

KAHVIN KEMIAA

Helsingin yliopisto
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Kemian laitos
Kemian opettajankoulutusyksikkö
Kandidaatin tutkielma
Tekijä: Anna-Sofia Vilhunen
PVM: 4.10.2010
Ohjaajat:
Maija Aksela
Greta Tikkanen

Sisältö

1. Johdanto.....	1
2. Kahvin valmistus	2
2.1. Pensaasta kuppiin	2
2.2. Suodatinkahvi.....	4
2.3. Espresso.....	5
3. Kahvin koostumus	6
3.1. Yleistä tietoa.....	6
3.2. Polysakkaridit.....	7
3.3. Klorogeenihapot	10
3.4. Kivennäisaineet	11
3.5. Proteiinit ja aminohapot	12
3.6. Kofeiini	14
3.7. Karboksyylihapot	16
3.8. Trigonelliini.....	18
3.9. Lipidit.....	19
4. Yhteenveto.....	21
LÄHTEET	23

1. Johdanto

Maailman suurin kahvintuottajamaa on Brasilia. Brasilia tuottaa vuodessa kaksinkertaisen määrän kahvia toiseksi olevaan Vietnamiin verrattuna. Brasilian ja Vietnamin jälkeen suurimmat tuottajamaat ovat Kolumbia ja Indonesia. Kahvin kulutuksen kärkimaat ovat kuitenkin kaukana näistä eteläisistä tuottajamaista. Vuonna 2008 suomalaiset kuluttivat 12,62 kilogrammaa kahvia henkilöä kohden. Tämä määrä on toiseksi eniten Euroopassa. Suomen edelle menee ainoastaan Luxemburg.¹

Kahvia on mahdollista tarkastella biologiselta, lääketieteelliseltä, maantieteelliseltä, psykologiselta tai vaikkapa yhteiskuntatieteelliseltä kannalta. Tässä työssä käsitellään kahvia kemian kontekstissa. Jokapäiväistä kahvikupillista nauttiessamme emme välttämättä edes tajua, kuinka paljon kemiallisia aineita sen makuun ja esimerkiksi virkistävään vaikutukseen liittyy.

Ensimmäisessä kappaleessa käsitellään kahvin tuotantoa ja valmistusta sekä siihen liittyvää kemiallisuutta. Kappaleessa käsitellään kahvimarjojen kuiva- ja märkäprosessia, jonka jälkeen käsitellään paahtoa. Paahto on kahvin maun kannalta tärkein valmistusvaihe, sillä siinä tapahtuu paljon kemiallisia muutoksia. Ensimmäisessä kappaleessa käydään läpi Maillardin reaktio, joka on paahtossa tapahtuva kahvin makuun ja väriin vaikuttava kemiallinen reaktio.² Kappaleessa käsitellään myös suodatinkahvin sekä espressokahvin valmistusta.

Toisessa kappaleessa syvennytään erilaisiin kemiallisiin rakenteisiin, joita kahvi sisältää. Kahvi koostuu polysakkarideista, klorogeenihapoista, kivennäisaineista, proteiineista, kofeiinista, karboksyylihapoista, trigonelliinista sekä monista muista yhdisteistä.³ Jokainen näistä yhdisteistä vaikuttaa kahviin jollakin tavalla. Toinen kappale käsittelee näitä erilaisia yhdisteitä, niiden kemiallisia rakenteita sekä vaikutuksia kahviin. Kahvilla on myös runsaasti terveydellisiä vaikutuksia, ja nykyään niitä on tutkittu paljon. Työssä käsitellään hiukan myös kahvin kemiallisten osasten vaikutusta ihmisen terveyteen.

2. Kahvin valmistus

2.1. Pensaasta kuppiin

Kahvimarjoja saadaan yleisimmin kahdesta pensaskasvista, *Coffea Arabicasta* sekä *Coffea Canephora*. *Coffea Canephora* tunnetaan paremmin nimellä *Robusta*. Arabica-kahvi on Robustaa suositumpi, sillä siinä on pehmeämpi maku. Robustalla ja Arabicalla on kemiallisia eroja, jotka pystytään löytämään esimerkiksi IR-spektrillä. Arabica-kahvissa on enemmän lipidejä kuin Robustassa.⁴ Myös kofeiinipitoisuuksissa on eroja. Robustan kofeiinipitoisuus on noin 1,6–2,4 prosenttia, kun taas Arabican kofeiinipitoisuus on noin 0,9-1,2 prosenttia.⁵

Kahvimarjojen poiminnan jälkeen niitä käsitellään joko märkäprosessissa tai kuivaprosessissa. Prosessoinnin tarkoituksena on poistaa marjasta kalvot sekä hedelmäliha. Kuivaproessia käytetään, kun kahvia poimittaessa ei marjoja ole valikoitu. Kuivaproessin alussa sekaisin ovat eri kypsyyssvaiheessa olevat marjat sekä lehdet ja muut liat. Kuivaproessissa marjat puhdistetaan käsin, ja puhdistuksen jälkeen marjat laitetaan muutamaksi päiväksi aurinkoon kuivumaan. Tämän jälkeen marjoja kuivataan noin neljä viikkoa kuivaushuoneessa, kunnes kosteusprosentti on noin 12 prosenttia. Kuivauksen jälkeen hedelmäliha irrotetaan kuorimiskoneella.⁶

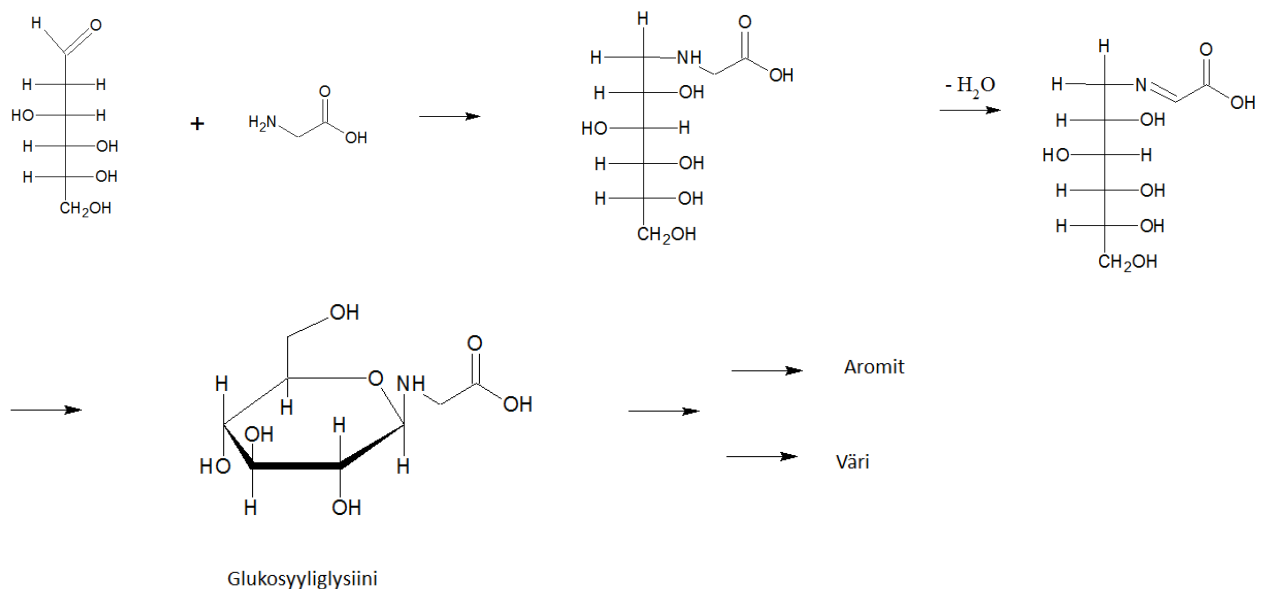
Märkäprosessi on kuivaproessia kalliimpi kahvin tuottamismuoto. Siihen tarvitsee enemmän tekniikkaa, mutta pavuista tulee tasalaatuisempia keskenään. Märkäprosessi alkaa liotuksella, jossa papu irrotetaan kuoresta ja hedelmälihasta hankaamalla marjoja vesikanavan seinämiä vasten. Tämän jälkeen osaset lajitellaan eri vesikanaviin painon ja tilavuuden mukaan. Liotuksen jälkeen kahvipavut fermentoidaan. Fermentointireaktio on entsyymien aiheuttama käymisreaktio, ja se tuottaa kahviin aromin. Fermentoinnin jälkeen pavut pestään ja kuivataan yhdestä kahteen viikkoa, kunnes kosteusprosentti on noin 12 prosenttia. Kun marjoista on kuiva- tai märkäprosessin avulla irrotettu vihreä papu, ne kiillotetaan, laatuluokitellaan sekä lajitellaan.⁶

Seuraava ja tärkein askel kahvin matkassa kohti kuppia on paahtaminen. Paahtoprosessi vaikuttaa suuresti kahvin makuun sekä moniin yhdisteisiin, jotka syntyvät tai hajoavat juuri paahton aikana. Paahtoprosessissa raat kahvipavut lämmitetään 200–240 asteiseksi noin 10–15 minuuttia. Paahto aika valitaan sen mukaan, halutaanko paahtosta tumma vai vaalea.

² Etelä-Euroopassa sekä Etelä-Amerikassa suositaan paljon Torrefacto- eli

sokerihuurrepaahtoa. Siinä Robusta-papu kuorutetaan sokerilla, jotta siihen saadaan hyvä ruskea väri sekä suoja epätoivottuja aromeja vastaan. Sokerihuurretusta kahvista tulee paksun ruskean väristä sekä todella vahvan makuista.⁷

Paahtamisen korkea lämpötila suosii proteiinien ja karbohydraattien, kuten sokereiden välillä Maillardin reaktion tapahtumista. (Kuva 1) Myös fenoliset yhdisteet osallistuvat Maillardin reaktioon muodostaen kahvin melanoideja, jotka ovat ruskeita veteen liukenevia polymeerejä. Niitä on paahtetussa kahvissa noin 25 prosenttia. Melanoideilla on runsaasti antioksidanttisia vaikutuksia. Kahvin antioksidanttien on tutkittu hidastavan LDL kolesterolin hapettumista. Melanoidien tarkka kemiallinen rakenne ei vielä ole selvillä, mutta tiedetään, että ne sisältävät typpeä. Maillardin reaktion takia kahvi on ruskeaa.²



Kuva 1. Maillardin reaktio.⁸

Kahvipavut jauhetaan, jotta kahvin uuttoprosessi paranisi. Jauhatus kasvattaa kahvin ja veden välistä rajapintaa ja helpottaa näin ollen liukenevan ja emulgoivan substanssin siirtymistä uutteeseen. Samaan aikaan, kun uutto tapahtuu, kahvijauheesta vapautuu hiilidioksidia. Kahvin paahtoaste vaikuttaa kahvin jauhatukseen. Tummapaahtoiset pavut ovat hauraampia kuin vaaleapaahtoiset, minkä vuoksi niistä tehdään hienojakoista jauhetta. Mikäli jauhe on liian hienojakoista, se vähentää uuttoa. Sen vuoksi suodatinkahvissa käytetään melko karkeaa jauhatusastetta. Espresso kahvissa jauhatus on hienojakoista.⁷

2.2. Suodatinkahvi

Suodatinkahvi on Suomessa yleisin kahvimuoto. Suodatinkahvia valmistetaan laittamalla jauhettua kahvia suodatinpaperilla varustettuun suodatin suppiloon, minkä jälkeen vesi lasketaan suodattimeen. Suodattimesta kahvin aromit uuttuvat veden mukana kahvipannuun. Suodatinkahvin valmistus on uuttamista, jossa nesteellä eli vedellä uutetaan kiinteästä aineesta eli kahvijauheesta aromit, maku, värit ja kofeiini kahviin.

Valmistettaessa kahvia suodattamalla pannuun valuu aluksi hapanta kahvia, sillä kahvin hapot liukenevat ensin. Loppuosa uutetusta kahvista on karvasta. Tämän takia on tärkeää antaa suodatinkahvin valmistua loppuun asti.⁹ Suodatinkahvi on huomattavasti pannukahvia terveellisempi vaihtoehto, sillä siinä kolesterolia nostavat lipidit jäävät suodattimeen. Suodatinkahvi ei nosta kolesterolia lainkaan.¹⁰

Kahvista on noin 98 prosenttia vettä, joten kahvinkeittoon käytettävä vesi vaikuttaa suuresti valmiin kahvin makuun. Keittäessä veden on oltava tarpeeksi kuumaa, jotta kiinteästä kahviaineesta liukenee kaikki tarvittavat aineet. Mitä lämpimämpää keittovesi on, sitä enemmän ainetta liukenee. Jos vesi on liian kuumaa, kahvi muuttuu kitkeräksi ja se myös menettää hiilidioksidia. Jotta kahvista saadaan parhaat maut irti, on veden lämpötilan oltava 85–95 °C.⁹

Jotta kahvinkeitinillä saisi aina hyvän makuista kahvia, tulee se pestä säännöllisesti. Puhdistukseen kannattaa käyttää vesi-sooda-liuosta, sillä emäksinen liuos irrottaa kahvin rasvat irti keittimestä. Kalkin poistamiseen on käytettävä hapanta liuosta, esimerkiksi sitruunahappo- tai etikkahappoliuosta.

2.3. Espresso

Espressokahvia juodaan paljon Etelä-Euroopan maissa, mutta viime vuosina se on noussut myös Suomessa suureen suosioon. Espressokahvi poikkeaa tavallisesta kahvista valmistustavan takia, sekä myös siksi, että kupillinen espressokahvia on tilavuudeltaan vain noin kolme senttilitraa. Espresso on paljon vahvempaa kuin tavallinen suodatinkahvi. Kahvin voimakas aromi syntyy paineen avulla kahvikupillista valmistettaessa. Espresso valmistetaan espressokoneella. Espressokahvijauhe, joka on tummapaahtoista ja erittäin hienojakoista, laitetaan koneeseen ja painetaan tiiviiksi tampperilla. Tämän jälkeen jauheen läpi lasketaan noin yhdeksän baarin paineella kuumaa vettä 30 sekuntia. Kuppiin tulee noin kolme senttilitraa vahvaa kahvia, jossa on päällä crema, eli kahvirasvoista muodostuva emulsio.

Espresson makuun vaikuttaa paine, jolla se on valmistettu. On tutkittu, että jo 7 atm, 9 atm ja 11 atm paineissa kahvin kemiallisessa koostumuksessa on selviä eroja. 11 atm paineessa pH on pienempi, kuin seitsemän tai yhdeksän ilmakehän paineessa. 11 atm paineessa espresson maku on karvaampi sekä vaahdon määrä on suurin. 9 atm paineessa rasvaa, joka tuo kahviin pehmeän maun, oli eniten. 9 atm paineessa trigonelliinia oli vähiten, mutta klorogeenihappoja eniten.¹¹

Espresson crema, eli vaahto, on emulsio, jossa on pieniä öljyn osasia sekoittunut sokereiden, happojen, proteiinien sekä kofeiinin muodostamaan vesiliuokseen.⁷ Creman kaasufaasi muodostuu veden kaasuista, joita syntyy espressoa valmistaessa, sekä hiilidioksidista, jota syntyy Maillardin reaktiossa kahvipavun paahtamisen aikana. Crema säilöö kahvin aromeja ja sen ansiosta espresson maku säilyy suussa useita minutteja kahvinjuonnin jälkeen.¹²

3. Kahvin koostumus

3.1. Yleistä tietoa

Kahvi koostuu monista eri aineista. Eniten valmiissa kahvissa on polysakkarideja. Niitä on eniten myös raaissa kahvipavuissa. Valmiissa kahvissa toiseksi eniten on klorogeenihappoja, kun taas kahvipavuissa on toiseksi eniten proteiineja ja lipidejä. Lipidit jäävät kahvia valmistettaessa suodattimeen, joten valmiissa kahvissa on vain 0,8 prosenttia lipidejä. Arabica- ja Robusta-kahveissa on jonkin verran havaittavissa koostumuseroja. Arabica-pavussa on enemmän polysakkarideja, lipidejä ja trigonelliinia kuin Robusta-pavussa. Robusta-pavussa taas on enemmän klorogeenihappoja, kivennäisaineita ja kofeiinia kuin Arabica-pavussa.^{5,3} (Taulukko 1)

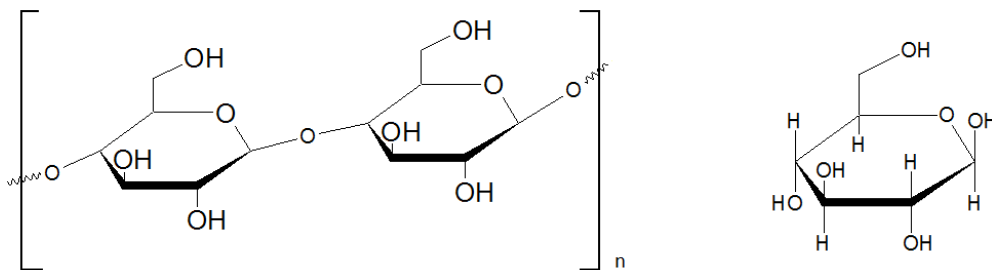
Taulukko 1. Kahvin koostumus valmiissa kahvissa³ sekä koostumus Arabica ja Robusta pavussa⁵.

Aine	Osuus % (150 millilitrassa valmista kahvia, joka on tehty 7,5 grammasta kahvijauhetta)	Osuus % (raakakahvissa)	
		Arabica	Robusta
Polysakkaridit	24,7 %	50–55 %	37,0–47,0 %
Klorogeenihapot	15,1 %	5,5–8,0 %	7,0–10,0 %
Kivennäisaineet	14,5 %	3,0–4,2 %	4,0–4,5 %
Proteiinit	6,0 %	11,0–13,0 %	11,0–13,0 %
Kofeiini	4,8 %	0,9-1,2 %	1,6–2,4 %
Karboksyylihapot	3,1 %	1,5–2,0 %	1,5–2,0 %
Trigonelliini	1,6 %	1,0–1,2 %	0,6-0,75 %
Lipidit	0,8 %	12,0–18,0 %	9,0–13,0 %
Muut yhdisteet	29,4 %	~10 %	~10 %

3.2. Polysakkaridit

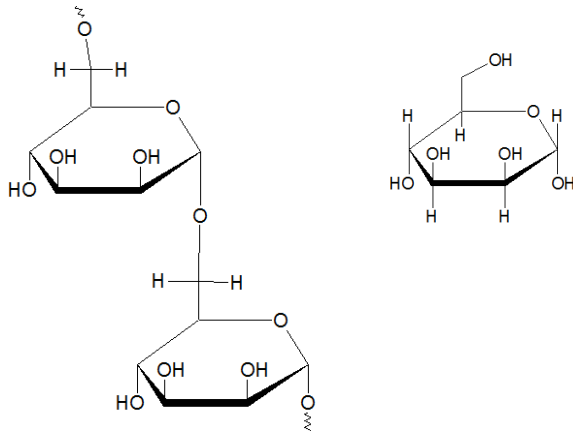
Polysakkaridien osuus raakakahvista on noin 50 prosenttia. Valmiista kahvista lähes neljäsosa on polysakkarideja. Polysakkaridit ovat hiilihydraattien ryhmään kuuluvia polymeerejä, jotka muodostuvat monosakkarideista. Polysakkaridit ovat monimutkaisia ja suuria molekyyliä. Kahvipavun polysakkaridit muuttuvat paahdon aikana uuttamista varten parempaan muotoon, ja nämä muuttuneet polysakkaridit vaikuttavat valmiin kahvin viskositeettiin, suutuntumaan sekä espressokahvin cremaan. Polysakkarideista noin 35–40 prosenttia hajoaa tumman paahdon aikana. Vaaleassa paahdossa hajoamisprosentti on noin 12–24 prosenttia riippuen pavusta.¹³ Kahvista on löydetty neljää eri polysakkaridia: mannaania, galaktomannaania, arabinogalaktaania sekä selluloosaa.¹⁴

Selluloosa koostuu useasta yhdistyneestä β -D-glukoosimolekyylistä. (Kuva 2) Polysakkaridien tarkkaa järjestystä ei tiedetä, mutta todennäköisesti selluloosa sijaitsee sulautuneena galaktomannaaniin sekä arabinogalaktaaniin. Selluloosa ei merkittävästi tuhoudu paahdon aikana, mikä todennäköisesti johtuu sen hyvästä sijainnista soluseinämässä.¹³



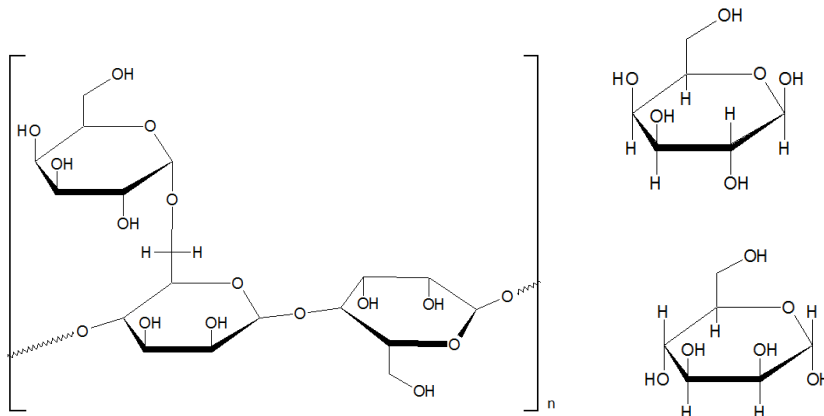
Kuva 2. Selluloosa vasemmalla, β -D-glukoosi oikealla.¹⁵

Mannaani koostuu yhteen liittyneistä α -D-mannooseista. (Kuva 3) Kahvipavussa on noin 20 prosenttia mannaania. Mannaani on veteen liukenematon kiteinen polysakkaridi. Mannaani on erittäin viskoosinen. Viskositeetti tuhoutuu kuitenkin osin valmistettaessa, ja valmistustapa, jolla viskositeetin voisi säilyttää, on kallis.¹⁶ Mannaani hajoaa vain vähän paahdon aikana.¹³



Kuva 3. Mannaani vasemmalla, oikealla mannoosi. ¹⁷

Galaktomannaanissa on runkona mannaani ja sivuketjuina galaktoosi. (Kuva 4) Galaktomannaanissa on galaktoosi liittyneenä joka sadanteen mannaaniin. ¹⁸ Uutetussa kahvissa galaktomannaania on polysakkarideista eniten. Galaktomannaani on myös tärkeässä osassa espressokahvin cremassa. ¹⁹ Kuten mannaani, myös galaktomannaani on erittäin viskoosinen. ¹⁶ Galaktomannaani muuttuu pavun paahdon aikana liukoisemmaksi. Paahdon aikana galaktomannaania tuhoutuu jonkin verran, mutta paahtoaste ei vaikuta tuhoutuvan galaktomannaanin määrään, vaan molekyylipaino on sama paahtoasteesta riippumatta. ¹³

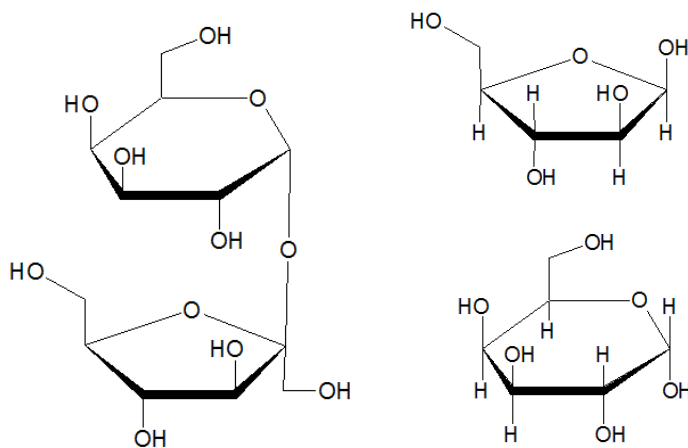


Kuva 4. Vasemmalla galaktomannaani, oikealla ylhäällä galaktoosi ja alhaalla mannoosi. ²⁰

Arabinogalaktaanissa on arabinoosi ja galaktoosi yhteen liittyneinä 0,4 suhteessa yhteen. ¹⁸ (Kuva 5) Arabinogalaktaani-polymeeri on lineaarinen polymeeri, ja sen molekyylipaino on matala. Kahvissa oleva arabinogalaktaani on tyyppiä kaksi, eli se yleensä liittyy kovalenttisellä sidoksella proteiiniin. Arabinogalaktaani on normaalisti vesiliukoinen, mutta sen selluloosan ja mannaanin kanssa muodostama yhtymä tekee siitä

vastustuskykyisen vedelle kahvipavun soluseinämässä. Paahdon jälkeen soluseinämuoto kuitenkin muuttuu johtuen ulkoisesta paineesta sekä hiilidioksidin aiheuttamasta laajenemisesta.¹³

Arabinogalaktaani polymeroituu uudelleen vaalean paahdon aikana jakautumalla galaktaanirungosta ja menettämällä arabinoosi-sivuketjuja. Proteiinisidokset kuitenkin säilyvät paahdon ajan. Vaaleassa paahdossa arabinogalaktaanista tuhoutuu noin 43–58 prosenttia, mutta tummassa paahdossa jopa 80 prosenttia. Galaktaani-osa polysakkaridista tuhoutuu vaaleassa paahdossa vain noin kuusi prosenttisesti. Tummassa paahdossa galaktaanin ja arabinoosin välillä ei ollut niin suurta eroa.¹³ Robusta sisältää enemmän arabinogalaktaania kuin Arabica. Robustassa olevan arabinogalaktaanin sidospituudet ovat pidemmät.¹⁸



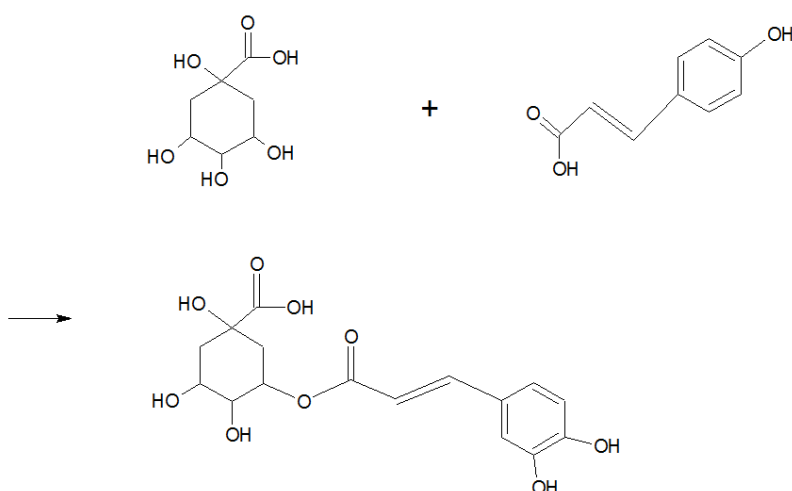
Kuva 5. Vasemmalla arabinogalaktaani, oikealla ylhäällä arabinoosi ja alhaalla galaktoosi.
21

Polysakkaridien lisäksi kahvissa on myös jonkin verran monosakkarideja. Monosakkaridit ovat yksinkertaisia hiilihydraatteja, joista polysakkaridit muodostuvat. Yleisimmät kahvista löytyvät monosakkaridit ovat mannoosi, galaktoosi, glukoosi, fruktoosi ja arabinoosi. Kahvissa on myös hieman ramnoosia sekä ksyloosia.^{14,22} Fruktoosin ja glukoosin määrään vaikuttaa paljon se, onko papu käsitelty kuivaprosessilla vai märkäprosessilla. Märkäprosessilla käsitellyssä pavussa on huomattavasti pienempi määrä glukoosia ja fruktoosia. Mannoosilla ja arabinoosilla on havaittavissa samanlaisia tuloksia. Kahvissa on myös sakkaroosia, joka on disakkaridi. Sakkaroosin määrään ei vaikuta kahvin käsittelyprosessi.²²

3.3. Klorogeenihapot

Klorogeenihappo on fenolinen karboksyylihappo. Fenolisissa yhdisteissä on bentseenirengas johon on liittynyt suoraan hydroksyyliiryhmä. Fenolisia yhdisteitä esiintyy paljon luonnossa kuten esimerkiksi monissa viherkasveissa.²³

Klorogeenihappo, joka on vesiliukoinen yhdiste, syntyy, kun kahvihappo ja kiinahappo muodostavat esterin. (Kuva 6) Kahvihappo on fenolinen karboksyylihappo, jota esiintyy paljon hedelmissä ja kasveissa. Se toimii antioksidanttina, ja täten myös klorogeenihapolla on antioksidanttisia ominaisuuksia.²⁴ Paahdon aikana klorogeenihappo hajoaa, ja kiinahappo näin ollen lisääntyy. Klorogeenihappo sekä kiinahappo muodostavat laktoneja, eli syklisiä estereitä, paahdon aikana. Tämän takia klorogeenihappo ei ole vaikuttavana tekijänä paahdossa tapahtuvassa kahvin happamuusasteen nousussa.²⁵



Kuva 6. Kiinahappo ja kahvihappo yhdistyvät muodostaen klorogeenihappoa.

Suurin osa ihmisistä saa tarvittavan fenolimäärän kahvista sen suuren klorogeenihappopitoisuuden vuoksi. Raakakahvissa on noin 6-10 prosenttia klorogeenihappoa. Paahdon aikana klorogeenihappopitoisuus pienenee melko paljon. Kupillisessa kahvia on noin 20 milligrammaa klorogeenihappoa, mikäli kahvi on tummapaahtoista. Vaaleapaahtoisessa kahvissa klorogeenihappoa on noin 675 milligrammaa.²⁶

Kahvin antioksidanttisia vaikutuksia on viime aikoina tutkittu paljon. Antioksidantit ovat välttämättömiä ihmisen terveydelle. Ne ovat kemiallisia yhdisteitä, joiden tehtävänä on

estää muiden yhdisteiden hapettuminen. Kahvissa yleisin antioksidantti on klorogeenihappo, tarkemmin ottaen pääasiassa kahvihappo, jota muodostuu paahdon aikana, kun klorogeenihappo hajoaa. Kahvihapon on tutkittu nostavan veren antioksidanttisuutta. Kahvihappoa on veressä eniten noin tunnin päästä kahvin nauttimisesta. Kahvin antioksidanttien uskotaan vähentävän riskiä sairastua kakkostyyppin diabetekseen, maksakirroosiin sekä maksasyöpään.²⁷

3.4. Kivennäisaineet

Valmiista kahvista noin 14 prosenttia on kivennäisaineita. Kivennäisaineet ovat alkuaineita, joita ihminen saa ravinnon mukana. Suurin osa kahvin kivennäisaineista on kaliumia, magnesiumia, fosforia, rikkiä, klooria, piitä, kalsiumia, natriumia ja rautaa. Kahvi sisältää myös pienen määrän kuparia, bromia, fluoria, mangaania, rubidiumia, sinkkiä sekä molybdeeniä.²⁸

Magnesiumia ihminen tarvitsee luustoon ja lihaksiin. Se muun muassa osallistuu elimistön proteiinien ja nukleiinihappojen muodostukseen sekä energia-aineenvaihduntaan. Magnesium toimii noin 300 entsyymien aktivoijana. Fosfori on toiseksi yleisin kivennäisaine elimistössä. Fosfori on osa ATP:tä, joka on tärkeä osa elimistön energiatapahtumissa. Suurin osa kalsiumista on kalsiumfosfaattina, ja se toimii luuston sekä hampaiden vahvistajana. Ihminen tarvitsee kalsiumia luustonrakenteessa. Luustossa sijaitsee myös kalsiumvarasto. Ionisoituneena kalsium toimii entsyymien aktivoivana solujen välittäjänä.²⁹ Liika kahvinjuonti estää kalsiumin imeytymisen elimistöön liian kofeiinin vuoksi.³⁰

Rauta esiintyy elimistössä ferri- sekä ferromuodossa. Rauta kuljettaa elimistössä sekä happea että elektroneja. Raudan liika-annostus aiheuttaa elimistössä hapetusreaktioita, sillä rauta on tehokas hapetin. Kahvi saattaa polyfenoleidensa takia estää raudan imeytymistä elimistöön.²⁹ Natrium ja kalium toimivat elimistössä solun neste- ja elektrolyyttitasapainon säätelijänä sekä myös happo-emästatapainon säätelijänä, kuten kloorikin. Rikki tehostaa entsyymien toimintaa. Piitä tarvitaan luiden ja nivelten muodostukseen.³¹

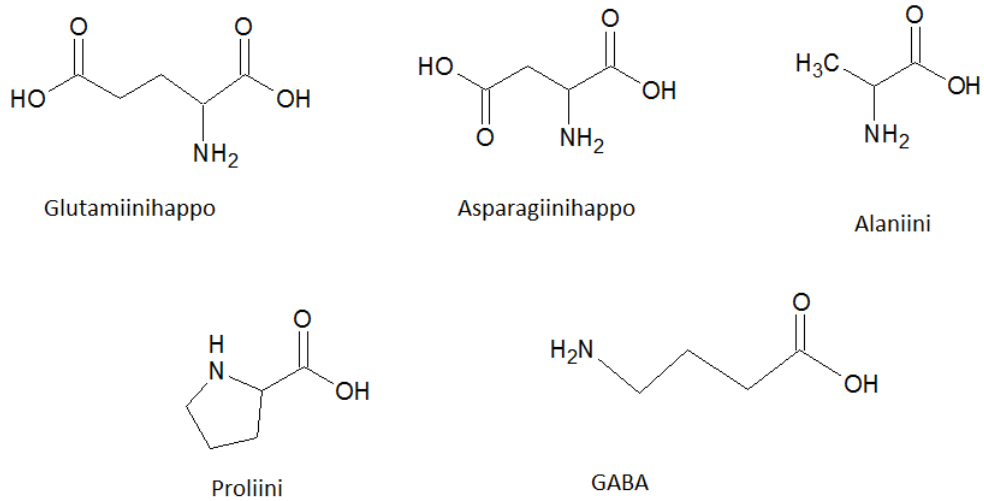
3.5. Proteiinit ja aminohapot

Aminohapot ovat molekyyliä, jotka sisältävät sekä NH_2 – ryhmän että COOH - ryhmän. Proteiinit koostuvat useasta aminohaposta, jotka ovat sitoutuneet toisiinsa peptidisidoksin. Kahvipavuisissa on noin 11–13 prosenttia proteiineja. Valmiissa kahvissa proteiineja on noin kuusi prosenttia. Aminohapot ja proteiinit ovat tärkeitä kahville, sillä ne osallistuvat Maillardin reaktioon tuottaen kahviin sen ruskean värin sekä aromin. Suuri osa proteiineista hajoaa Maillardin reaktiossa paahdon aikana.³²

Raakakahvin tärkein proteiini on 11S varastoproteiini, joka on tärkeä vapaille aminohapoille sekä peptideille. 11S varastointiproteiinia on kahvissa noin 5-7 prosenttia, joten se on lähes puolet kahvin proteiineista. 11S varastointiproteiinin tärkein tehtävä on taata aminohappo- sekä typpilähde kahvisiemenen idätyksessä. Paahdon aikana kahvista hajoaa ensin ei-varastoproteiinit ja 11S hajoaa viimeisten joukossa.³³ On tutkittu, että 11S varastoproteiinin osat kiinnittyvät paahdon aikana muodostuvaan melanoidin polymeerirakenteeseen.³²

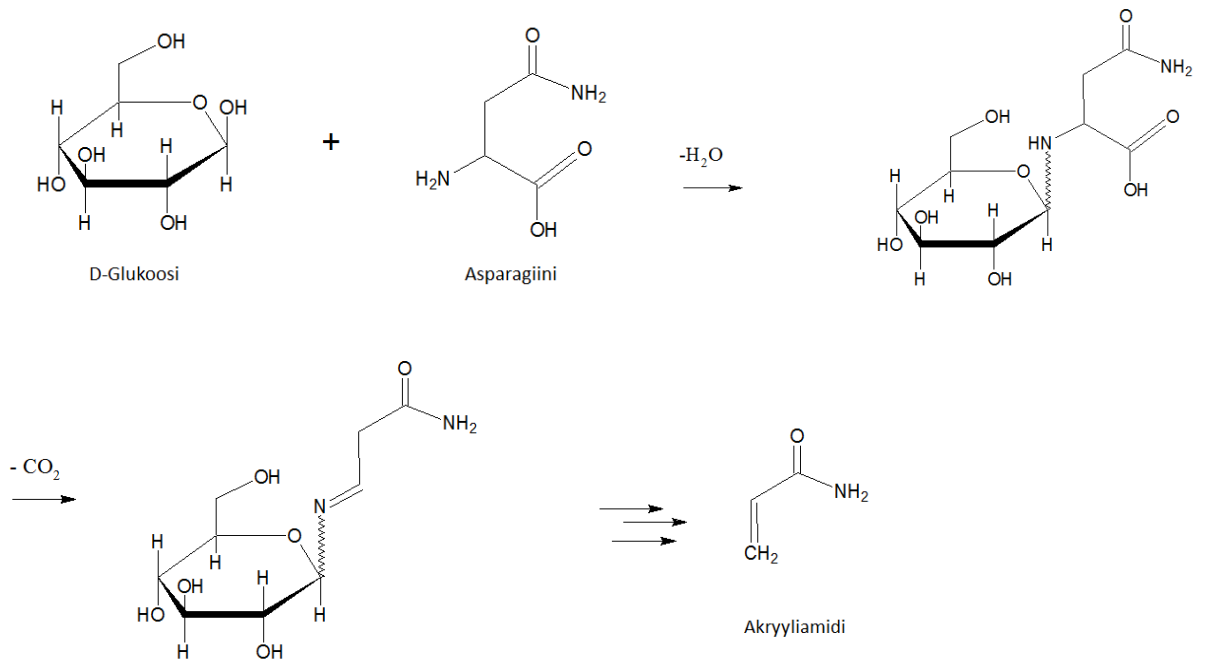
Kahvissa on myös arabinogalaktaani-proteiinia, joka on glykoproteiini, eli proteiini, johon on liittynyt hiilihydraattiryhmä. Arabinogalaktaani-proteiini muodostuu, kun arabinogalaktaaniin liittyy glykosylaatiossa entsyymiohjatusti erilaisia aminohappoja. Yleisimmät arabinogalaktaani-proteiinissa esiintyvät aminohapot ovat hydroksiprolini, seriini sekä alaniini. Arabinogalaktaani-proteiinia on kahvin soluseinämässä. Pieni osa arabinogalaktaani-proteiinista säilyy paahdossa.¹³

Kahvissa on vain noin 0,3 – 0,6 prosenttia vapaita aminohappoja.³² Tärkeimmät vapaat aminohapot sekä Arabica- että Robusta-raakakahvissa ovat glutamiinihappo, asparagiinihappo, GABA eli gamma-aminovoihappo, alaniini sekä proliini. (Kuva 7) Edellä mainittujen lisäksi raakakahvissa on noin 13 muuta aminohappoa pieniä määriä. Robustassa on enemmän kaikkia aminohappoja, paitsi glutamiinihappoa. Kaikki aminohapot hajoavat paahdon aikana.



Kuva 7. Raakakahvin tärkeimmät aminohapot.

Kahvissa on pieniä määriä akryyliamidia, noin kolme mikrogrammaa annoksessa. Akryyliamidi syntyy sakkaroosista ja asparagiinista Maillardin reaktion aikana. (Kuva 8) Asparagiinia on kahvissa pieniä määriä, Robustassa enemmän kuin Arabicassa. Akryyliamidin tarkkaa muodostumismekanismia ei tiedetä, sillä osa intermediaateista on yhä selvittämättä.³⁴ Akryyliamidi aiheuttaa suurina määrinä syöpää.

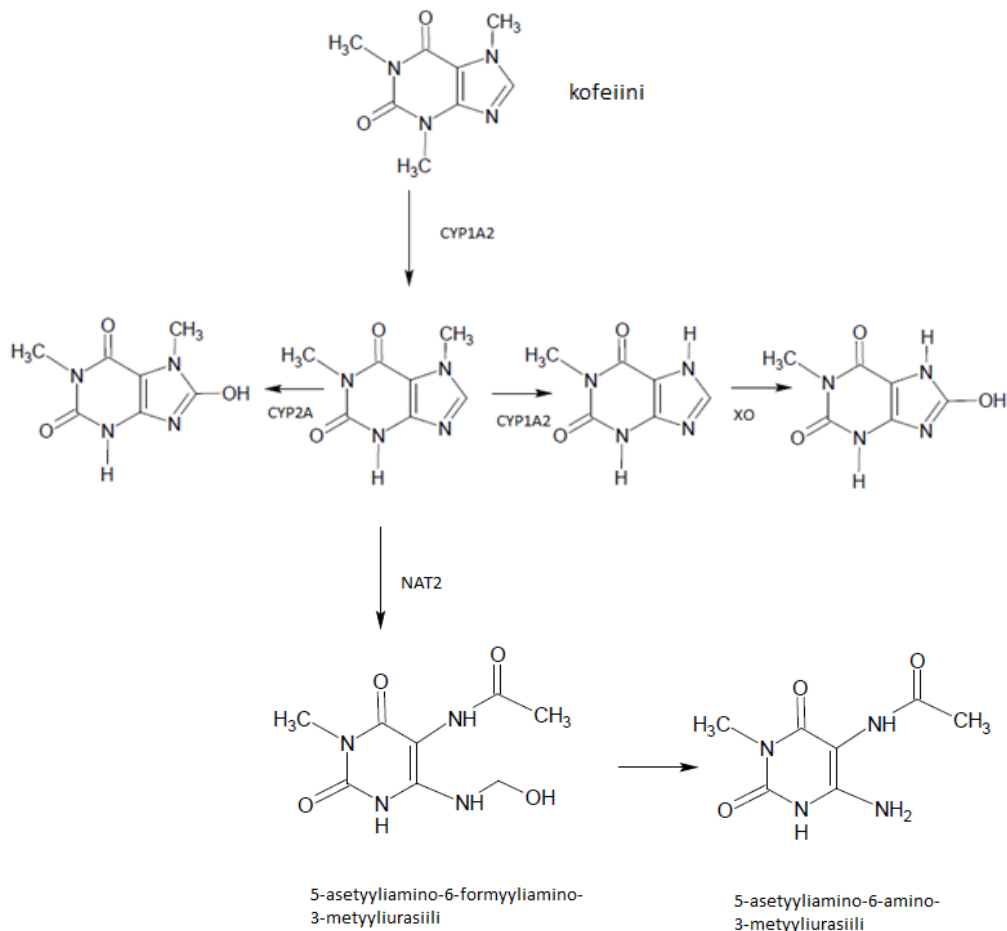


Kuva 8. Akryyliamidin muodostuminen.³⁵

3.6. Kofeiini

Kofeiini eli 1,3,7-trimetyyliksantiini kuuluu alkaloideihin. Alkaloidit ovat amiineja, jotka löytyvät luonnosta ja siksi niitä ennen kutsuttiinkin kasvi-alkaleiksi. Alkaloideista löytyy emäksinen typpi-atomi. Lääketiede käyttää alkaloideja paljon. Kofeiini on puriinialkaloidi, koska sillä on aromaattinen kaksoisrenkas.²³

Kofeiini on lipofiilinen eli rasvahakuinen, ja se pystyy lävistämään kaikki biologiset membraanit ja leviämään solukkaan. Se ei kuitenkaan kasaannu elimiin tai solukkaan. Kofeiinin metabolia tapahtuu maksassa sytokromi P450 avulla, ja metabolian nopeus on noin 4-6 tuntia. Sytokromi P450 on ryhmä proteiineja, jotka ovat entsyymejä. Kofeiinin ensimmäisen metaboliavaiheen tuotteet ovat paraksantiini, teofylliini sekä teobromiini. Paraksantiinia muodostuu eniten, jopa 90 prosenttia. (Kuva 9) Vain kahdesta kolmeen prosenttia kofeiinista poistuu virtsan mukana muuttumattomana.³⁶



Kuva 9. Kofeiinin metabolian tärkein reitti.

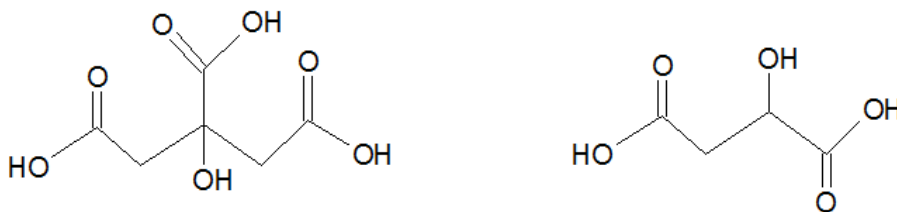
Kofeiinin tärkein reaktio on adenosiinireseptorien kanssa tapahtuva vastakkaisvaikutus. Adenosiini on puriinihormoni, joka säätelee ihmisen unirytmää. Sillä on kaksi eri reseptoria, A1 ja A2. Adenosiinireseptori A1 hidastaa adenyylisyklaasia, kun taas A2 reseptori nopeuttaa sitä. Kofeiini vaikuttaa molempiin adenosiinireseptoreihin eristämällä ne ja näin ollen estämällä adenosinin toiminnan.³⁷

Kofeiinin määrä kahvissa riippuu paljon pavusta. Robusta kahvissa kofeiinipitoisuus on suurempi kuin Arabicassa. 225 millilitrassa suodatinkahvia kofeiinia on noin 115–175 milligrammaa. Pannukahvissa kofeiinia on noin 80–135 milligrammaa, ja pikakahvissa kofeiinia on 65–100 milligrammaa.³⁸

Kofeiinilla on suuri vaikutus terveyteen. Sen on tutkittu muun muassa vaikuttavan verenpaineeseen sekä aiheuttavan joillakin ihmisillä rytmihäiriöitä. Kofeiini aiheuttaa myös riippuvuutta. Kofeiiniriippuvuuden oireet ilmenevät päänsärkynä, väsymyksenä, keskittymishäiriöinä sekä masentuneisuutena. Kofeiinin epäillään vaikuttavan jonkin verran keskenmenoihin, mutta asiasta on tehty paljon ristiriitaisia tutkimuksia. Sillä uskotaan olevan myös vaikutusta lapsen kokoon syntyessä. On tutkittu, että mikäli äiti käyttää raskausaikana kofeiinia, voi lapsi jäädä noin 100 grammaa pienemmäksi kuin muuten.³⁹

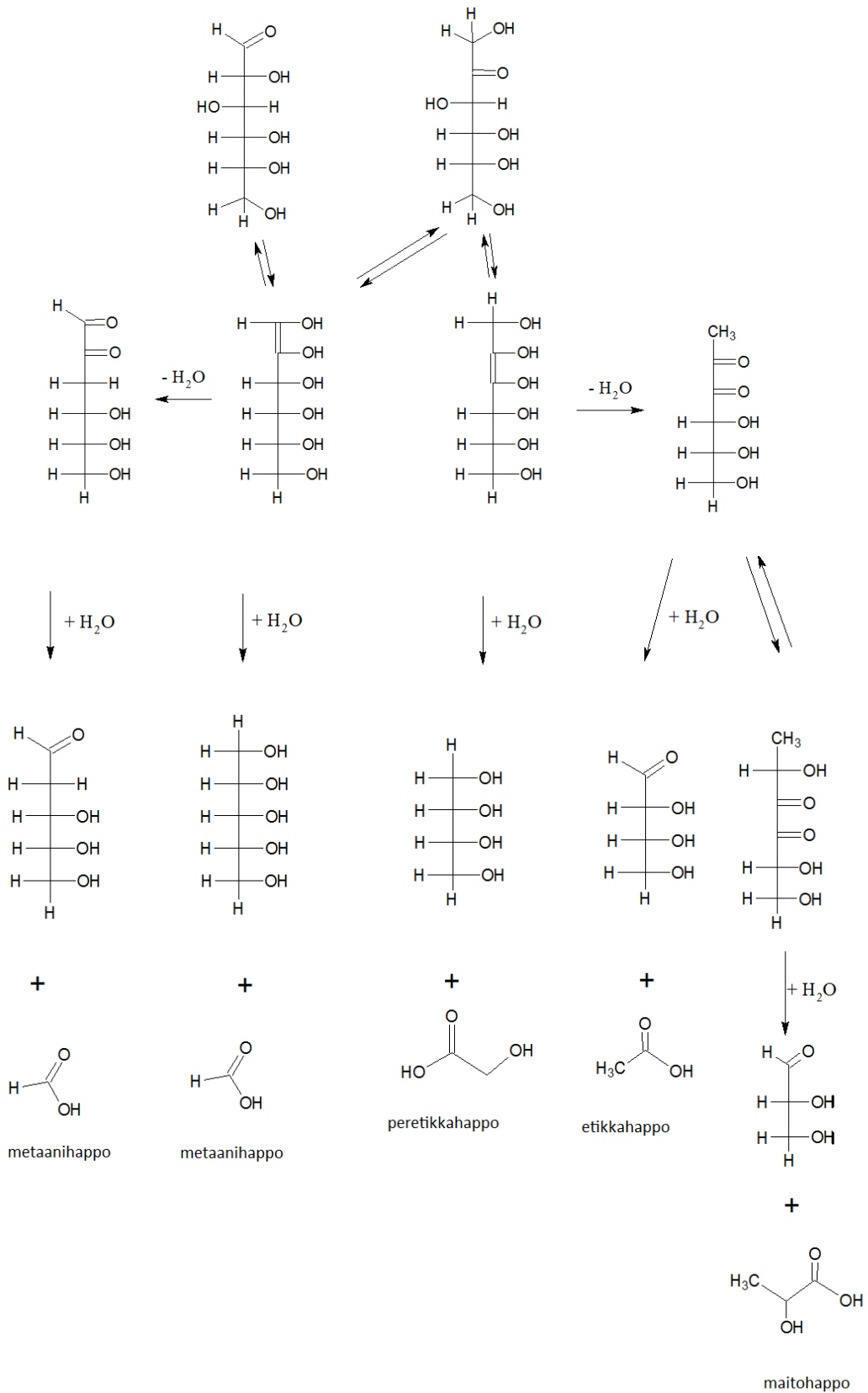
3.7. Karboksyylihapot

Karboksyylihapot ovat orgaanisia yhdisteitä, jotka sisältävät happamuuden aiheuttavan –COOH-ryhmän. Raakakahvista noin 1,5–2,0 prosenttia on karboksyylihappoja. Raakakahvissa on sitruunahappoa, omenahappoa (kuva 10), klorogeenihappoa sekä kiinahappoa. Paahdon aikana kiinahappo lisääntyy, kun klorogeenihappo hajoaa. Omenahappo sekä sitruunahappo vähenevät paahdon aikana.²⁵



Kuva 10. Vasemmalla sitruunahapon ja oikealla omenahapon rakennekaava.

Paahdetusta kahvista noin kuusi prosenttia on karboksyylihappoja. Valmiin kahvin maussa on tärkeänä tekijänä happamuus, joka on osa kahvin laatuluokittelua. Arabican pH on noin 4,85–5,15 ja Robustan pH on noin 5,25–5,40. Paahdon aikana kahvi muuttuu happamammaksi, jonka aiheuttavat neljä kahvissa vaikuttavaa alifaattista karboksyylihappoa: metaanihappo, etikkahappo, peretikkahappo sekä maitohappo. Kahvin alifaattiset hapot muodostuvat karbohydraateista, ja tärkein osa niiden muodostumisessa on sakkaroosi. Sakkaroosi koostuu fruktoosista ja glukoosista. Fruktoosi ja glukoosi muuttuvat 1,2-enoliksi sekä 2,3-enoliksi, jotka intermediaattien kautta muodostavat kahvin paahdossa muurahaishappoa, etikkahappoa, peretikkahappoa sekä maitohappoa. (Kuva 11) Keskitumman paahdon aikana muurahaishappo- ja etikkahappopitoisuudet nousevat, mutta paahdon jatkuessa pitoisuudet kääntyvät laskuun. Peretikkahappo- sekä maitohappopitoisuudet taas nousevat jopa tummankin paahdon aikana.²⁵

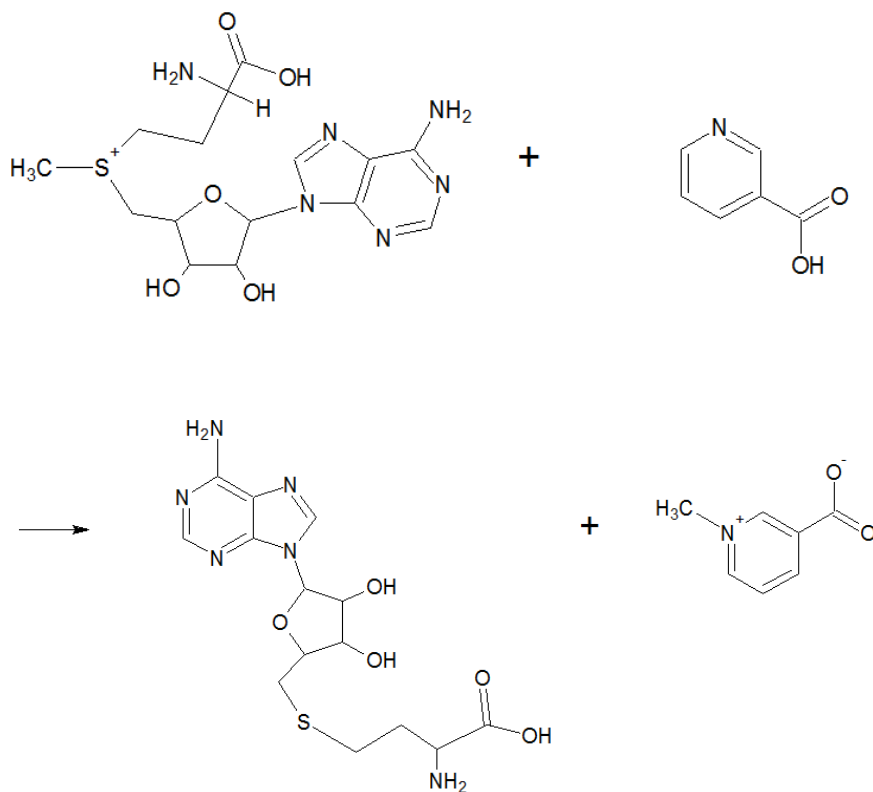


Kuva 11. Metaanihapon, peretikkahapon, etikkahapon ja maitohapon muodostuminen glukoosista (vasemmalla ylhäällä) sekä fruktoosista (oikealla ylhäällä).²⁵

3.8. Trigonelliini

Valmiissa kahvissa on noin 1,6 prosenttia trigonelliinia. Arabica-pavussa trigonelliinia on noin 1,0–1,2 prosenttia, ja Robusta pavussa sitä on noin 0,6-0,75 prosenttia. Trigonelliini eli n-metyylinikotiinihappo on alkaloidi, kuten kofeiinikin. Erona kofeiiniin on kuitenkin se, että trigonelliini on pyridiinialkaloidi, kun taas kofeiini on puriinialkaloidi. Pyridiini on kuusirenkainen aromaattinen yhdiste, johon on sitoutunut typpi. Typpi on renkaassa sp^2 -hybridisoitunut. Pyridiini pystyy muodostamaan vetysidoksia vesimolekyylien kanssa.⁴⁰

Trigonelliini lisää maun kannalta hyviä yhdisteitä. Trigonelliini on osasy kahvin karvaaseen makuun, mutta sen karvaus on kuitenkin vain yksi neljäsosa kofeiinista. Trigonelliinia syntyy nikotiinihaposta N-metyylitransferaasin avulla. Transferaasit ovat entsyymejä, jotka katalysoivat ryhmän siirtoa. Trigonelliinia muodostuu, kun nikotiinihappo sekä S-adenosyyli-L-metioniini reagoivat muodostaen S-adenosyyli-L-homosysteeniä sekä 1-metyylinikotiinihappoa eli trigonelliinia.⁴¹ (Kuva 12)



Kuva 12. S-adenosyyli-L-metioniini sekä nikotiinihappo reagoivat muodostaen S-adenosyyli-L-homosysteeniä sekä 1-metyylinikotiinihappoa.

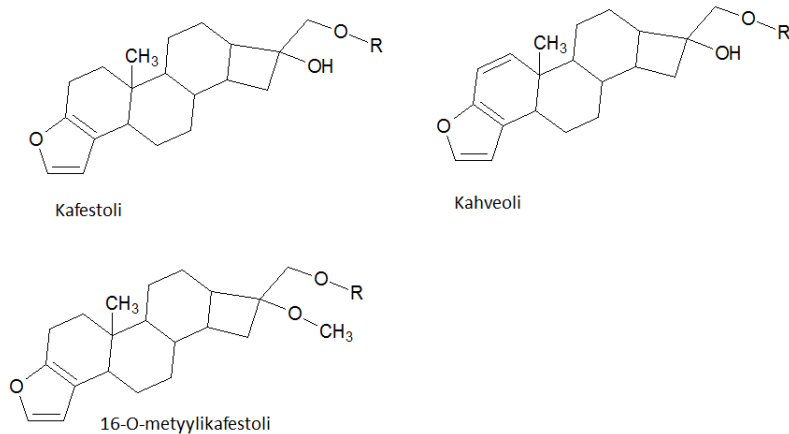
Trigonelliinin määrä on riippuvainen paahdosta. Sitä hajoaa paahdon aikana jonkin verran muodostaen nikotiinihappoa.⁴² Nikotiinihappoa on hyvin vähän kahvipavussa, mutta paahdon aikana trigonelliinia hajoaa, ja siten kahvissa olevan nikotiinihapon määrä lisääntyy. Aikuinen ihminen saa yhden kolmasosan päivittäin tarvitsemastaan nikotiinihaposta, mikäli hän juo 3,5 kuppia kahvia päivässä. Nikotiinihappo tunnetaan myös B₃ – vitamiinina, joka on tärkeä ihmisen solujen aineenvaihdunnalle.⁴³

3.9. Lipidit

Lipidit ovat orgaanisia molekyyliä jotka eivät useinkaan liukene veteen. Lipidejä ovat esimerkiksi rasvat, öljyt, terpenoidit ja triglyseridit. Kahvipavussa on noin 15–18 prosenttia lipidejä. Suurin osa kahvin lipideistä on kahvipavun kuoren sisällä, mutta noin 1-2 prosenttia lipideistä on vahana pavun päällä. Arabica-kahvissa lipidejä on hiukan enemmän kuin Robusta-kahvissa. Lipideistä noin 75 prosenttia on triglyseridejä eli varsinaisia rasvoja.⁴⁴ Triglyseridien lisäksi kahvissa on diterpeenejä, steroleja ja skvaleeneja. Tieteellisesti tärkein osuus kahvin lipideistä ovat diterpeenit, joiden terveysvaikutuksia on tutkittu viime vuosina runsaasti.⁴⁵

Kahvipavussa olevista lipideistä noin 20 prosenttia on diterpeenejä.⁴⁴ Kahvin tärkeimmät diterpeenit ovat kahveoli, kafestoli sekä 16-O-metyylikafestoli. (Kuva 13) Diterpeenit esiintyvät kahvipavuissa joko rasvahappoihin esteröityneinä tai vapaina alkoholeina.⁴⁵ Kafestolista on löydetty neljätoista eri esterimuunnosta ja kahveolista kaksitoista.⁴⁴

Robusta kahvin öljyssä on kafestolia sekä 16-O-metyylikafestolia ja hyvin pieni määrä kahveolia. Arabica kahvissa on sekä kafestolia että kahveolia. Kafestoli ja kahveoli eroavat toisistaan ainoastaan yhden kaksoissidoksen takia. Molemmat ovat valo- sekä lämpöherkkiä, ja kahveoli on epävakaa puhtaassa muodossaan. 16-O-metyylikafestoli on kahveolia ja kafestolia myöhemmin löydetty diterpeeni. Se eroaa kafestolista, koska siinä on yksi metyyli-ryhmä enemmän. Vaikka 16-O-metyylikafestolia ei löydy Arabican pavuista, on sitä silti sen lehdissä.⁴⁵



Kuva 13. Kafestolissa on yksi kaksoissidos vähemmän kuin oikealla puolella olevassa kahveolissa. Alhaalla olevassa 16-O-Metyylikafestolissa on yksi metyyli-ryhmä lisätty kafestoliin. Mikäli R=H, kyseessä on vapaa diterpeni. Mikäli R=rasvahappo, kyseessä on diterpeniesteri.

Paahdetussa kahvissa kafestoli, kahveoli sekä 16-O-metyylikafestoli pysyvät edelleen esteröityneinä. 16-O-metyylikafestoli esterit ovat erittäin vakaita paahdon aikana, mutta kahveolin ja kafestolin esterit vähenevät paahdon aikana riippuen paahdon lämpötilasta. Paahdon aikana syntyy myös uusia diterpeenejä, kuten kafestalia, kahvealia, dehydrokahveolia, dehydrokafestolia sekä isokahveolia ja dehydroisokahveolia. Kafestolissa sekä kahveolissa on yksi –OH-ryhmä poistunut sekä happi liittynyt hiileen kaksoissidoksella, korvaten toisen -OH-ryhmän. Dehydrokahveolissa sekä dehydrokafestolissa on yksi kaksoissidos enemmän kuin kahveolissa ja kafestolissa.⁴⁶

Diterpenit vaikuttavat veren kolesterolipitoisuuteen. Kafestolilla on kahveolia suurempi vaikutus kolesteroliin.⁴⁴ Suodattamalla valmistetussa kahvikupillisessa on noin 0,1 milligrammaa sekä kahveolia että kafestolia. Kyseinen määrä ei nosta kolesterolia, mikäli kahvia juo korkeintaan viisi kuppia päivässä.⁴⁵ Suodatinkahvin lipidipitoisuus on pieni, sillä lipidit eivät läpäise suodatinpaperia.¹⁰ Espresso-kupillisessa diterpeenien määrä on sama kuin suodatinkahvissa. Koska espressokupillisen tilavuus on suodatinkahvikupillista pienempi, on espressossa enemmän diterpeenejä. Pannukahvissa kafestolipitoisuus kuppia kohden on noin 3,0 milligrammaa, ja kahveolipitoisuus on noin 3,9 milligrammaa. Tämä määrä nostaa kolesterolipitoisuutta noin 0,19 millimoolia litraa kohden, mikäli kahvia nauttii viisi kuppia päivässä.⁴⁵ Vaikka diterpeeneillä on vaikutusta kolesterolipitoisuuksiin, on niillä myös hyviä terveystaivaikutuksia.⁴⁴

4. Yhteenveto

Raakakahvista on noin puolet polysakkarideja. Kahvin neljä yleisintä polysakkaridia ovat mannaani, galaktomannaani, arabinogalaktaani sekä selluloosa. Arabicassa on huomattavasti Robustaa enemmän polysakkarideja. Toiseksi suurin raakakahvin osanen ovat lipidit. Suurin osa lipideistä on triglyseridejä, mutta diterpeenit ovat triglyseridejä tärkeämpiä lipidejä. Kahvista löytyvät diterpeenit ovat kahveoli, kafestoli sekä 16-O-Metyylikafestoli. Arabica-pavussa on Robusta-papua enemmän lipidejä, mutta niiden lipidikoostumuksissa on myös eroja. Arabicasta löytyy kafestolia ja kahveolia, Robustasta kafestolia sekä 16-O-Metyylikafestolia. Robustassa on myös erittäin pieni määrä kahveolia. Diterpeenit ovat joko rasvahappoihin esteröityneessä muodossa tai vapaina alkoholeina.

Kolmanneksi yleisin ryhmä raakakahvissa ovat proteiinit. Tärkein kahvin proteiini on 11S varastoproteiini. Se toimii aminohappo- sekä tyypilähteenä kahvipensaan kasvaessa. Proteiinien jälkeen eniten raakakahvissa on klorogeenihappoja. Robustassa on klorogeenihappoja hiukan Arabicaa enemmän. Raakakahvissa viidenneksi yleisin osa ovat kivennäisaineet. Vähiten raakakahvissa on karboksyylihappoja, kofeiinia sekä trigonelliinia. Karboksyylihappoista yleisimmät ovat sitruunahappo, omenahappo, klorogeenihappo sekä kiinahappo. Trigonelliini sekä kofeiini ovat alkaloideja. Kofeiini reagoi adenosiniireseptorien kanssa ja estää näin ihmisen väsymyksen tunteen muodostumista. Robustassa on Arabicaa enemmän kofeiinia. Trigonelliini sekä kofeiini vaikuttavat kahvin karvaaseen makuun.

Kupillisessa valmista kahvia on eniten polysakkarideja. Polysakkaridien määrä kuitenkin vähentyy raakakahviin nähden, sillä osa polysakkarideista pilkkoutuu paahdon aikana. Polysakkaridit ovat tärkeä osa kahvia, sillä ne osallistuvat proteiinien kanssa paahdossa Maillardin reaktioon muodostaen kahvin melanoideja. Melanoidit ovat erittäin hyviä antioksidantteja, mutta niiden tutkiminen on vielä kesken, ja niiden tarkkaa rakennetta ei esimerkiksi tiedetä. Maillardin reaktio tuo myös kahviin sen ominaisen ruskean värin. Toiseksi eniten valmiissa kahvissa on klorogeenihappoja. Klorogeenihappo hajoaa osin paahdon aikana kiinahapoksi sekä kahvihapoksi. Kahvihappo on voimakkaasti antioksidanttinen, ja näin ollen se on yksi tärkeimmistä kahvin antioksidanttilähteistä. Klorogeenihappo sekä kiinahappo muodostavat paahdossa laktoneja, jotka nostavat kahvin

happamuutta ja parantavat kahvin makua. Kivennäisaineet ovat valmiin kahvin kolmanneksi yleisin osa.

Proteiinit reagoivat paahdon aikana sokereiden kanssa Maillardin reaktiossa ja hajoavat. Tämän takia valmiissa kahvikupillisessa ei ole niin paljon proteiineja. Kahvissa on pieni määrä akryyliamidia, joka syntyy asparagiini – aminohaposta sekä sakkaroosista paahdon aikana. Kofeiini ei muutu paahdon aikana. Raakakahvissa olevat karboksyylihapot hajoavat paahdon aikana, mutta kahviin syntyy uusia karboksyylihappoja sakkaroosista. Sakkaroosi muodostaa paahdon aikana metaanihappoa, etikkahappoa, peretikkahappoa sekä maitohappoa. Nämä karboksyylihapot vaikuttavat kahvin happamuuteen ja parantavat sen makua. Trigonelliinia on valmiissa kahvissa vähemmän kuin raakakahvissa, sillä osa siitä hajoaa nikotiinihapoksi paahdon aikana. Lipideistä diterpenit kahveoli, kafestoli sekä 16-O-Metyylikafestoli muuttuvat osittain paahdon aikana kafestaliksi, kahvealiksi, dehydrokahveoliksi, dehydrokafestoliksi sekä isokahveoliksi ja dehydroisokahveoliksi. Lipidit jäävät kuitenkin suodatinkahvia valmistettaessa suodatin paperiin, minkä vuoksi valmis kahvi ei sisällä lipidejä.

Kahvin eri paahtoasteet vaikuttavat myös valmiin kahviin makuun. Tummapaahtoaisessa kahvissa, jota on kuumennettu pidempään, polysakkarideja hajoaa enemmän kuin vaaleapaahtoaisessa. Arabinogalaktaanista hajoaa jopa 80 prosenttia. Klorogeenihappopitoisuudessa on todella huomattava ero paahdon jälkeen. Valmiissa tummapaahteisessa kahvissa on vain noin 20 milligrammaa klorogeenihappoa, kun taas vaaleapaahtoaisessa valmiissa kahvissa on 675 milligrammaa klorogeenihappoa. Karboksyylihapoista peretikkahappo sekä maitohappo lisääntyvät, mikäli paahto aika pitenee. Metaanihappoon ja etikkahappoon pitkä paahtoaste ei vaikuta lisäävästi.

Kahvin hyvä maku on siis monen kemiallisen osasen sekä reaktioiden summa. Tärkeää on tietenkin hyvä kahvipapu, mutta vielä tärkeämpää on, miten papua käsitellään, jotta siitä saataisiin parhaimmat osat esiin. Paahto on kahvin valmistuksen kemiallisesti ratkaisevin osa. Tärkeää on sekä oikea aika että oikea lämpötila. On kuitenkin hyvä muistaa, että vaikka kahvipapu olisi täydellisesti paahdettu ja jauhettu, vesi muodostaa vielä yhden tärkeimmistä elementeistä kahvinvalmistuksessa.

LÄHTEET

1. International Coffee Organization, Coffee market report, <http://www.ico.org/documents/cmr-0609-e.pdf>, luettu 20.8.2010
2. Borelli, R. C., Visconti, A., Mennella, C., Anese, M. ja Fogliano, V. *J. Agric. Food Chem.* **50** (2002) s. 6527-6533
3. Boekema, P. J., Samsom, M., van Berge Henegouwen, G. P. ja Smout, A. J. P. M. *Scand. J. Gastroenterol* **230** (1999) s. 35-39
4. Kemsley, E. K., Rualt, S. ja Wilson, R.H. *Food Chem.* **54** (1995) s. 321-326
5. Debry, G. *Coffee and Health* Gazelle Distribution Trade, 1993, s. 74
6. Hicks, A. *AU J.Technol.* **5** (2002)
7. Andueza, S., de Peña, M. P. ja Cid, C. *J. Agric. Food Chem.* **51** (2003) s. 7034-7039
8. Ollilainen, V. Paahdetun elintarvikkeen aromi ja väri, Maillardin reaktio, <http://wiki.helsinki.fi/display/KeittioKemiaa/Maillard+-reaktio>, luettu 20.9.2010
9. Borchgrevink, C. P., Susskind, A. M. ja Tarras, J. M. *Food Qual. Pref.* **10** (1999) s. 117-121
10. van Dusseldorp, M., Katan, M. B., van Vliet, T., Demacker, P. N. ja Stalenhoef, A.F. *AHA/C II* (1991) s. 586-593
11. Andueza, S., Maeztu, L., Dean, B., de Peña, M. P., Bello, J. ja Cid, C. *J. Agric. Food Chem.* **50** (2002) s. 7426-7431
12. Piazza, L., Gigli, J. ja Bulbarello, A. *J.Food Eng.* **84** (2008) s. 420-429
13. Redgwell, R. J., Trovato, V., Curti, D. ja Fischer, M. *Carbohydr. Res.* **337** (2002) s. 421-431
14. Bradbury, A. G. W. ja Halliday, D. J. *J. Agric. Food Chem.* **38** (1990) s. 389-392
15. Petrisko, T. ja Randall, N. Cellulose, <https://chempolymerproject.wikispaces.com/Cellulose-D-TPNR>, luettu 2.9.2010
16. Sachslehner, A., Foidl, G., Foidl, N., Gübitz, G. ja Haltrich, D. *J. Biotech.* **80** (2000) s. 127-134
17. BioSite, Mannan, www.biosite.dk/leksikon/mannan.htm, luettu 2.9.2010
18. Fischer, M., Reimann, S., Trovato, V., Redgwell ja R. J. *Carbohydr. Res.* **330** (2001) s. 93-101

19. Nuñez, F. M., Reis, A., Rosario, M., Domingues, M. ja Coimbra, M. A. *J. Agric. Food Chem.* **54** (2006) s. 3428-3439
20. Kotadiya, R., Guar Gum : A Better Polysaccharide for Colonic Drug Delivery, Guar gum,
http://www.pharmainfo.net/files/images/stories/article_images/Chemical_structure_guar_gum.jpg, luettu 2.9.2010
21. Leong, A., Gum Arabic, arabinogalactan,
<http://sci9bestq3bm.wikispaces.com/Gum+Arabic>, luettu 2.9.2010
22. Knopp, S., Bytof, G. ja Selmar, D. *Eur. Food Res. Technol.* **223** (2006) s. 195-201
23. McMurry, J. *Organic Chemistry* Thomson Brooks/Cole, 2008, s. 599
24. Olthof, M. R., Hollman, P.C.H. ja Katan, M.B. *J. Nutr.* **131** (2001) s. 66-71
25. Ginz, M., Balzer, H. H., Bradbury, A. G. W. ja Maier, H. G. *Eur. Food Res. Technol.* **211** (2000) s. 404-410
26. Clifford, M. N. *J. Sci. Food Agric.* **79** (1999) s. 362-372
27. Natella, F., Nardini, M., Giannetti, I., Dattilo, C. ja Scaccini, C. *J. Agric. Food Chem.* **50** (2002) s. 6211-6216
28. Clarke, R. J. ja Macrae, R. *Coffee: Physiology* Springer-Verlag New York, 1988, s. 34
29. Helsingin Avoin Yliopisto, kivennäisaineet,
http://www.avoin.helsinki.fi/oppimateriaalit/ravitsemustieteen_perusteet/04_kivennaisaineet.shtml, luettu 27.8.2010
30. Heaney, R., Recker, R. R. *J. Lab. Clin. Med.* **99** (1982) s. 46-55
31. Etra-liitto, Tärkeimmät kivennäisaineet,
<http://www.etra-liitto.fi/ravinto/ra11.html>, luettu 27.8.2010
32. Montavon, P., Mauron, A-F ja Duruz, E. *J. Agric. Food Chem.* **51** (2003) s. 2335-2343
33. Rogers, W. J., Bézardb, G., Deshayesa, A., Meyera, I., Pétiarda, V. ja Marraccinia, P. *Plant Physiol. Biochem.* **37** (1999) s. 261-272
34. Stadler, R. H., Robert, F., Riediker, S., Varga, N., Davidek, T., Devaud, S., Goldmann, T., Hau, J. ja Blank, I. *J. Agric. Food Chem.* **52** (2004) s. 5550-5558
35. Yarnell, A. *Chem. Eng. News* **80** (2002) s. 7
36. Curatolo, P.W. ja Robertson, D. *Ann. Intern. Med.* **98** (1983) s. 641-653
37. Chou, T. *West. J. Med.* **157** (1992) s. 544-554
38. Bunker, M.L. ja McWilliams, M. *J. Am. Diet. Assoc.* **74** (1979) s. 28-32

39. Higdon, J. V. ja Frei, B. *Crit. Rev. Food Sci. Nut.* **46** (2006) s. 101-123
40. McMurry, J. *Organic Chemistry* Thomson Brooks/Cole, 2008, s. 528
41. Ashihara, H. *Braz. J. Plant Physiol.* **18** (2006) s. 1-8
42. Moores, R. G. ja Greininger, D. M. *Anal. Chem.* **23** (1951) s. 327–331
43. Stadler, R. H., Varga, N., Hau, J., Vera, F. A. ja Welti D. H. *J. Agric. Food Chem.* **50** (2002) s. 1192-1199
44. Kurzrock, T. ja Speer, K. *Food Rev. Int.* **17** (2001) s. 433-450
45. Urgert, R. ja Katan, M.B. *J. R. Soc. Med.* **89** (1996) s. 618-623
46. Speer, K. ja Kölling-Speer, I. *Braz. J. Plant Physiol.* **18** (2006) s. 201-216