

Enzymatisk og ikke-enzymatisk brunfarvning af frugt og grøntsager

Indhold

Introduktion.....	2
Ikke-enzymatisk brunfarvning	2
Enzymatisk brunfarvning	2
Formål	3
Metode	4
Resultater	4
Visuelle observationer	5
Minolta spektrofotometri	7
NMR-spektroskopi.....	9
Diskussion.....	10
Æbler.....	10
Kartofler	12
Konklusion.....	1413
Referencer	14

Introduktion

Brunfarvning betegner flere rækker af kemiske reaktioner, som resulterer i ændring af farve og smag på fødevarer. Denne reaktion kan både have en positiv og negativ påvirkning af fødevarerens kvalitet. Brunfarvning i fødevarer kan opdeles i enzymatisk-brunfarvning og ikke-enzymatisk brunfarvning.

Ikke-enzymatisk brunfarvning

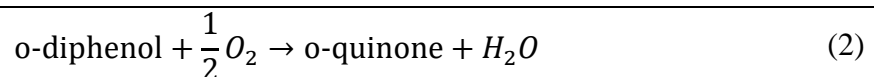
Maillard reaktionen er den ikke-enzymatiske brunfarvning. Maillard reaktionen er en reaktion med flere forskellige trin, og hvor mange forskellige reaktioner, samt molekyleomlejninger, herunder amadoriprodukter finder sted. Amadoriprodukter er intermediater i Maillard reaktionen. Reaktion kan inddeles i tre hovedtrin og sker ved temperaturer mellem 80 og 150°C, dermed sker denne reaktion oftest under bagning eller stegning af fødevarer. Dog vil reaktionen også forekomme under lagring, men her forløber reaktionen meget langsomt. Under første trin reagerer et reducerende sukkermolekyle med en aminosyre og danner en imin, også kaldet en schiff-base ($\text{RHC}=\text{NHR}'$). Denne kan cykliseres og danner vand samt en ustabil N-substitueret glycosalamin. Schiff-basen kan også gennemgå en reversibel reaktion, som kaldes amadori-omlejring, og derved danner et amadori intermediat. Andet trin af reaktionen, er meget mere omfattende, da en lang række forskellige reaktioner, herunder dehydreringer, spaltning af saccharidkæder og strecker-nedbrydninger af nogle af produkterne. Amadori intermediatet gennemgår således betydelig transformation, og danner en kompleks blanding af produkter og mellemprodukter. I det tredje trin reagerer maillard mellemprodukterne, såsom amadori intermediatet til heterocykliske aromastoffer, smagsstoffer og farvestoffer, der fører til fødevarerens typiske smag, duft og udseende. Et af produkterne fra Maillard reaktionen er melanoidiner, som giver fødevarer den brune farve. Melanoidiner er en samlet betegnelse for diverse polymerer, der alle indeholder aromatiske ringe samt konjugerede dobbeltbindinger, men varierer i form af farve, nitrogenindhold, molekylvægt og opløselighed. (Damodaran and Parkin, 2017, Everts, 2012)

Enzymatisk brunfarvning

I fødevarer er det enzymer, som polyphenol-oxidaser, der er skylden i den enzymatiske brunfarvning. Denne reaktion anses for at være uønsket for de fleste frugt- og grøntsagsprodukter.

Reaktionen påbegyndes når de phenoliske forbindelser og polyphenoloxidaser, der findes i fødevarer, kommer i kontakt med ilt. Dette kan ske ved en fysisk behandling af fødevarer såsom skrælning eller udskæring.

Reaktionen kan opdeles i to trin. I første trin sker der en hydroxylering af monophenol hvorved der dannes o-diphenol og vand. Herefter vil o-diphenol reagere med ilt og oxideres til o-quinonerne. Efterfølgende vil o-quinonerne igennem kondensationsreaktioner danne de brune farvepigment melanin. Det vil sige at det er ikke den enzymatiske funktion i sig selv, der danner den brunlige farve, men derimod er det de efterfølgende omdannelser af o-quinonerne. Reaktionen ses nedenfor. (Damodaran and Parkin, 2017)



Hastigheden af den enzymatiske brunfarvning er afhængig af enzymets aktivitet. Hermed findes flere metoder til hvordan man kan forhindre eller forsinket reaktionen. Det ønskes at hæmme enzymaktiviteten og dette kan bl.a. gøre temperaturændringer eller ved kemiskindgreb hvor pH-værdien ændres. Et enzym er temperatur- og pH-afhængig, idet de har et optimum hvorved de har højest aktivitet. Hvis temperatur eller pH er for langt fra optimummet, vil der ske en reversibel eller irreversibel denaturering af enzymet, som resulterer i et inaktivt enzym. Dette er eksempelvis grunden til, at man tilsætter citronsaft til æbleskiver. Citronsaften sænker pH, hvorved enzymaktiviteten mindskes og dermed sker den enzymatiske brunfarvning ikke. (Damodaran and Parkin, 2017)

Formål

Del 1. Enzymatisk brunfarvning af æbler.

Formål med øvelsen er at undersøge den enzymatiske brunfarvningsreaktion af æbler med forskellige betingelser af opbevaring ved hjælp af CIE.

Del 2. Sukkerstigning i kartoffel ved lav opbevaringstemperatur og kvalitet til chips.

Formål med øvelsen er at undersøge effekten af kartoflers sukkerindhold på ikke-enzymatiske brunfarvningsreaktioner ved hjælp af NMR og et refraktometer.

Metode

Del 1. Enzymatisk brunfarvning af æbler

Æblerne blev skåret i skiver og lagt i seks forskellige bølter som indeholdt hhv. vand, 1% ascorbinsyre, 1% CaCl_2 , 1% ascorbinsyre og 1% CaCl_2 , kogende vand og en bølte uden indhold. Denne sidste bølte var kontrollen. Æblerne lå i opløsningen natten over. Efterfølgende blev Minolta værdierne målt og resultaterne noteret.

Del 2. Sukkerstigning i kartoffel ved lav opbevaringstemperatur og kvalitet til chips

Til øvelsen blev kartofler, som blev opbevaret ved to forskellige temperaturer, brugt. Den ene var opbevaret ved stuetemperatur mens den anden var opbevaret ved 2 °C. Kartofflen blev skrælet og den ene del blev revet og benyttet til NMR, mens den anden del blev skåret og benyttet til Minolta.

NMR:

500 mg revet kartofler blev overført til et 2 mL Eppendorff rør, samtidig blev der overført PBS i forholdet 1:2. Eppendorff røret blev mixet i 1 minut i en vortexmixer og efterfølgende centrifugeret ved 10,000g i 10 minutter. Supernatanten (*væsken der ligger over en udfældning efter en centrifugering*) blev overført til nye Eppendorff rør og centrifugeret yderligere i 5 minutter ved 10,000g. Til sidst blev 500 μL af supernatanten overført til NMR rør og her blev 100 μL af D_2O (5 mM TSP) også overført til NMRrøret.

Minolta spektrofotometer:







To skiver af hver type af kartoflerne blev skåret i en tykkelse 1 mm. En skive af hver type kartoffel blev stegt i 2 minutter ved 160-190 °C, og de to andre skiver blev stegt i 4 minutter. Bagefter blev farven målt med Minolta og resultaterne noteret.

Resultater

Udover at have målt Minolta værdierne på de seks forskellige behandlede æbleskiver og fire forskellige behandlede kartoffelskiver, blev der taget billeder af dem hver især for at lave en visuel sammenligning.

Visuelle observationer



Tabel 1: Visuelle observationer af æbler under forskellige forarbejdninger.




Rangering	Behandling	Billede	Visuelle observationer
1	Ascorbinsyre (1%) + CaCl_2 (1%)		Dette æble så helt frisk ud både i skrællen og i den centrale midte.
2	Ascorbinsyre (1%)		Dette ligner en helt frisk æbleskive, både i skrællen og i den centrale del af æblet.
3	CaCl_2 (1%)		Æblet opbevaret i CaCl_2 så meget frisk ud, på trods af at billedet ikke helt giver samme fornemmelse.
4	Kontrol		På kontrolæblet kunne man begynde at se brunlige områder, dog ikke nær så meget som prøverne med vand og kogende vand. Skrællen så pænt rød og frisk ud.
5	Kogende vand		Æblet der har været i kogende vand så på ingen måde indbydende ud. Den var meget brun og konsistensen var meget blød.
6	Vand		Dette æble har tydeligt indgået i en brunfarvningsreaktion, idet den centrale del af æblet har opnået en brunlig farve. Konsistensen af æblet var blød og slet ikke sprød som et frisk æble.

Gruppen har lavet en rangering af æbleskivernes visuelle udtryk fra 1-6, hvor 1 angiver æblet der så mest indbydende ud, mens nummer 6 angiver æblet der er mest brunt. Denne rangering ses i tabel 1, som desuden også angiver den visuelle beskrivelse af æblet.

Æblet, som har lagt i vand, er det meste brun ud af de 6 forskellige behandlede æbleskiver. Herefter kommer æbleskiven som har været udsat for kogende vand. Kontrol æbleskiven ligger tæt op ad æbleskiven i kogende vand, men kontrollens skræl så mere frisk ud, hvilket gør, at kontrollens brunning vurderes til at være mindre. Æbleskiven behandlet med CaCl_2 blev rangeret som nummer 3, da den mindre brun ud end kontrollen. Æbleskiven der blev behandlet ascorbinsyre (1%) var også mindre brun end kontrollen og rangeres som nr. 2. Gruppen mente, at æblerne rangeret som nummer 2 og 3 var meget ens i den visuelle observation, men at behandlingen med ascorbinsyre (1%) gav et æble med et mere friskt udtryk. Æbleskiven, der var behandlet med ascorbinsyre (1%) + CaCl_2 (1%) så mest indbydende ud, da den visuelle brunfarvning ikke var til stede. Derfor lignede æblet et helt frisk og ny skåret æble på farven af skrællen og selve æblet.

Tabel 2: Visuelle observationer af en kølet og en ikke kølet kartoffel tilberedt i hhv. to og fire minutter, samt en ubehandlet kartoffel. De behandlede kartofler var tilberedt ved 180 °C i en friture.

Nr.	Behandling	Billede	Visuelle observationer
1	Kontrol		Ubehandlet og meget lys kartoffel.
2	Ikke kølet 2 min.		Kartofflen har et mildt gyldent udtryk, som er meget ensartet over hele kartofflen.

3	Kølet 2 min.		Kartofflen er gylden i midten og mere brunlig i kanten. Skrællen er blevet meget mørkebrun.
4	Ikke kølet 4 min.		Kartoffelskiven har en ensartet brunlig farve samt en mørkebrun kant.
5	Kølet 4 min.		Kartoffelskiven har en jævn mørkebrun farve hvilket giver et næsten brændt udtryk. Kanten er meget mørk.

Ud fra de visuelle observationer i Tabel 2 er kontrolkartofflen den lyseste af de fem kartofler. Herefter kommer nr. 2, som er den ikke-afkølede kartoffel, der har været stegt i to minutter. Kartofflen nr. 3 som har været kølet og stegt i to minutter, er mørkere end nr. 2. Kartoffel nr. 4 som ikke har været på køl, men stegt i fire minutter, havde omtrent samme brunhed, som kartoffel nr. 3. Kartoffel nr. 5 har været kølet og stegt i fire minutter og var den som var mest brun af alle kartoflerne.

Minolta spektrofotometri

Tabel 3: Tabellen angiver middelværdierne samt standardafvigelse for Minolta-værdierne L^* , a^* og b^* for 6 forskelligt behandlede kartofler. Minolta-testen er taget på to forskellige områder af to kartoffelskiver, som er behandlet ens.

Minolta	2 min, chilled		4 min, chilled		2 min, non-chilled		4 min, non-chilled		control, chilled		control, non-chilled	
	Middelværdi	SD	Middelværdi	SD	Middelværdi	SD	Middelværdi	SD	Middelværdi	SD	Middelværdi	SD
L^*	42,32	2,44	39,70	0,81	45,87	1,76	43,90	3,21	47,53	0,49	48,29	0,77
a^*	1,32	1,43	4,79	1,14	-2,50	0,47	-1,05	0,51	-1,82	0,30	-1,55	0,15
b^*	26,69	1,34	29,01	0,46	25,26	1,21	26,44	0,76	27,02	1,01	28,10	1,05

L^* værdien angiver den mørke eller lyse toning af kartofflen. I tabel 3, kan det ses, at værdien er lavest for den afkølede kartoffel, som blev tilberedt i fire minutter, betyder dette, at denne kartoffel har den mørkeste toning. Den lyseste toning opnås ved kontrolkartoflerne idet de har den højeste L^* -værdi. Hvis man inkluderer standardafvigelse (SD) vil værdierne for L^* overlappe hinanden, og dermed er der ingen forskel i toningen for de to kontrolkartofler. Ligeledes

minder a^* og b^* værdien for de to kontrolkartofler om hinanden, hvilket kan indikere at uden tilberedning er kartofler meget ens udseendemæssigt uafhængig af opbevaring. Indimellem kontrol og afkølet kartoffel (4 min) ligger de tre resterende prøver. Afkølet kartoffel (2 min) og ikke-afkølet kartoffel (4 min) har omtrent samme værdi, mens ikke-afkølet kartoffel (2 min) har en lysere toning end før nævnte kartoffelskiver.

a^* -værdien for alle kartoffelskiverne ligger tilnærmelsesvis omkring 0 med et interval fra $-2,50 \pm 0,47$, som er den ikke-afkølet kartoffel (2 min) til $4,79 \pm 1,14$, som er den afkølede kartoffel (4 min). a^* -værdien går fra -100 som er det grønne område til $+100$ som er det røde område. En blanding af grøn og rød giver en mørk brunlig farve. Idet alle a^* værdierne er omkring 0 tyder dette på at farven er brunlig for alle kartoffelskiverne. (jf. Protokol)

b^* -værdierne for kartoffelskiverne ligger samlet i intervallet $25,26 \pm 1,21$ som er den ikke-afkølet kartoffel (2 min) til $29,01 \pm 0,46$ som er den afkølet kartoffel (4 min). b^* -værdierne går fra -100 som er det blå område til $+100$ som er det gule område. Idet værdierne alle er positive og i slutningen af tyverende tyder dette på at alle er i det gullige område.

I tabel 3 ses en tendens til at jo længere tid de har været i frituren, desto mere falder deres L^* -værdi, mens a^* - og b^* -værdien stiger. Ligeledes ses en tendens til at de afkølede kartofler har en lavere L^* -værdi samt end højere b^* - og a^* -værdi end de ikke-afkølet kartofler.

Tabel 4: tabellen angiver middelværdierne og standardafvigelse for Minolta-værdierne L^ , a^* og b^* for de 6 forskellige behandlede æbleskiver. Tabellen angiver hvordan de forskellige æbleskiver er behandlet. Og middelværdien og SD er beregnet ud fra en minoltatest fra to forskellige områder af to forskellige æbleskiver der er behandlet ens.*

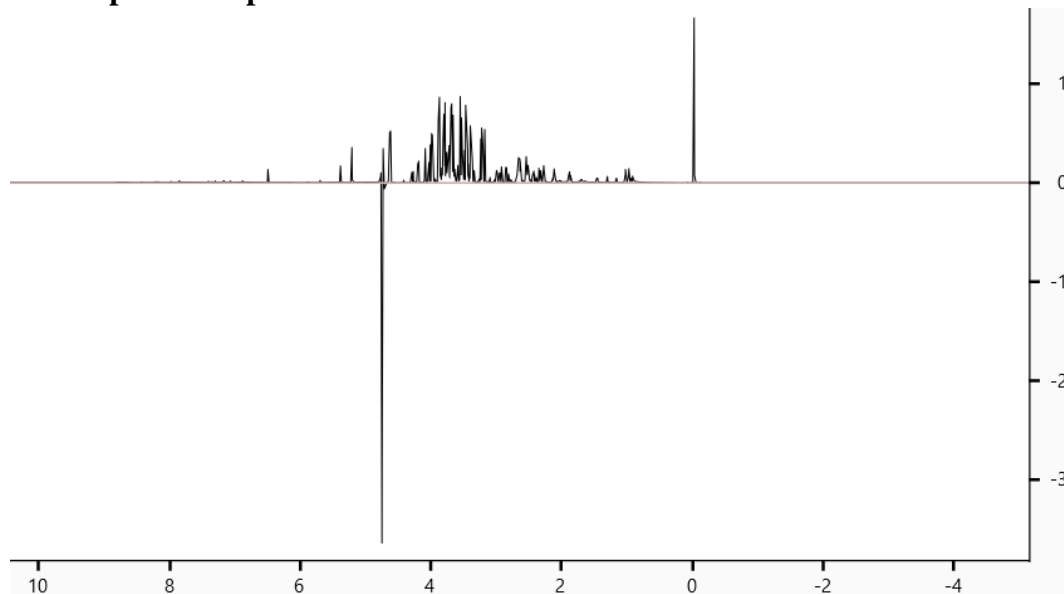
Minolta	water		1% Ascorbic acid		1% CaCl2		1% Asorbic acid + CaCl2		boiling water		control	
	Middelværdi	SD	Middelværdi	SD	Middelværdi	SD	Middelværdi	SD	Middelværdi	SD	Middelværdi	SD
L^*	40,52	1,95	46,27	5,39	44,61	1,18	43,30	1,40	45,98	1,18	45,22	2,50
a^*	2,86	0,44	-2,33	0,39	-1,28	0,53	-1,40	0,33	1,89	0,42	2,10	1,27
b^*	19,85	2,90	18,17	2,93	15,06	1,73	15,10	0,54	21,54	1,44	24,14	2,77

Ifølge data opnået ved tabel 4 er det lyseste æble, det der har været opbevaret i 1% ascorbinsyre idet L^* -værdien her ligger på $46,27 \pm 5,39$. Mens æblet med den mørkeste toning er den der har været opbevaret i vand idet L^* -værdien her er $40,52 \pm 1,95$. Dog gør de høje standardafvigelse, at værdierne overlapper hinanden i stor grad, og dermed kan det være svært at sige hvilken, der har den mørkeste og lyseste toning.

Når der kigges på a^* -værdien, som angiver intervallet fra den grønne til den røde farve vil æblet behandlet med 1% ascorbinsyre have den mest grønne farve, med en værdi på $-2,33 \pm 0,39$. Æblet behandlet med vand har den mest røde farve i spektret med en værdi på $2,86 \pm 0,44$.

b^* -værdien angiver intervallet fra den blå til den gule farve. Æblet med den laveste b^* -værdi er behandlet 1% CaCl_2 herefter kommer 1% ascorbinsyre +1% CaCl_2 som er omtrent samme værdi. Derefter kommer æblet behandlet med 1% ascorbinsyre, vand, kogende vand og til sidst kontrollen, som har den højeste b^* -værdi. Kontrollen må derfor ifølge de opnåede data være æblet med den meste gule farve af de seks behandlede æbler.

NMR-spektroskopi



Figur 3: Et fuldt NMR-spektrum af indholdet i en kartoffel (afkølet)

Figur 3 viser et fuldt NMR-spektrum for en kartoffel, der har været opbevaret ved 2 °C. Her kan det ses, at der er mange peaks hvilket indikerer at kartofflen indeholder mange forskellige komponenter i form af suktermolekyler og aminosyrer. Koncentrationen af specifikke sukker-molekyler og aminosyrer er angivet i tabel 5. Disse koncentrationer er fundet vha. Chenomx.

Tabel 5: NMR-værdier for bestemte sukre og aminosyrer fundet ved Chenomx, samt refraktometer værdi fundet vha. et refraktormeter. Her undersøges to kartofler hvoraf den ene har været opbevaret på køl og den anden ved stuetemperatur.

Kartoffel	Afkølet	Ikke-afkølet
Refraktometer værdier	2,0%	1,1%

NMR-værdier sukre		
Sukrose (5,4 ppm)	1,9268 mM	1,2137 mM
Glukose (5,2 ppm)	10,6620 mM	7,0924 mM
Fruktose (4,1 ppm)	8,2579 mM	4,6494 mM
NMR-værdier aminosyrer		
Alanin(1,5 ppm)	0,1539 mM	0,1753 mM
Asparagin (2,9 ppm)	2,6673 mM	2,0590 mM
Tyrosin (6,9 ppm)	0,1716 mM	0,1598 mM
Phenylalanin (7,4 ppm)	0,1627 mM	0,2098 mM

Tabel 5 angiver koncentrationen af specifikke sukre som sukrose, glukose og fruktose samt specifikke aminosyrer som alanin, asparagin, tyrosin og phenylalanin. Alle koncentrationerne er i mM. Desuden er refraktometerværdien bestemt til at være 2,0% og 1,1% for hhv. den afkølede og den ikke-afkølede kartoffel. Denne værdi angiver hvor stor en procentdel af indholdet i en kartoffel der er sukkermolekyler. Det er gennemgående i ovenstående tabel at alle koncentrationer er højere for den afkølede kartoffel end for den ikke-afkølede kartoffel. Dog med undtagelse af koncentrationen af alanin og phenylalanin. Disse koncentrationer er højere for den ikke-afkølede kartoffel.

Diskussion

Æbler

In relation to the purpose and what would you have expected

Det forventede resultat var at æbleskiverne der var behandlet med ascorbinsyre og CaCl_2 ikke ville opnå den brune farve som er produkt ved den enzymatiske reaktion idet ascorbinsyre og CaCl_2 ifølge teorien hæmmer den enzymatiske reaktion. Derfor ville de behandlede æbler her forekomme friske, hvilket også kan ses i tabel 1. Æblet behandlet med kogende vand burde være mindre brun, idet den enzymatiske aktivitet hæmmes grundet varmebehandling. Æblet behandlet med vand som ikke påvirker den enzymatiske brunfarvningsreaktion forventedes at være blevet brune under opbevaringen og dermed ikke se indbydende ud.

Which treatment is considered most brown and most pale based on the Minolta measurements?

Ifølge data indsamlet ved hjælp af Minolta, er det mest åbenlyse svar, at en høj L^* -værdi, samt en relativ høj b^* -værdi og svagt negativ a^* -værdi vil være optimum for det mest blege æble (jf. Tabel 4).

I forhold til det meste brune æble, vil en lav L^* -værdi, og en relativ høj b^* -værdi, samt en svagt positiv a^* -værdi være optimum.

What does the heat treated sample tell us about the browning reactions occurring in the apples?

Ifølge data indsamlet ved hjælp af Minolta, minder æblet som er blevet behandlet med kogende vand meget om kontrolæblet (jf. Tabel 4). Dog er æblet behandlet med kogende vand visuelt meget forskellig fra kontrollen (jf. Tabel 1). Der forventedes en reduceret enzymaktivitet idet høje temperaturer denaturer enzymet. Dog er dette resultat ikke eftervist idet Minoltaværdierne er ens. Dette betyder, at for at opnå den laveste enzymatiske aktivitet skal æblet behandles med høj temperatur og i længere tid. Dette kan dog resultere i en forringelse af æbles kvalitet og struktur. Forringelse var tydelig i form af en blød konsistens (jf. Tabel 1).

What are the possible mechanisms of action of ascorbic acid and Ca^{2+} ?

Ascorbinsyre og Ca^{2+} kan bruges som forebyggende mod brunfarvning af fødevarer. Ca^{2+} har en inhiberende effekt, dvs. den stabiliserer cellemembranen i det afskåret æble, så det bliver svære for ilt at trænge ind i cellen. Dermed reduceres den enzymatiske brunning, da der vil være mindre ilt til rådighed til at kunne danne o-quinone. (Feng et al., 2022) Ascorbinsyre er en svag syre, som sænker pH, hvilket giver dårligere forhold til enzymet hvorved dennes aktivitet mindskes. Desuden inhiberer ascorbinsyre den enzymatiske brunfarvningsreaktion ved at reducere de dannede o-quinone, så disse ikke kan omdannes til melanin. (Hamdan et al., 2022, Damodaran and Parkin, 2017)

What other measures could have been used to inhibit browning?

For at den enzymatiske brunfarvning kan ske, skal der være ilt til stede, da de phenoliske forbindelser i fødevaren reagerer med ilt gennem flere reaktioner. Det endelige produkt er melanin, som giver produktet den brune farve. Derfor kan vakuumpakning af fødevaren forhindre den enzymatiske brunfarvning, idet der ikke er nogen kontakt med ilt under denne pakningsform.

En anden metode som kan bruges til at forhindre brunfarvning er frysetørring. Frysetørring foregår ved, at man fjerner alt vandet fra fødevaren via en sublimeringsproces. Grunden til, at frysetørring kan forhindre brunfarvning af fødevarer som frugter, er fordi processen foregår ved lav temperatur og under vakuum.

Ved lave temperaturer vil biokemiske processer foregå meget langsomt. I tilfælde af frysetørring hvor temperaturen kan nå ned på -25 grader, vil enzymet som polyphenoloxidase være inaktivt, og hermed vil den enzymatiske brunfarvning ikke kunne ske.

Fordelen ved frysetørring er, at man formindsker tab af næringsstoffer, og frugter beholder stadig deres farve og smag. Ulempe er, på grund af tabet af væskeindholdet, vil strukturen og konsistensen ændre sig.

Kartofler

In relation to the purpose and what would you have expected

Et forventet resultat er, at refraktometerværdien er højere for den afkølede kartoffel, da stivelse bliver nedbrudt til reducerende sukre. Teorien bag denne forventning er, at ved temperaturer under 5 grader vil enzymet alfa-amylase nedbryde stivelse til sukrose som videre nedbrydes til monosakkarider (glukose og fruktose) som følge af kartofflens forsvarsmekanisme for at undgå frostskaader. Dette resultat er eftervist i tabel 3. Her ses både refraktometerværdien samt koncentrationer af de enkelte sukre. Her kan det ses, at koncentrationen af sukrene er højere i den afkølede kartoffel end i den ikke-afkølede kartoffel.

Ifølge teorien vil et højere indhold af reducerende sukre medføre en mere brun farve under stegning hvilket også blev eftervist i dette forsøg. Det ses nemlig af tabel 2, at de visuelle observationer angiver, at de afkølede kartofler er mere brune end de ikke-afkølede kartofler efter lige lang tids stegning.

A discussion of the Minolta Lab results.

Tabel 3 repræsenterer resultater for L*, a* og b* værdi fra Minolta måling af stegte kartofler. L* værdi ligger ved 42,32 og 45,87 for hhv. afkølet og ikke-afkølet kartofler ved to minutters stegning. Ved videre stegning, altså fire minutter, kan det ses, at L*-værdien falder til 39,70 og 43,90 hhv. for afkølet og ikke-afkølet kartofler. Idet L* falder indikerer dette at kartoflerne får en mørkere toning ved længere tids stegning. Samtidig ses det som forventet, at de afkølede

kartofler har en lavere L^* -værdi, da der er mere frit reducerende sukker som kan indgå i Maillard reaktioner.

b^* -værdien ligger på 26,69 og 25,26 for hhv. afkølet og ikke-afkølet kartofler ved stegning i to minutter. Her ses en stigning af b^* -værdien ved videre stegning. Værdierne er på 29,01 og 26,44 for hhv. afkølet og ikke-afkølet kartofler. Idet værdierne stiger, får kartoflerne en mere gullig farve. Dog kan det ses, at stigningen ikke er særlig høj, hvilket indikerer, at b^* -værdien ikke har stor indflydelse for farveændringer efter stegning.

a^* -værdien for de afkølede kartofler ligger på 1,32 og 4,79 for hhv. stegning i to minutter og fire minutter. For de ikke-afkølede kartofler ligger a^* -værdien på -2,50 og -1,05 for hhv. stegning i to minutter og fire minutter. En brun kartoffel er mere i en rødlig tone end en grøn tone. Derfor giver det mening at de afkølede kartofler har en højere a^* -værdi end de ikke-afkølede kartofler.

A discussion of the effects in relation to food quality (colour/health)

Under en Maillard reaktion kan et produkt være acrylamin som er et neurotoksisk stof, der er potentielt kræftfremkaldende. Dannelse af acrylamin kræver frit reducerende sukker eks. glukose, fruktose, nitrogenholdige komponenter eks. aminosyrer, som asparagin samt temperaturer over 120 °C. Ud fra NMR-resultaterne kan ses, at sukker- og asparaginindholdet er højere i afkølet kartofler end i ikke-afkølet kartofler (jf. tabel 5). Ud fra Minolta resultaterne kan det observeres, at de afkølede kartofler er mere brune end de ikke-afkølede kartofler. (jf. tabel 2). Det vides, at acrylamin indholdet er proportionel afhængig af farven, og dermed er der en tendens til at jo mørkere kartoffelen er, jo mere sundhedsskadelig er den. (Damodaran and Parkin, 2017)

A discussion of the difference between the NMR approach and the refractometer approach

NMR giver et indblik i hvilke specifikke sukre og aminosyrer, der kan findes i kartoffelen, samt angivelse af koncentrationen af de enkelte molekyler. Refraktometeret giver en værdi for hvor stor en procentdel sukker udgør af hele indholdet, dog ikke hvilke sukre. Dermed er der en forskel på hvilke resultater man får ud af disse to metoder, hvoraf den ene (NMR) giver en stor mængde data, mens den anden metode (refraktometer) kun giver en værdi. Dog giver refraktometeret et hurtigt resultat, mens NMR er en langsommelig proces, der ligeledes har højere omkostninger end refraktometeret.

Konklusion

Ud fra resultater kan der ses en sammenhæng mellem Minolta-målingerne af æbler og de visuelle observationer. Det viser sig, at æblerne, som blev behandlet med vand, har mere brunligt udtryk i forhold til behandling med ascorbinsyre (1%) og/eller ascorbinsyre (1%) + CaCl_2 (1%). Dette skyldes, at ascorbinsyre og CaCl_2 går ind og inhiberer enzymet, hvorved den enzymatiske brunning reduceres.

Derudover kan det observeres ved kartoffel-prøverne, at den afkølede kartoffel har et mere brunligt udtryk end ikke-afkølede kartoffel. Dette skyldes et forskelligt indhold af frit reducerende sukker og aminosyrer i de to prøver, som blev påvist ved hjælp af NMR-analyse. Desuden kan det observeres at jo længere behandlingstid ved høj temperatur jo mere brunligt udtryk får kartoflerne.

Referencer

- DAMODARAN, S. & PARKIN, K. L. 2017. *Fennema's Food Chemistry*, London, CRC Press.
- EVERTS, S. 2012. The Maillard Reaction Turns 100. *Chemical & Engineering News*.
- FENG, Y., FENG, C., WANG, Y., GAO, S., SUN, P., YAN, Z., SU, X., SUN, Y. & ZHU, Q. 2022. Effect of CaCl_2 Treatment on Enzymatic Browning of Fresh-Cut Luffa (*Luffa cylindrica*). *Horticulturae*, 8, 473.
- HAMDAN, N., LEE, C. H., WONG, S. L., FAUZI, C. E. N. C. A., ZAMRI, N. M. A. & LEE, T. H. 2022. Prevention of Enzymatic Browning by Natural Extracts and Genome-Editing: A Review on Recent Progress. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27, 1101.