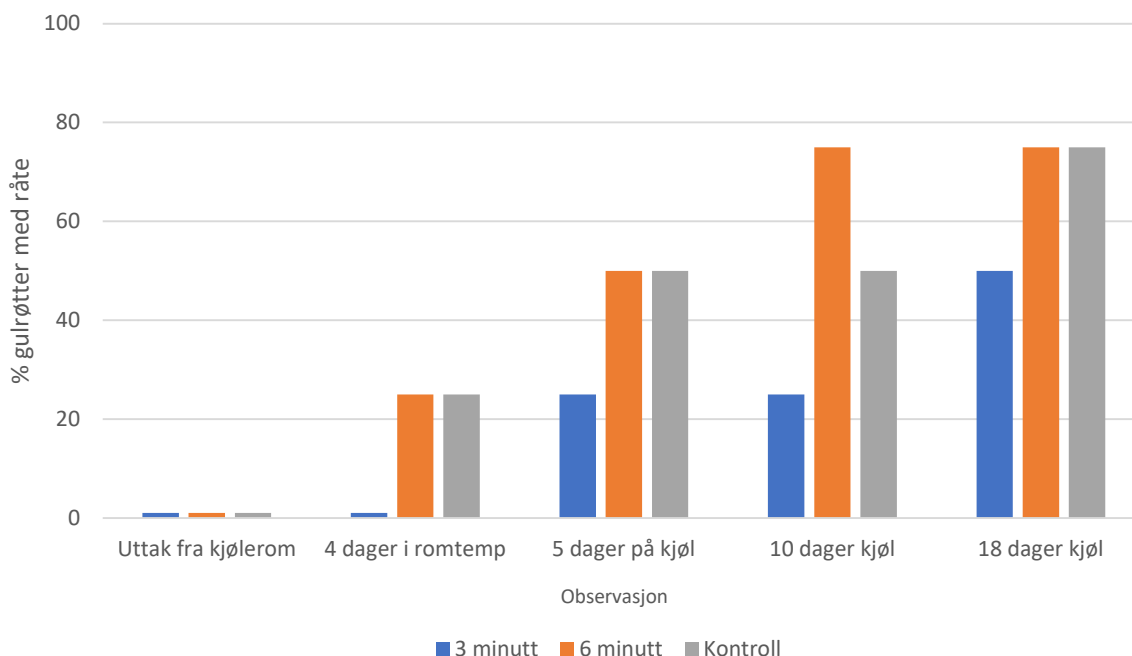
Etter 20 dagers lagring på kjølerom ved 4°C var over 70% av gulrøttene som ble behandlet i ozonholdig vann i seks minutter angrepet av råte, og etter 49 dager med samme behandling var 80% angrepet av råte (Figur 25). Det var mer vanddamp på innsiden av posene til gulrøttene som hadde vært behandlet med ozonholdig vann i seks minutter enn de som ble behandlet i tre minutter eller med bare vann. Om fuktigheten skyldes ozonbehandlingen eller at disse gulrøttene lå lengre i vann enn de to andre behandlingene er uvisst.

Gulrøtter som ble behandlet i ozonholdig vann i tre minutter hadde lavest andel gulrøtter hvor det ble observert råte gjennom hele lagringstiden.

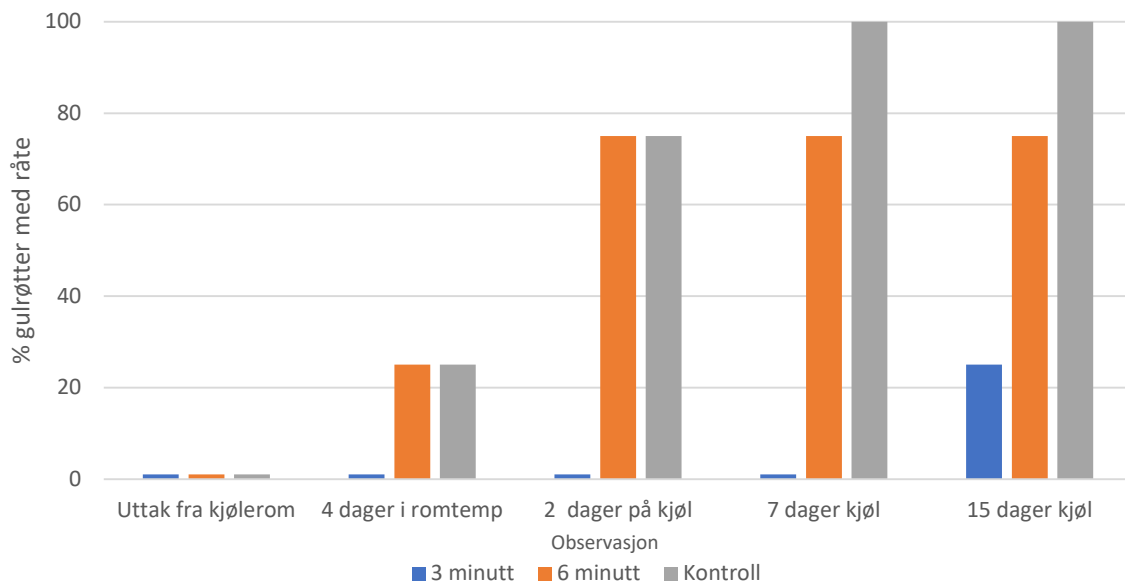


Figur 25. Figuren viser utviklingen i antall (%) gulrotpakninger med råte som ble oppbevart på kjølerom (4°C) inntil 49 dager (simulering 5). $n = 14$ for hver behandling. Blå søyler viser resultater for gulrøtter som ble ozonbehandlet i tre minutter, og tilsvarende er oransje behandlet i seks minutter. Grå er kontroll som behandlet med bare vann.

Resultatene fra de ulike simuleringene indikerer at ozonbehandling i tre minutter har effekt på utvikling av tuppråte over tid (Figur 26 og Figur 27). Effekten ser imidlertid ut til å være størst dersom gulrøttene har vært lagret en periode på kjølerom før de flyttes over i romtemperatur.



Figur 26. Figuren viser utviklingen i antall (%) gulrotpakninger med råte for hvor det ble simulert en distribusjonskjede med 12 dager i kjølerom (4°), fire dagers lagring i romtemperatur etterfulgt av 5, 10 og 18 dager i kjølerom (simulering 2). $n = 4$ for hver behandling. Blå søyler viser resultater for gulrøtter som ble ozonbehandlet i tre minutter, og tilsvarende er oransje behandlet i seks minutter. Grå er kontroll som er behandlet med bare vann.



Figur 27. Antall (%) gulrotpakninger med råte etter ulik lagringstid. I denne simulering ble gulrøttene lagret på kjølerom (4°) i 15 dager før de ble flyttet til romtemperatur for fire dager. Deretter ble de lagret på nytt i kjølerom inntil 15 dager (simulering 4). n = 4 for hver behandling. Blå søyler viser resultater for gulrøtter som ble ozonbehandlet i tre minutter, og tilsvarende er oransje behandlet i seks minutter. Grå er kontroll som er behandlet med bare vann.

5 Konklusjon

For moreller ble det observert at bærene som var ozonbehandlet, hadde skader i skinnen som lignet klemskader. Skadene medførte et væskeslipp fra morellene som hadde negativ innvirkning på kvaliteten og lagringsstabiliteten. For gulrøtter derimot var resultatene mer lovende og indikerer at ozonbehandling i tre minutter kan ha effekt på å hindre utvikling av tuppråte på vaskede og polerte gulrøtter over tid. Effekten ser imidlertid ut til å være størst dersom gulrøttene har vært lagret en periode på kjølerom før de flyttes over i romtemperatur.

Det virker som om ozonbehandlingen i større grad påvirket kvaliteten på morellene selv ved lav ozonkonsentrasjon, ved at både utseende og lukt ble påvirket. Den samme effekten ble ikke observert på gulrøtter selv etter behandling med mer enn 10-ganger høyere ozonkonsentrasjon. Resultatene antyder at ozon påvirker ulike produkter ulikt og at mer forskning trengs for å kartlegge hvilke produktgrupper som tåler ozonbehandling og hvordan kvaliteten påvirkes. Ved langtids kjølelagring etter behandling ser gulrøttene ut til å tåle høy ozonkonsentrasjon uten at kvaliteten forringes. Det gjør at de kan være godt egnet for slik behandling. Imidlertid må eksponeringstid, ozonkonsentrasjon og lagringstid optimaliseres for å få full effekt.

6 Litteratur

Chauhan, O. P., Raju, P. S., Ravi, N., Singh, A., & Bawa, A. S. (2011). Effectiveness of ozone in combination with controlled atmosphere on quality characteristics including lignification of carrot sticks. *Journal of Food Engineering*, 102, 43-48.

Evrendilek GA & Ozdemir P (2019). Effect of various forms of non-thermal treatment of the quality and safety in carrots, *LWT – Food science and technology*, 105, 344-354

Forney, C. F., Song, J., Hildebrand, P. D., Fan, L., & McRae, K. B. (2007). Interactive effects of ozone and 1-methylcyclopropene on decay resistance and quality of stored carrots. *Postharvest Biology and Technology*, 45, 341-348

Koyuncu, M. A., Seydim, A. C., Dilmaçunal, T., Savran, H. E., & Taş, T. (2008). Effects of different precooling treatments with ozonated water on the quality of '0900 Ziraat' sweet cherry fruit. *Acta Horticulturae*, 795, 831-836.

Liew, C. L., & Prange, R. K. (1994). Effect of ozone and storage temperature on postharvest diseases and physiology of carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119, 563-567.

Manousaridis, G., Nerantzaki, A., Paleologos, E. K., Tsiotsias, A., Savvaidis, I. N., & Kontominas, M. G. (2005). Effect of ozone on microbial, chemical and sensory attributes of shucked mussels. *Food Microbiology*, 22(1), 1-9

Miller, F. A., Silva, C. L. M., & Brandão, T. R. S. (2013). A review on ozone-based treatments for fruit and vegetables preservation. *Food Engineering Reviews*, 5(2), 77-106.

Nibio (2020). "Identifikasjon av årsaker og tiltak for å redusere tap i norsk gulrotproduksjon som følge av tuppråte – RootCause". Lastet ned 11.08.2022

NLR VEST (2019) <https://vest.nlr.no/fagartikler/frukt-og-baer/baer/vest/hoy-resistens-motgraskimmelmiddel-i-morellfelt> Ziyaina, M., & Rasco, B. (2021).

Pandiselvam, R., Kaavya, R., Jayanath, Y., Veenuttranon, K., Lueprasitsakul, P., Divya, V., ... & Ramesh, S. V. (2020). Ozone as a novel emerging technology for the dissipation of pesticide residues in foods—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 38-54.

Sharpe, D., Fan, L., McRae, K., Walker, B., MacKay, R., & Doucette, C. (2009). Effects of ozone treatment on *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum* in relation to horticultural product quality. *Journal of Food Science*, 74, M250-M257.

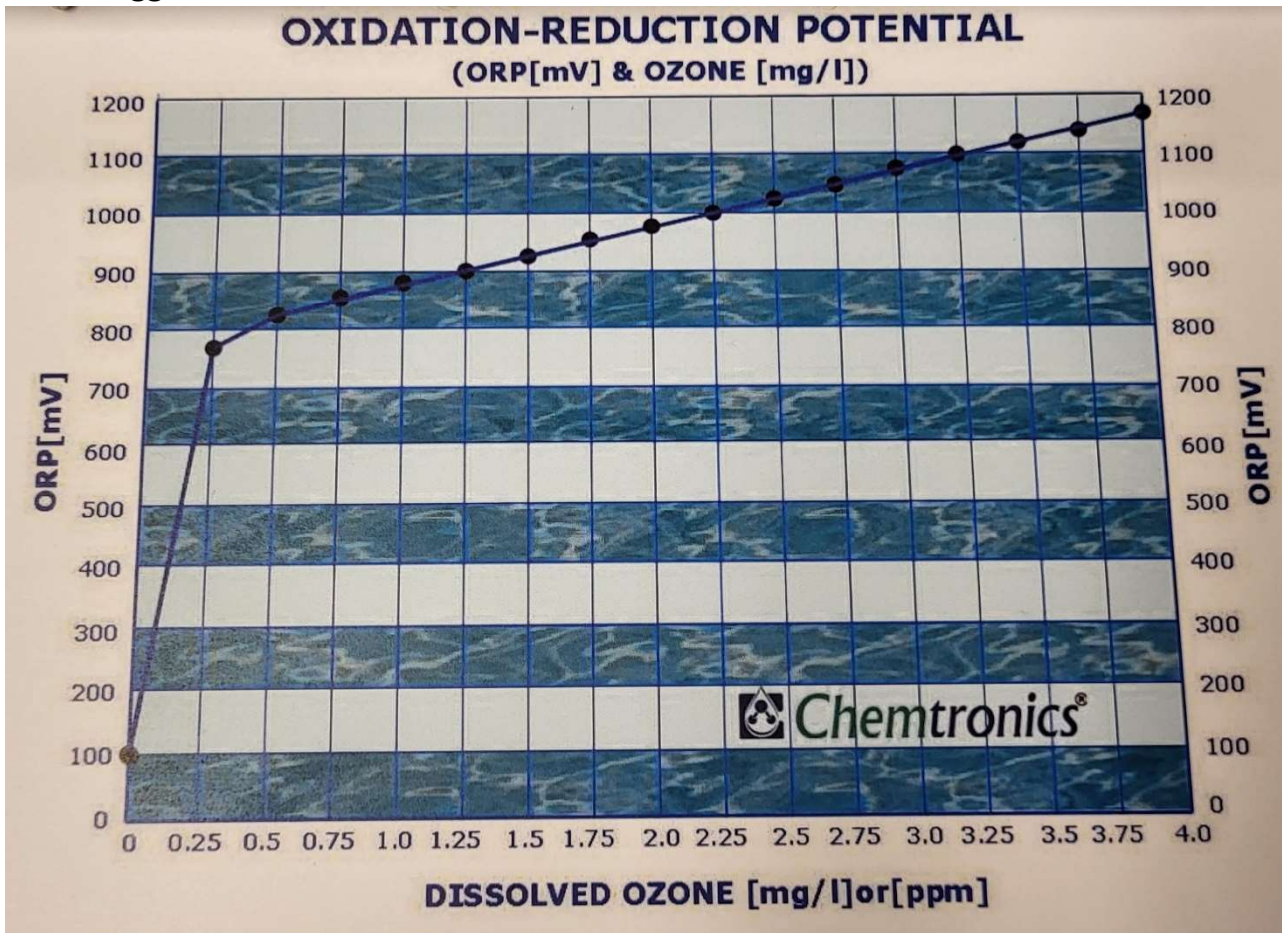
Singh, N., Singh, R. K., Bhunia, A. K., & Stroshine, R. L. (2002). Efficacy of chlorine dioxide, ozone, and thyme essential oil or a sequential washing in killing *Escherichia coli* O157: H7 on lettuce and baby carrots. *LWT-Food Science and Technology*, 35(8), 720-729

Stensrud, AF., Wibe, A., Tveit, GM., Uglem, S. (2023). Ozon mot soppangrep på emballert gulrot og sorterte moreller. *NORSØK Faginfo nr 5*, volum 8

Zhao, Y., Hou, Z., Zhang, N., Ji, H., Dong, C., Yu, J., ... & Guo, H. (2023). Application of proteomics to determine the mechanism of ozone on sweet cherries (*Prunus avium* L.) by time-series analysis. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1065465.

Ziyaina, M., & Rasco, B. (2021). Inactivation of microbes by ozone in the food industry: A review. *African Journal of Food Science*, 15(3), 113-120.

A Vedlegg



Figur 1. Forholdet mellom oppløst ozon (mg/L eller ppm) redokspotensial (mV) for omregning som henvist i seksjon 3.1.4.