



FACULTEIT BIO-INGENIEURSWETENSCHAPPEN

Academiejaar 2014-2015

**Het effect van verschillende zout- en
droogtestressniveaus op de productie en kwaliteit van
tomaat (*Solanum lycopersicum* L. cv 'Dirk').**

Anne-Sofie Vandenbroucke

Promotor: prof. dr. ir. Kathy Steppe

Tutors: ir. Bart Van de Wal en dr. ir. Lieven Van Meulebroek

Masterproef voorgedragen tot het behalen van de graad van
Master of Science in de Bio-Ingenieurswetenschappen: Landbouwkunde

De auteur en de promotor geven de toelating deze masterscriptie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen ervan te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze masterscriptie.

Gent, juni 2015

De auteur,

Anne-Sofie Vandenbroucke

De promotor,

Prof. dr. ir. Kathy Steppe

Woord vooraf

Deze masterscriptie handelt over het effect van verschillende zout- en droogtestressniveaus op de productie en kwaliteit van tomaat (*Solanum lycopersicum* L. cv 'Dirk'). De mogelijkheid om een bijdrage te leveren aan de optimalisatie van een kwaliteitsproduct vormde voor mij de grootste motivatie om voluit voor dit onderwerp te gaan. Gesteund door mijn liefde voor tomaten werd het een aangename, verkennende zoektocht waarin productie en kwaliteit elkaar ontmoetten. De opgedane praktijkervaring tijdens de kweek van mijn 'Dirkjes' was een echte meerwaarde aangezien de theorie eindelijk werkelijkheid werd. Het zien opgroeien, het oogsten en het proeven van de eerste tomaten zijn ongetwijfeld de momenten die me het meest zullen bijblijven. Net als de uren in het labo, in de kelder of op de fiets doen me terugblikken op een toffe tijd waarin de samenwerking met Bart, Jesse, Hans en Lieven centraal staat.

Graag bedank ik dan ook prof. dr. ir. Kathy Steppe die vanuit haar bruisend enthousiasme haar passie voor ecofysiologie deelt en als promotor deze scriptie mogelijk heeft gemaakt. Ook wil ik iedereen die heeft bijgedragen aan de totstandkoming van deze masterproef uitdrukkelijk bedanken. Het gaat hierbij om Bart, die het project in goede banen leidde en me steeds voorzag van uitgebreid advies en opbouwende kritiek, Lieven, die mij bijstond tijdens de uitvoering en interpretatie van de chemische analyses, Jesse en Hans die mee instonden voor het onderhoud en het verloop van het experiment alsook Philip en Geert die instonden voor alle technische aspecten van de proefopstelling; zonder jullie was dit nooit mogelijk geweest. Tot slot wil ik Elien, Joachim, mijn ouders, mijn opa, Astrid en Jona in het bijzonder bedanken voor de ideale ontspanning tijdens het afgelopen thesisjaar.

Bedankt allemaal!

Abstract

Tomatoes are one of the most popular items of fresh produce in the world. The need for a product of good quality is increasing in the developed countries. Therefore, good environmental factors such as light intensity are required, which aren't always the case throughout the year in Northern Europe. Therefore, more research is required towards better cultivation techniques to produce full-flavored, uniform tomatoes year-round. The fresh market and the processing industry have indicated that they want tomatoes that meet their expectations. The major complaint by consumers regarding fresh tomatoes is the lack of characteristic taste and flavor, which is a side-effect of the large production volumes. To meet their needs on quality a tomato has not only to have that perfect red color but has also to own the ideal sweet-sour ratio. Meanwhile, criteria such as form, size, firmness, shelf life and sustainable production became ordinary. The industry yearns for a high content of dry matter. So, the breeders can only try to submit all these demands in order to further strengthen their market position.

This creates room for new developments. The search for full-flavored tomatoes without production loss is ongoing. This thesis attempts, based on different water supply and salinity, to estimate the effects of those treatments on the quality and production of tomatoes. In combination with the plant water status and the microclimate, quality parameters such as the concentration of hexose-sugars (fructose, glucose and sucrose) and organic acids (malate and citrate), firmness, production and such are measured. Based on those data an optimization of common cultivation techniques can be proposed.

The experiment consists of 5 different treatments in which the imposed drought- and salt stress can be compared with the control group. Therefore, 2 treatments were applied where the water supply changed for 100% to 80% and to 60% with an EC (electric conductivity) of 2,7 mS cm⁻¹ to point out the effect of drought. The other 2 treatment were these on salt stress. Here, the EC changed from 2,7 to 4 mS cm⁻¹ and till 6 mS cm⁻¹ with a water supply of 100%. Those 5 treatments influenced the plant behavior. There are (clear) differences in the sap flow, stem diameter, max daily shrinkage and water potential. When regulating the plant behavior throughout the water supply and electric conductivity of the nutrient solution it is required to fit these with environmental factors such as relative humidity, temperature, photosynthetic active radiation. These plant parameters can strongly influence the fruit production and quality.

The treatments with the highest drought and salt stress have the most pronounced results. The parameters changed the most under the highest salinity treatment. The tomatoes produced under those circumstances are smaller in size, have a deeper red color and a higher firmness towards the control and limited water supply treatments. Besides that, the fruits produced under the highest EC are also richer in sugars and acids content versus the other treatments. Because the taste is assumed to be better when the fruit contains more sugars, we can say that the needs of the consumers can be answered. However, quality is broader than taste. So firmness, color and aroma of the fruit are also important aspects that are decisive during the purchase. Besides all these positive elements, the smaller size of the fruits mergers with a lower yield per plant. That loss of yield leads to the demand of a premium price and the willingness to pay this higher price by the consumers. Therefore, in this story there should be a consideration between the loss in yield and the gain in taste.

Samenvatting

De tomaat, onze *pomme d'amour*, is wereldwijd een geliefde groente. Echter, voornamelijk in de ontwikkelde landen, dringt de vraag naar een kwaliteitsproduct zich op, gezien de nadelige omgevingsfactoren, zoals de geringe lichtintensiteit gedurende het grootste deel van het jaar. Derhalve wordt er volop gezocht naar teelttechnische middelen die jaarrond een uniforme, smaakvolle tomaatproductie voortbrengen. Zowel de versmarkt als de verwerkende industrie zijn hierbij vragende partij. De consument tolereert niet langer een inferieure kwaliteit, die vaak samengaat met de hoge productievolumes. Om aan deze kwaliteitseisen te voldoen moet een tomaat niet alleen perfect diep rood kleuren, maar ook over de ideale zoet/zuur-verhouding beschikken. Criteria als vorm, grootte, hardheid, houdbaarheid en duurzame productie zijn een basisvereiste geworden. De industrie verlangt op zijn beurt een hoog drogestofgehalte. Voor de telers zit er niets anders op dan al deze verwachtingen zo goed mogelijk in te willigen.

Daar de zoektocht naar smaakvollere tomaten zonder productieverlies lopende is, onderzoekt deze thesis de invloed van verschillende zout- en droogtestressniveaus op de productie en kwaliteit van tomaten. In combinatie met de plantwaterstatus en het microklimaat worden kwaliteitsparameters, zoals concentratie hexose-suikers (fructose, glucose en sucrose), concentratie organische zuren (citraat en malaat), hardheid en productie, gemeten. Aan de hand van deze metingen kunnen we zien in welke mate de gangbare teelttechnieken geoptimaliseerd kunnen worden.

De proefopzet bestond uit vijf verschillende behandelingen waaruit de opgelegde droogte- en zoutstress vergeleken kon worden met een controle behandeling. Zo waren er twee behandelingen waarin de watergift afnam van 100% tot 80% en tot 60% bij een EC (Elektrische Conductiviteit) van $2,7 \text{ mS cm}^{-1}$ om het effect van de droogte te toetsen. Daarnaast bestond de behandeling omtrent zoutstress uit een watergift van 100% waarbij de EC steeg van $2,7$ naar 4 mS cm^{-1} en tot 6 mS cm^{-1} . De vijf behandelingen beïnvloedden het plantgedrag in die mate dat er (duidelijke) verschillen te zien zijn in sapstroom, stengeldiametervariatie, maximale dagelijkse krimp alsook in waterpotentiaal. Het sturen van het plantgedrag via de watergift en de elektrische geleidbaarheid van de voedingsoplossing wordt daarom best afgestemd op de omgevingsvariabelen waaronder de relatieve vochtigheid, de temperatuur en de fotosynthetisch actieve straling. De parameters omtrent het plantgedrag kunnen de vruchtproductie en de vruchtkwaliteit sterk beïnvloeden.

Globaal gezien wegen de behandelingen met de hoogste droogte- en zoutstress het meest door in het plantgedrag ten opzichte van de controle en andere behandeling. Bovendien kan gesteld worden dat de parameters het meest variëren onder de hoogste zoutstress. De tomaten die geteeld worden bij die omstandigheden brengen kleinere, donkerrode en hardere vruchten voort die rijker zijn aan suikers en zuren ten opzichte van de controle- en de droogtestress behandelingen. Aangezien de smaak als beter wordt verondersteld wanneer de vrucht meer suikers bevat, kunnen we stellen dat de vraag van de consument naar smaakvollere tomaten beantwoord kan worden. Echter, kwaliteit is meer dan smaak alleen. Zo zijn ook de stevigheid, kleur en geur van een vrucht belangrijke aspecten, die doorslaggevend zijn bij de aankoop. Echter, het kleiner zijn van de vruchten zorgt voor een beduidend lagere opbrengst per plant. Dit brengt een verlies met zich mee, wat zich vertaalt in de nood aan een realistische meerprijs en de vraag of de consument bereid is deze te betalen. In dit verhaal moet een afweging gemaakt worden tussen het verlies aan kilo's en het gewin aan smaak.

Inhoudstafel

1. Literatuurstudie	1
1.1 Inleiding.....	1
1.2 Oorsprong en domesticatie.....	1
1.3 Taxonomie.....	2
1.4 Algemene teeltkenmerken.....	2
1.5 Morfologie en fysiologie	4
1.5.1 Algemene inleidende kenmerken m.b.t. kwaliteit.....	4
1.5.2 Vruchtontwikkeling	5
1.5.2.1 Sigmoidale groei.....	5
1.5.2.2 Invloeden van omgevingsfactoren.....	5
1.5.2.3 Suikermetabolisme.....	6
1.5.2.4 Assimilaatverdeling tijdens plantontwikkeling	7
1.5.3 Vruchtgroei en sinksterkte	8
1.5.3.1 Vruchtgrootte en drogestofaccumulatie.....	8
1.5.3.2 Assimilatentransport in vrucht.....	8
1.5.3.3 Verdeling van zetmeel en suikers in de vrucht	10
1.6 Vruchttoegst en vruchtkwaliteit.....	12
1.6.1 Opbrengst.....	12
1.6.2 Vruchtkwaliteit	12
1.6.2.1 Droge stof.....	13
1.6.2.2 Smaak en aroma.....	13
1.6.2.3 Vorm, kleur en stevigheid	14
1.6.2.4 Fysiologische afwijkingen	15
1.7 Kwaliteitsystemen	17
1.8 Kwaliteitsonderzoek.....	18
1.9 Doelstelling.....	19

2. Materiaal en methode	21
2.1 Proefopzet	21
2.2 Plantmetingen	23
2.2.1 Waterpotentiaal	23
2.2.2 Stengeldiametervariaties.....	25
2.3 Vruchtmetingen.....	26
2.3.1 Metingen suikergehalte.....	26
2.3.2 Chemische analyses.....	27
2.3.2.1 Monstervoorbereiding en extractie	27
2.3.2.2 Chromatografische scheiding	28
2.3.2.3 Detectie	28
2.3.2.4 Kwantificatie	29
2.3.3 Hardheid	30
2.4 Statistische dataverwerking	30
3. Resultaten.....	31
3.1 Overzicht van het groeiseizoen	31
3.2 Plantmetingen	33
3.2.1 Sapstroom.....	33
3.2.2 Stengeldiametervariatie	34
3.2.3 Maximale dagelijkse krimp.....	34
3.2.4 Stengelwaterpotentiaal, ψ	35
3.3 Vruchtmetingen.....	36
3.3.1 Tomaatdiametervariatie.....	36
3.3.2 Suikers en zuren	40
3.3.3 Relatie tussen °Brix- en absolute concentratiewaarden suikers.....	46
3.3.4 Hardheid	46
3.3.5 Resultaten gebaseerd op foto's.....	47

4. Discussie	49
4.1 Waterstatus van de plant.....	49
4.1.1 Sapstroom	49
4.1.2 Stengeldiametervariatie.....	50
4.1.3 Maximale dagelijkse krimp.....	50
4.1.4 Waterpotentiaal	50
4.1.5 Algemeen	51
4.2 Kwaliteit van de vrucht.....	52
4.2.1 Vruchtdiametervariatie	52
4.2.2 Suikers en zuren	53
4.2.3 °Brix en HPLC.....	54
4.2.4 Hardheid.....	54
4.2.5 Algemeen	55
5. Conclusie	57
6. Literatuurlijst	59

Lijst van afkortingen

Tabel 1. Lijst van afkortingen

Afkorting	Betekenis
DOY	'Day of the year' (dag van het jaar)
DAA	'Days after anthesis' (dagen na de bloei)
EC	Elektrische Conductiviteit
AI	'Acid invertase' (zuur invertase)
NFT	'Nutrient Film Technique'
EUREP	'EUro-REtailer Produce working group'
VCBT	Vlaams centrum voor Bewaring van Tuinbouwproducten
LVDT	'Linear Variable Displacement Transducer'
PAR	'Photosynthetic active radiation' (Fotosynthetische actieve straling)
HPLC	'High Performance Liquid Chromatography'
LC	'Liquid Chromatography'
ELSD	'Evaporative Light Scattering Detection'
ESI	'Electrospray Ionisation'
LTQ-XL	'Linear Ion Trap Mass Spectrometer'
ANOVA	Variantieanalyse
RV	Relatieve vochtigheid
VPD	'Vapour Pressure Deficit'
DS	Droge stof
VG	Vers gewicht
DG	Droog gewicht
TSS	Totale suikergehalte
MDS	'Max Daily Shrinkage' (Maximale dagelijkse krimp)
cv.	Cultivar
ψ	Waterpotentiaal

1. Literatuurstudie

1.1 Inleiding

Tomaat is een populaire vruchtgroente, die wereldwijd gebruikt wordt als bron van vitamines en mineralen. Volgens de FAO bedroeg de productie van tomaat 163,96 miljoen ton in 2013, wat veel hoger is dan andere populaire vruchten zoals appels (80,82 M ton), bananen (106,71 M ton) en druiven (77,18 M ton). Aangezien de vraag naar tomaten steeds groter wordt, is het areaal wereldwijd de afgelopen twintig jaar van 3,15 naar 4,73 miljoen hectare gestegen. Samen met de substantiële verbeteringen in de opbrengst, is de tomatenproductie in diezelfde tijdspanne ook globaal met 1,97% gestegen (FAO, 2015).

De vraag naar een kwaliteitsproduct dringt zich voornamelijk in de ontwikkelde landen op. Echter, net daar spelen de heersende omgevingsfactoren, waaronder lichtintensiteit, een groot deel van het jaar in het nadeel. Er wordt dan ook volop gezocht naar teelttechnische middelen die het jaar rond een uniforme, smaakvolle tomaat voortbrengen. Zowel de versmarkt als de verwerkende industrie zijn hierbij vragende partij. De consument tolereert niet langer een inferieure kwaliteit, die vaak samengaat met de hoge productievolumes. Om aan deze kwaliteitseisen te voldoen moet een tomaat niet alleen perfect dieprood kleuren, maar ook over de ideale zoet-zuurverhouding beschikken. Criteria als vorm, grootte, hardheid, houdbaarheid en duurzame productie zijn ondertussen een basisvereiste geworden (Martinez-Carrasco *et al.*, 2011). De industrie verlangt op zijn beurt dan weer naar een hoog drogestofgehalte. De telers trachten dan ook deze verwachtingen zo goed mogelijk in te willigen. De zoektocht naar smaakvollere tomaten zonder productieverlies is bijgevolg lopende. In het kader van deze thesis werd getracht de invloed van verschillende zout- en droogtestressniveaus op de productie en kwaliteit van tomaten te bepalen. In combinatie met plantwaterstatus en microklimaat werden kwaliteitsparameters zoals de concentratie aan hexose-suikers (fructose, glucose en sucrose) en organische zuren (citraat en malaat), hardheid, productie en dergelijke gemeten. Aan de hand van deze metingen kon worden nagegaan in welke mate de gangbare teelttechnieken kunnen bijdragen tot een optimale vruchtkwaliteit- en productie.

Het doel van deze literatuurstudie is om, voornamelijk gebaseerd op de fysiologische achtergrond, enkele aspecten aan te halen die invloed hebben op de tomaatproductie waaronder de omgevingsfactoren, die bijdragen tot optimale groei-, oogst- en kwaliteitscondities, alsook een inschatting van de complexiteit in de source-sink relaties van de betrokken assimilaten. Echter, alvorens dat alles aangevat wordt, volgt eerst wat algemene, geschiedkundige en teelttechnische informatie.

1.2 Oorsprong en domesticatie

Het oorsprongsgebied van de gecultiveerde tomaat, *Solanum lycopersicum* var. *esculentum*, beperkt zich tot een smalle landstrook langsheen de westelijke kustvlakte van noordelijk Zuid-Amerika. Via deze lange smalle strook strekt dit gebied zich uit van aan de evenaar in Ecuador, over Peru, tot in het noorden van Chili. Ook de Galapagoseilanden behoren tot het oorsprongsgebied, hoewel deze fysisch gescheiden zijn van de rest van het oorsprongsgebied (Jenkins, 1948).

De habitats waarin de wilde variëteiten voorkomen, zijn zeer divers. Zo omvatten ze onder meer aride Pacifische kustvlakten, smalle vruchtbare valleien en hoogplateaus ten westen van de Andes. De aanpassingen aan al deze uiteenlopende microklimaten, in de zowel geografisch als ecologisch

sterk verschillende habitats, hebben bijgedragen tot een brede variëteit aan soorten binnen de wilde tomaat (Warnock, 1988).

De vermoedelijke voorouder van de gecultiveerde tomaat is de wilde variëteit *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* dewelke een wijde verspreiding kent. De cultuurtomaat komt niet in het wild voor, maar is vermoedelijk uit deze *cerasiforme* variëteit gedomesticeerd. De oorsprong van domesticatie wordt betwist tussen Mexico en Peru, al is er onvoldoende bewijs om het initiële gebied van de domesticatie toe te kennen aan een van beide. Er wordt dan ook aangenomen dat de *cerasiforme* variëteit waarschijnlijk onafhankelijk van elkaar gedomesticeerd is in beide regio's (Peralta & Spooner, 2006).

In de 16^e eeuw bereikte de tomaat voor het eerst Europa, waar de plant aanvankelijk werd beschouwd als een (giftige) sierplant. Pas tegen het einde van de 19^e eeuw werd de tomaat algemeen voor consumptie geaccepteerd (Peralta & Spooner, 2006).

Kennis omtrent het oorsprongsgebied is vooral voor de veredelaar van groot belang. De wilde soorten dragen nog steeds bij tot de veredeling van de cultuurtomaat. Dit omdat de wilde soorten via hun resistentiegenen een inbreng hebben tegen verschillende ziekten en plagen alsook genen bezitten die bijdragen tot vruchtkwaliteit, stresstolerantie en gemakkelijkere oogsttechnieken (Van Labeke, 2011).

1.3 Taxonomie

De tomaat behoort tot de familie van de Solanaceae. De nachtschadigen omvatten een tachtigtal genera die zowel in gematigde als in warme gebieden verspreid zijn (Warnock, 1988). Tot deze plantfamilie behoren enkele belangrijke cultuurgewassen waaronder de genera *Capsicum* (scherpe of Spaanse peper en paprika), *Nicotiana* (tabak) en *Solanum* (tomaat, aardappel en aubergine) (Van Labeke, 2011).

1.4 Algemene teeltkenmerken

In de substraatteelt bevindt het wortelstelsel zich in de mat. Aangezien de overgang tussen de wortelhals en de stengel zwak is, is het steunen van de stengel nodig. In dit experiment werd gewerkt met een onbegrensde cultivar. Deze tomatenplanten vertonen een sterke neiging naar vertakking, waardoor de rassen die hoofdzakelijk gebruikt worden in de commerciële teelten geselecteerd worden op een begrensde groei. Dit houdt in dat telkens wanneer er 1 of 2 bladeren gevormd zijn er een bloeiwijze aangelegd wordt. De bloemen staan in naar onder gekeerde schermvormige trossen, die zijstandig ingeplant staan t.o.v. het blad. Kruisbestuiving is mogelijk al is zelfbestuiving de regel. De kwaliteit van het stuifmeel is belangrijk. Zo is een te laag fosforgehalte, een te hoog stikstofgehalte, een te hoge temperatuur en relatieve vochtigheid nefast voor een goede bestuiving. De vrucht is een vlezige bes en kan sterk verschillen in grootte en vorm. De hoeveelheid drogestof, de dikte van de buitenste vruchtwand, de dikte van de tussenwanden, het aantal zaden, de geur, de smaak, de kleur, de houdbaarheid dragen elk op hun manier bij tot de vruchtkwaliteit. Deze kenmerken wijzigingen sterk tijdens de vruchtrijping (Van Labeke, 2011).

In de productie onder glas is doorteelt de belangrijkste teeltvorm. Hierbij worden in december of januari een zestal weken oude plantjes (afkomstig van een gespecialiseerd zaaibedrijf) overgeplant in de productieserres. De volledige teeltduur bedraagt elf tot twaalf maanden, waardoor slechts één teelt per jaar mogelijk is. Vaak wordt er via een hoge draad systeem geteeld zoals in Figuur 1.1 te

zien is als de witte gespannen draden. De planten groeien continu tot aan het moment van toppen. Wanneer de kop van de plant het hoogste punt van de draad bereikt, laat men de planten ongeveer een halve meter zakken en schuift men de planten iets op in de rij. Aangezien de planten tegen het einde van de teelt tot wel 10 m lang kunnen worden, moeten deze dan ook steeds in hun groei begeleid worden. Zo worden er in totaal door één stengel, gedurende de volledige teelt, 32 à 35 trossen geproduceerd (Van Labeke, 2011).

Karakteristieken zoals groeikracht, gewastype, lengtegroei en het aantal gezette trossen zijn zeer belangrijk voor het verloop van de teelt en de productie. Tijdens de veredeling en de selectie van de cultivar wordt hier veel aandacht aan besteed. Zeker met het oog op de productie onder glas, aangezien deze in volle grond dalende is (FAO, 2015).



Figuur 1.1. Afbeelding van de proefopzet.

Bij tomaten die geteeld worden in hydrocultuur worden de substraatmatten verzadigd met een voedingsoplossing. De hoeveelheid voedingsoplossing kan hierbij gewijzigd worden in functie van de vooropgestelde EC (elektrische conductiviteit) alsook de watergift. De EC is de elektrische geleidbaarheid van de voedingsoplossing en is een maat voor de hoeveelheid voedingselementen (ionen) rondom de wortels. Met de samenstelling van deze voedingsoplossingen kan de plantengroei worden geregeld. Deze EC-regeling in combinatie met de sturing van de relatieve vochtigheid en de matvochtigheid, biedt de mogelijkheid aan telers om de plantopbouw en kwaliteit te sturen.

Elke plantensoort heeft een eigen karakteristieke voedingsoplossing. De balans in elementen is afhankelijk van de groeiwijze. Het aantal ionen in oplossing, de EC, is bepalend voor de groeisnelheid van het gewas. Een hoge EC beperkt de opname van water, waardoor het groeipunt tijdens de celstrekking minder kan uitrekken en zorgt ook voor een te zout substraat (i.e. de toxische effecten ten gevolge van een te hoge concentratie van bepaalde ionen), waardoor de wortels kunnen afsterven. Een te lage EC daarentegen geeft de plant te weinig voeding om te groeien, voornamelijk komt dit door het limiterende effect van 1 element.

Het effect van de EC is ook gekoppeld met de watergift. Hoe droger het substraat (te wijten aan het verdampen van water), hoe hoger de EC wordt (aangezien de ionen achterblijven). Daarnaast speelt de sapstroom, gedreven door verdamping, een belangrijke rol. Hoe meer water er door de plant stroomt, hoe meer voedingselementen er in de plant terechtkomen. Indien de EC te hoog is, zorgt dit voor een overmaat aan ionen. De concentratie aan deze ionen is in de bladranden en –punten meestal erg hoog hierdoor, wat in feite een beschermingsreactie is van de plant. Want als het gehalte aan ionen te hoog wordt, dan sterft alleen de bladrand of –punt af. Andere planten gutereren om hun overtollige zout kwijt te raken (Hummelen, 2006).

1.5 Morfologie en fysiologie

1.5.1 Algemene inleidende kenmerken m.b.t. kwaliteit

Een tomaat bestaat hoofdzakelijk uit water ($\pm 94\%$) en bevat weinig calorieën (19 kcal/100 g). De voedingswaarde per 100 g vrucht bestaat uit 1 g eiwitten en 3 g koolhydraten. De gemiddelde hoeveelheid aanwezige minerale componenten is 6 mg Na, 297 mg K, 14 mg Ca, 26 mg P en 10 mg Mg. Wat de vitaminen betreft is tomaat met 24 mg rijk aan vitamine C (Voedingswaardetabel, 2015).

Een onrijpe tomaat bevat een groot aandeel sucrose. Deze wordt verbruikt tijdens de opbouw van de plant, de respiratie en de omzetting naar andere suikers. De concentratie aan sucrose in rijpe tomaten is (meestal) verwaarloosbaar klein. Nochtans heeft een rijpe tomaat een drogestofgehalte van 5-7%, waarvan ruim de helft suikers zijn (Davies & Hobson, 1981). Dit zijn zo goed als uitsluitend glucose en fructose. Naast deze suikers is het gehalte aan organische zuren, waaronder appelzuur (malaat) en citroenzuur (citraat), vrij hoog.

Daar waar de suikerconcentratie voornamelijk bepaald wordt door de lichtintensiteit, kunnen de gehalten aan zuren hoofdzakelijk gerelateerd worden aan de kaliumconcentratie. Een verhoging van de EC in het wortelmilieu zorgt voor een daling in de wateropname. Aangezien het water moeilijker opneembaar is, is er een sterker negatieve potentiaal nodig om het water te kunnen opnemen. Hierdoor gaat er minder water naar de vrucht wat leidt tot kleinere tomaten met hogere concentraties aan suikers en organische zuren. Aangezien de organische zuren en suikers van groot belang zijn voor de smaak, wordt die bij een hogere EC beter verondersteld. Al spelen naast dit concentratie-effect ook fysiologische responsen waarbij bepaalde processen worden geactiveerd om een hogere concentratie aan bepaalde stoffen te krijgen een belangrijke rol. Overigens dragen aminozuren en polyfenolen ook bij aan het aroma van de tomaat, hoewel ze in lagere concentraties voorkomen. De rode kleur is te wijten aan de vorming van carotenoiden zoals lycopen tijdens het rijpen van de vrucht (Van Labeke, 2011).

1.5.2 Vruchtontwikkeling

1.5.2.1 Sigmoidale groei

De groei van de tomatenvrucht, zijnde de winst aan versgewicht, wordt beschreven door een typische sigmoidale groeicurve. In het begin van de ontwikkeling is er een trage groei (2 weken) die vooral bepaald wordt door de celdeling en de initiële celvergroting (Ho & Hewitt, 1986). Deze fase wordt gevolgd door een periode van 3 à 5 weken, waarin de dagelijkse droge stof- en wateraccumulatie hun maxima bereiken (ongeveer 3 weken na anthesis)(Ho, Grange, & Picken, 1987). De laatste fase (de rijping) duurt 2 weken en wordt gekenmerkt door een hoge metabolische activiteit, zonder sterke groei. De snelheid waaraan de assimilaten aangevoerd worden tijdens deze snelle groei fase is cruciaal voor het finale vruchtgewicht, aangezien die positief gerelateerd is aan de maximale groeisnelheid(Grange & Andrews, 1993a).

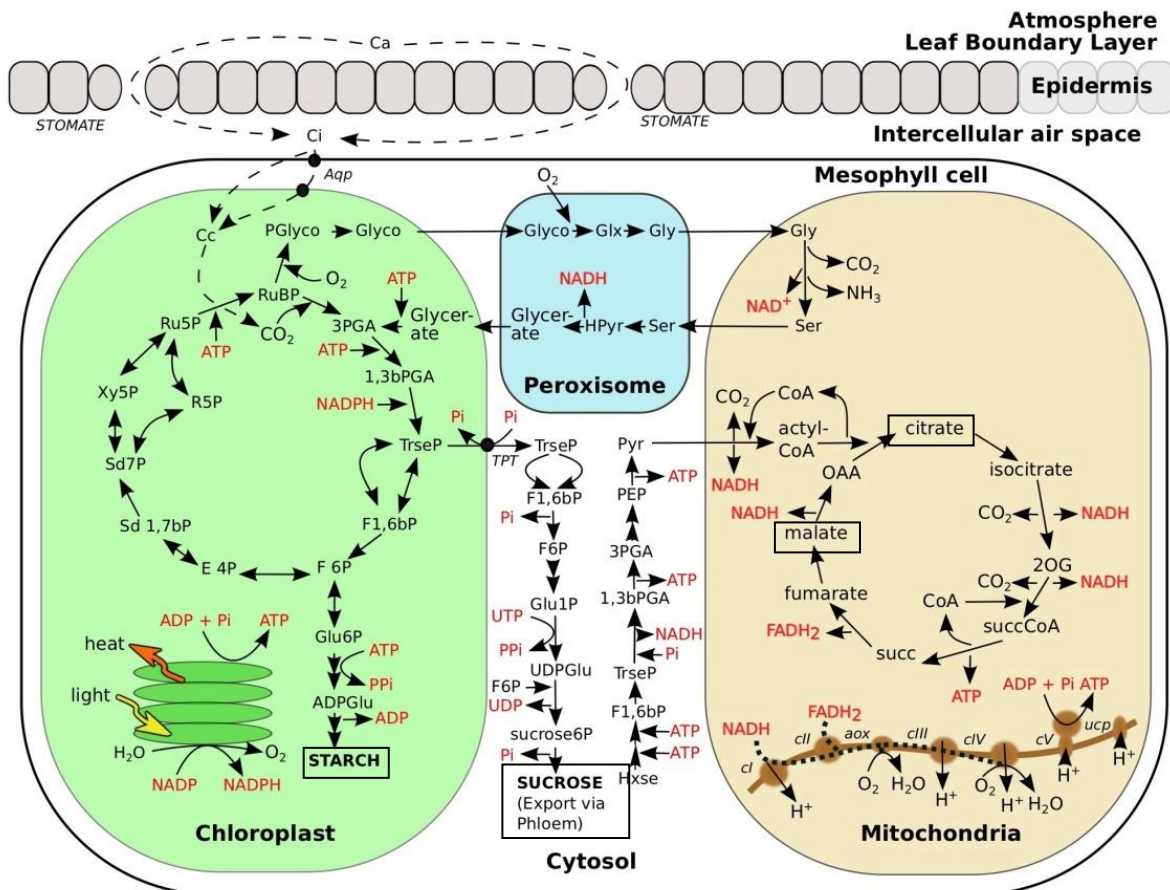
1.5.2.2 Invloeden van omgevingsfactoren

Omgevingsfactoren waaronder temperatuur, lichtintensiteit, beschikbaarheid van mineralen en water spelen een belangrijke, maar complexe rol tijdens de vruchtgroei. De temperatuur heeft een effect op de uiteindelijke vruchtgrootte aangezien een hogere temperatuur (meer transpiratie) leidt tot een snellere koolstofimport en volumegroei wanneer de vrucht niet onder droogtestress staat (Pearce *et al.*, 1993b). Die transpiratie induceert droogtestress indien er niet genoeg water aanwezig is, wat resulteert in een lagere volumegroei van de vrucht net daar waar een hogere temperatuur een stijging in de dagelijkse volumegroei induceert (Pearce *et al.*, 1993). Op lange termijn zorgt een hoge temperatuur voor een kortere vruchtgroei en zo voor een kleinere vruchtgrootte. Daardoor is het positieve effect van een hoge temperatuur op de vruchtgrootte alleen van toepassing als de toevoer van de assimilaten en water ongelimiteerd is (Ho , 1996).

In het algemeen heeft droogtestress een diepgaander en directer effect op de groei (Pearce *et al.*, 1993b). Zo kan de snelheid van de vruchtgroei en de finale vruchtgrootte substantieel verlaagd worden door osmotische stress, maar de import van de assimilaten wordt hierbij niet beïnvloed (Ho *et al.*, 1987). Het kan gebeuren dat door droogtestress het volume aan floëmsap in de plant vermindert, wat leidt tot een verhoging van de assimilatenconcentratie in het sap (Plaut *et al.*, 2004). Hierdoor blijft de hoeveelheid getransporteerde assimilaten constant. Al moet er ook rekening gehouden worden met het sluiten van de stomata om zo het teveel aan transpiratie een halt toe te roepen. De plant springt hierdoor onder stress efficiënter om met zijn water. Dit heeft tot gevolg dat er minder CO₂ kan worden opgenomen, waardoor de fotosynthese daalt. Dit heeft direct effect op de aanmaak van assimilaten, waardoor planten die lang onderhevig zijn aan stress, wel beïnvloed kunnen worden in de hoeveelheid getransporteerde assimilaten.

1.5.2.3 Suikermetabolisme

Zetmeel en sucrose zijn de belangrijkste eindproducten van de fotosynthese. Zoals weergegeven in Figuur 1.2 wordt zetmeel gevormd in het stroma van de chloroplast en sucrose in de cytosol. Sucrose is de meest getransporteerde vorm van gereduceerde koolstof in hogere plantensoorten en wordt vastgehouden in de opslagweefsels, verder gemetaboliseerd om celmetabolisme en -groei te verzekeren of omgezet naar alternatieve opslagcomponenten(Quick & Schaffer, 1996).



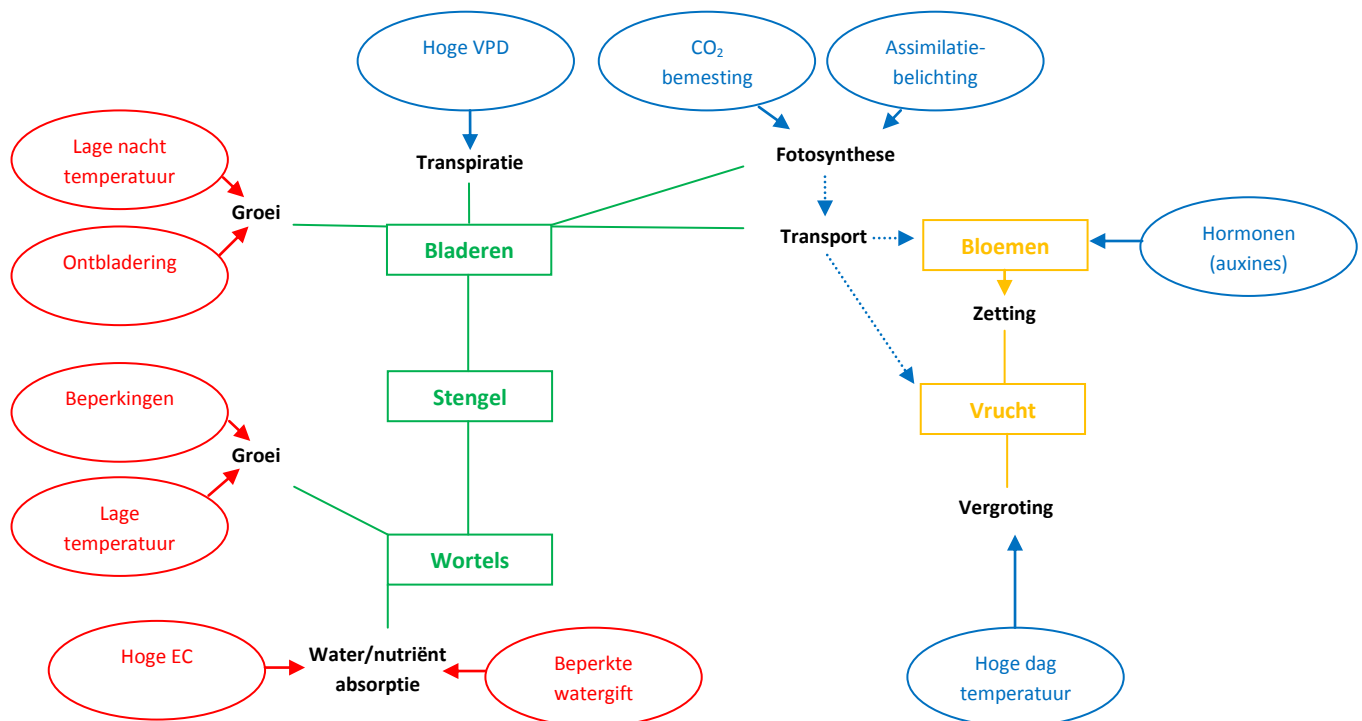
Figuur 1.2. Primair koolstof metabolisme in een fotosynthetiserend C₃-blad. De zetmeel synthese in de chloroplast (thylakoïd membranen), de sucrose synthese en glycolyse in het cytosol en de citraat productie in de mitochondriën worden weergegeven. Ook de fotorespiratiereacties in de chloroplast, in het peroxisoom en in de mitochondriën zijn er in terug te vinden. De onderbroken pijlen zijn de CO₂ diffusie van de atmosfeer (Ca) naar de intercellulaire ruimte van het blad (Ci) en naar het stroma van de chloroplast (Cc). De volle zwarte pijlen vertegenwoordigen de biochemische reacties (Skillman *et al.*, 2011).

1.5.2.4 Assimilaatverdeling tijdens plantontwikkeling

De verdeling van assimilaten in de plant is afhankelijk van het ontwikkelingsstadium van de plant (Balibrea *et al.*, 1996). Doorheen de ontwikkeling wijzigen de belangen, wat duidelijk wordt bij een gelimiteerde assimilantentoevoer (Ho, 1996). Wanneer een plant zich in het vegetatieve stadium bevindt, hebben de wortels een grotere opname van assimilaten dan de jonge bladeren. Maar het belang van de bladeren is op hun beurt groter dan die van de bloemen. Bloemabortie kan onder limiterende omstandigheden dan ook voorkomen. Dit is anders wanneer de plant generatief is. Het belang van de vruchten is dan groter dan die van de jonge bladeren, die eerder van assimilaten voorzien worden dan de bloemen en de wortels (Ho *et al.*, 1989).

De verdeling van de assimilaten wordt bepaald door de intrinsiek aanwezige potentiële sinksterkte van de verschillende sinkorganen (Ho, 1988). Hierin spelen actoren als instraling, CO₂, temperatuur, bemesting en water een cruciale rol. Zo zorgt een lage instraling voor een gebrek aan assimilaten waardoor de vruchtzetting niet optimaal verloopt. Assimilatiebelichting en CO₂-bemesting kunnen hier een oplossing bieden.

Het effect van de temperatuur op de assimilatenverdeling is zeer complex aangezien de temperatuur een rol speelt in bloeminitiatie, bloemontwikkeling, vruchtzetting en vruchtgroei. De aanwezigheid van jonge bladeren wordt ervaren als competitie ten opzichte van de vruchten. Het verwijderen van deze bladeren verbetert dan ook de assimilantentoevoer. Al zorgt dit op lange termijn voor een reductie aan assimilaten aangezien het fotosynthetisch actieve oppervlak daalt, waardoor de groei van volgende trossen vertraagd kan worden (Ho, 1996). In Figuur 1.3 wordt een illustratie gegeven van de effecten die teelttechnieken en omgevingsomstandigheden kunnen veroorzaken.



Figuur 1.3. De wijziging in teelttechniek en in klimaatregeling welke de vegetatieve groei remmen (rood) of de generatieve ontwikkeling stimuleren (blauw) om de tomatenproductie te verhogen wanneer de beschikbaarheid van de assimilaten beperkt is. Aangepaste weergave naar (Ho, 1996).

1.5.3 Vruchtgroei en sinksterkte

De groei van een tomaat is afhankelijk van de accumulatie van water, assimilaten en mineralen. De mogelijkheid van een vrucht om assimilaten te verkrijgen, varieert tussen de vruchten op dezelfde tros, tussen de verschillende trossen op dezelfde plant en tussen de verschillende cultivars (Ho *et al.*, 1983). De import van assimilaten in een tomatenvrucht wordt in de eerste plaats bepaald door de aanvoer van de overeenstemmende bronnen (bladeren) en de competitie met andere vruchten. De vruchtgroei wordt hierdoor gereguleerd door de sinkactiviteit (processen van het floëemtransport, het metabolisme en de verdeling van de geïmporteerde assimilaten in de vruchten) alsook de sinkgrootte (het aantal opslagcellen in de vrucht) (Ho, 1992).

1.5.3.1 Vruchtgrootte en drogestofaccumulatie

De uiteindelijke grootte van gecultiveerde tomaten varieert tussen 15g voor kerstomaten tot meer dan 450g voor vleestomaten. Ondanks deze variatie in grootte bevindt de duur van de rijping van de vrucht zich in dezelfde grootorde (40-60 dagen). Het drogestofgehalte van de rijpe vrucht bevindt zich tussen de 5 en 7.5% voor de meeste gecultiveerde tomaten (Davies & Hobson, 1981).

Het aantal cellen in de vrucht is een cruciale factor voor de variabiliteit van de grootte van een tomaat. Het verschil in het finale aantal cellen in de pericarp tussen de proximale en distale vrucht van dezelfde tros of tussen cultivars met substantieel verschillende vruchtgroottes, bepalen deels de finale vruchtgroottes (Ho, 1992). Vruchtgrootte is verder ook positief gecorreleerd met het zaadaantal. De auxines (bepaalde planthormonen), die geproduceerd worden door de zaden, zijn de regulerende factor voor vruchtvergroting. De piek in auxineactiviteit in een vrucht komt voor de piek van de vruchtvergroting. Mogelijks is het potentiële aantal zaden gerelateerd aan het aantal cellen in de vrucht, en wordt de potentiële vruchtgrootte bepaald door factoren die zowel het celaantal als het zaadaantal reguleren (Ho, 1992).

Vruchtgrootte is verder ook invers gerelateerd met EC, terwijl de drogestofaccumulatie een lineaire stijging kent met verhoging van de EC. Uit verschillende studies en groeicondities is af te leiden dat zoutgehaltes hoger dan 2,3-5,1 mS cm⁻¹ resulteren in een ongewenste opbrengstverlaging, terwijl ECs van 3,5-9,0 mS cm⁻¹ de tomaatkwaliteit verbeteren. Door het klimaat binnenin de kas te sturen, kunnen de negatieve effecten op opbrengst en kwaliteit die te wijten zijn aan respectievelijk hoge of lage zoutgehaltes, wel gecompenseerd worden (Dorais *et al.*, 2001).

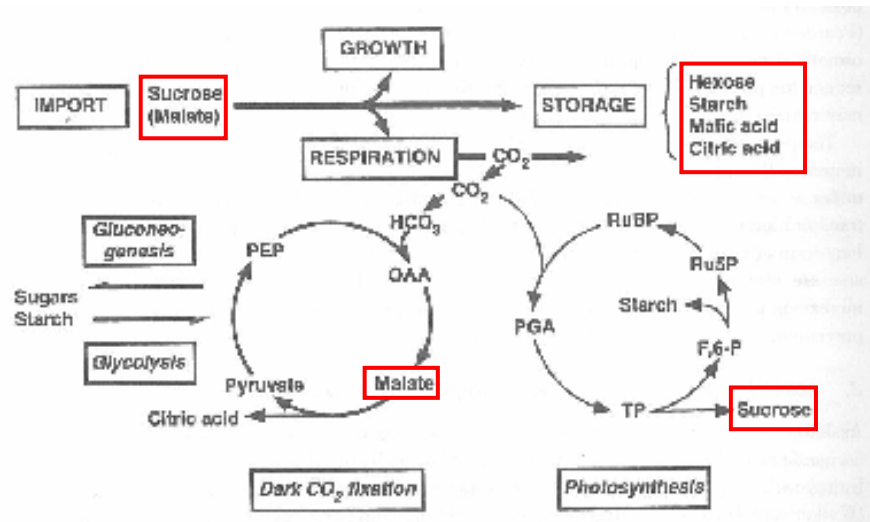
1.5.3.2 Assimilatentransport in vrucht

Aangezien de door de vrucht gefotosynthetiseerde koolstof slechts een beperkt aandeel is van het totale koolstofbudget tijdens de vruchtgroei, is de import aan assimilaten in de tomaat de grootste bron van koolstof (Tanaka *et al.*, 1976). Het belangrijkste assimilaat dat geïmporteerd wordt in de tomaat is sucrose (Walker & Ho, 1977). Sucrose wordt gebruikt voor opbouw van de celstructuur, de groei, de respiratie en de opslag. Tijdens de vruchtrijping vindt er een omzetting plaats van sucrose naar glucose en fructose. De voornaamste koolstofreserves in een rijpe tomaat zijn dan ook die twee suikers. Samen tellen deze voor ongeveer de helft van het totale gehalte aan droge stof van een tomaat (Davies & Hobson, 1981).

Tijdens de donkerreactie wordt CO₂ hoofdzakelijk gefixeerd als een intermediair van de 'reductieve pentose fosfaat'-cyclus, om vervolgens gefixeerd te worden als malaat. Dat wordt gebruikt om suikers en zetmeel te vormen via gluconeogenese (Farineau & Laval-Martin, 1977). Tijdens de

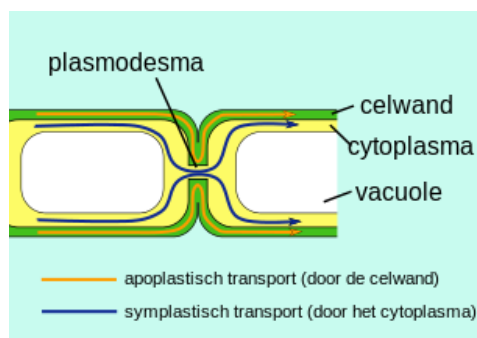
vruchtvergroting wordt tot 25% van het geïmporteerde koolstof gerespireerd door de vrucht (Ho, Grange, & Picken, 1987). Figuur 1.4 illustreert dit.

Als het mogelijk zou zijn om meer koolstof te behoeden van respiratorische verliezen, dan is een verhoogde accumulatie van drogestof in de vrucht mogelijk zonder verdere stijging van de import van assimilaten. Hierdoor is in theorie de accumulatie van drogestof in tomaat te verbeteren door enerzijds de koolstofimport te verhogen via de bladeren en anderzijds door een betere refixatie van CO_2 en een verhoogde koolstofflow voor malaat naar suikers in de vrucht (Ho, 1996).



Figuur 1.4. De koolstofimport, de koolstoffixatie en het koolstofbudget in de tomaat worden weergegeven door de koolstofflows van de geïmporteerde sucrose of van de refixatie van de koolstof naar koolstofopslag (Ho, 1996).

Een aantal processen reguleren de aanvoersnelheid van de geïmporteerde assimilaten naar de tomaten. Deze processen omvatten naast het transport van sucrose in het floëem ook de accumulatie van glucose en fructose in de vacuole van de opslagcellen (Ho, 1996). Aangezien sucrose ongeladen is, wordt het ofwel symplastisch (door het cytoplasma) via de plasmodesmata ofwel apoplastisch (door de celwand) via het floëem naar de aangrenzende opslagcellen (vacuolen) in de vrucht getransporteerd (Figuur 1.5) (Damonet *et al.*, 1988). De regulatie van het membraantransport van de suikers speelt een belangrijke rol in de import van assimilaten (Ho, 1996).



Figuur 1.5. Illustratie apoplastisch en symplastisch transport.

1.5.3.3 Verdeling van zetmeel en suikers in de vrucht

Suikers en zetmeel tellen elk voor ongeveer 10% van het drooggewicht in één week oude vruchten. De verhouding van zetmeel ten opzichte van het drogestofgehalte in de vrucht stijgt tot 20% tijdens de eerste drie weken en daalt vanaf dan terwijl de verhouding van de suikers stijgt tot 50%. Tijdens het afrijpen van de vrucht wordt sucrose omgezet in glucose en fructose. Deze dragen samen bij tot 75% van de wateroplosbare stoffen in de rijpe vruchten (Davies & Hobson, 1981). De suikerconcentratie (% van drogestof) is hoger dan de zetmeelconcentratie in een rijpe vrucht. Zelfs in de pericarp, waar de suikerconcentratie lager is dan in het vruchtvlees, zitten er meer suikers dan zetmeel (Demmitz-King, 1993).

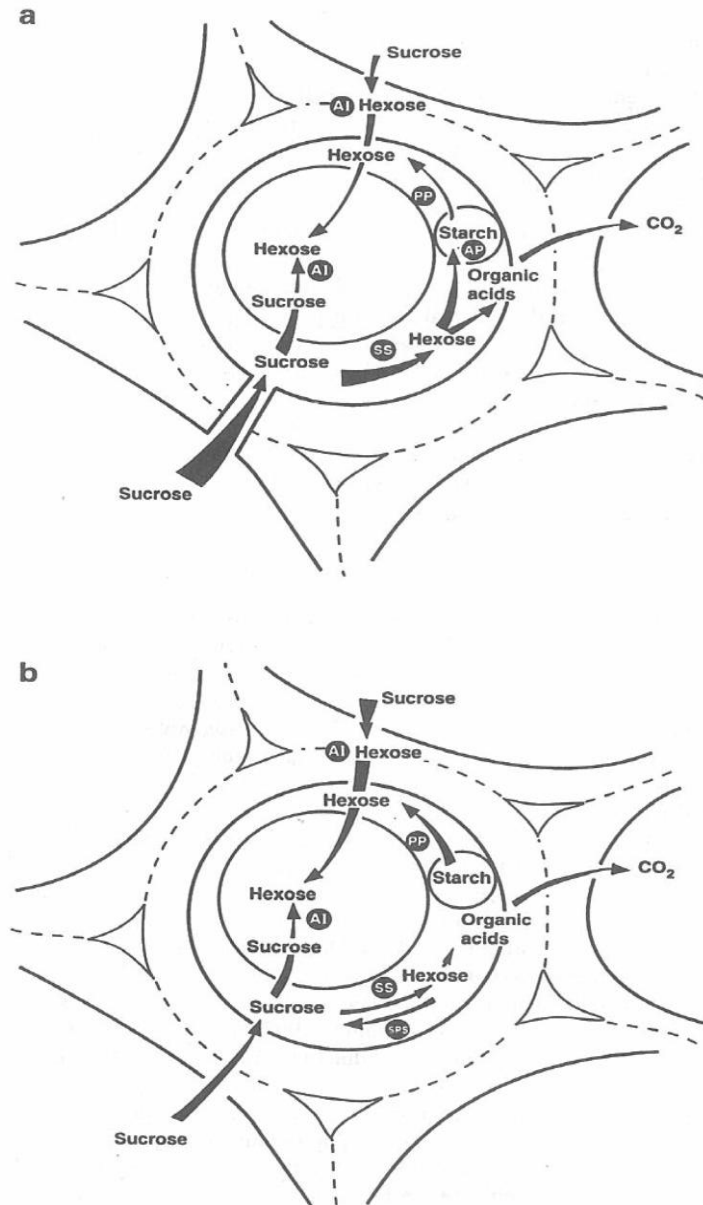
De zetmeelopslag in de beginfase van de vruchtontwikkeling is tijdelijk. De hoeveelheid zetmeel die geaccumuleerd wordt, telt slechts voor een klein deel van het finale drogestofgehalte in de vrucht (Ho *et al.*, 1983). De maximale hoeveelheid zetmeel in de onrijpe groene vrucht is positief gerelateerd aan het oplosbare stofgehalte van de rijpe rode vrucht voor een aantal cultivars (Dinar & Stevens, 1981). De snelheid van zetmeelaccumulatie wijzigt parallel met de snelheid van droge stofaccumulatie. Bij droogte- en zoutstress stijgt tijdens de vroege vruchtontwikkeling de concentratie aan zetmeel, maar dit overtollig zetmeel wordt quasi volledig afgebroken bij vruchtrijping (Mitchell *et al.*, 1991).

Er wordt gesuggereerd dat vruchten, die meer aan licht worden blootgesteld, een hoger drooggewicht hebben. Dit is te wijten aan de extra capaciteit om zetmeel te accumuleren, eerder dan aan een stijging in vruchtfotosynthese (Guan & Janes, 1991). Ook wordt er een hogere zetmeelaccumulatie waargenomen bij hoge zoutgehalten, tot wel 40% van de vrucht drogestof (Ehret & Ho, 1986). De accumulatie van zetmeel in de beginfase van de celvergroting voorziet extra capaciteit om geïmporteerde suikers op te slaan en een optimale osmotische druk te verkrijgen in het vruchtwefsel van de tomaten. Bovendien kunnen cultivars met een hogere capaciteit om zetmeel te accumuleren in staat zijn om meer assimilaten te importeren tijdens de vroege vruchtontwikkeling (Dinar & Stevens, 1981). Een hoge zetmeel accumulatie in het begin zorgt voor een betere suikerimport later wat leidt tot een verhoogde drogestof accumulatie in de vrucht. Factoren zoals het celaanantal kunnen de snelheid van assimilatenimport en het drogestof gehalte in de vrucht beïnvloeden (Ho, 1996).

In de meeste tomatencultivars vermindert de sucroseconcentratie in de vrucht sterk van 1% van het versgewicht bij de vruchtzetting tot minder dan 0.1% en blijft dan constant tot de rijping (Ho & Hewitt, 1986). In het algemeen is de gecultiveerde tomaat een glucose en fructose accumulator, met uitzondering van de kerstomaat, die 3-5% aan sucrose van het 20% totaal suikergehalte behoudt bij rijpheid (Demmitz-King, 1993). Ook is het gehalte aan sucrose bij wilde tomaten veel hoger, soms zelfs tot 90% van de suikers in rijpe tomaten. Het al dan niet behouden van een hoog sucrosegehalte kan te wijten zijn aan een stijging of daling in de concentratie aan zuur invertase (AI) tijdens de rijping (Demmitz-King, 1993). Een vrucht met een verhoogde sucrose concentratie heeft een sterk gereduceerd gehalte aan AI in rijpe vruchten (Klann, Hall, & Bennett, 1996). AI zorgt namelijk voor de omzetting van sucrose en water tot glucose en fructose (Quick & Schaffer, 1996).

De translocatie, het metabolisme en de verdeling van geïmporteerde assimilaten in een tomaat kan veranderen tijdens de vruchtontwikkeling. Dit wordt weergegeven in Figuur 1.6. In een onrijpe groene vrucht met hoge groeisnelheid worden assimilaten hoofdzakelijk symplastisch

getransporteerd. Wanneer de vrucht het rijpe groene stadium bereikt en een tragere groeisnelheid heeft, wordt overgeschakeld naar een hoofdzakelijk apoplastisch transport. Een deel van de sucrose uit de celwand wordt dan gehydrolyseerd en sucrose, glucose en fructose kunnen opgenomen worden door de protoplast en opgeslagen worden in de vacuole. De activiteit van de AI in de vacuole zal dan de finale suikerverhouding bepalen in de tomaat. Ook de netto zetmeelafbraak draagt bij tot de suikeraccumulatie (Ho, 1996).



Figuur 1.6. De transportroutes en het metabolisme van geïmporteerde sucrose in de opslagcellen van (a) onvolwassen en (b) volwassen groene tomaten. De koolhydraat metaboliserende enzymen: AI, acid invertase; SS, sucrose synthase; AP, ADPG-pyrophosphorylase; PP, phosphorylase; SPS, sucrose phosphate synthase (Ho, 1996).

1.6 Vruchtoogst en vruchtkwaliteit

In de ontwikkelde landen is de noodzaak om de vruchtkwaliteit van tomaten, bestemd voor de verse markt, te verbeteren nog nooit zo groot geweest aangezien de consumenten niet langer een inferieure kwaliteit, die vaak samengaat met hoge productievolumes, tolereren (Bruhn, et al., 1991). Ook voor de verwerkingsindustrie blijft de vraag naar een hoge concentratie aan vaste stoffen in de tomaten bestaan (Ho, 1996). Voor de serretomaten, die vroeg geoogst worden in Noord-Europa, is de lichtintensiteit de meest limiterende omgevingsfactor. Zowel meer licht als meer CO₂-bemesting spelen een rol bij een verhoging van de opbrengst bij deze vroeg geoogste tomaten onder glas (Ho, 1996). De opbrengst van deze tomaten is te verbeteren mits het gebruik van assimilatiebelichting of het reduceren van schaduw.

1.6.1 Opbrengst

Opbrengst is afhankelijk van teeltduur, vruchtzetting, vruchtaantal en vruchtgrootte. Deze fysiologische kennis wordt tegenwoordig gekoppeld aan computergestuurde controlesystemen. Die leveren groeimodellen op waarin de opbrengst voorspeld wordt, gebaseerd op interacties tussen de verschillende omgevingsfactoren zoals temperatuur, relatieve vochtigheid, licht en CO₂ en de drogestofproductie en -verdeling. Voor een realistischer beeld moeten de effecten van omgevingsfactoren op de ontwikkeling van de individuele organen en op de plantwaterrelaties in beschouwing worden genomen. Als deze modellen volledig op punt staan, zal de applicatie ervan in de controlesystemen, de transfer van fysiologische kennis naar commerciële productie versnellen (Ho, 1996).

De supermarkten vragen jaar in jaar uit grote, uniforme vruchten. Echter, door de wijzigingen in instraling tijdens het jaar in Noord-Europa zijn de vroeg geoogste vruchten kleiner dan de gewenste grootte en zijn de in de zomer geteelde tomaten groter. Door het vruchtaantal per tros te wijzigen, overeenkomstig met de assimilantentoevoer, wordt de vruchtgrootte gecontroleerd. Zo wordt het aantal vruchten op de distale posities van de vroege trossen gereduceerd en blijven de zijscheuten staan om zo het vruchtaantal te verhogen voor de zomer. Hierdoor kunnen de door de supermarkten gewenste groottes toch nagestreefd worden (Ho, 1996).

1.6.2 Vruchtkwaliteit

De vraag naar een verbeterde vruchtkwaliteit van zowel de versmarkt als de verwerkingsindustrie neemt toe. Terwijl de verbetering in kwaliteit voornamelijk te maken heeft met het begrijpen van drogestof productie en de verdeling ervan, is opbrengstverbetering het resultaat van het begrijpen van het metabolisme en verdeling van assimilaten in de tomaat (Ho, 1996). Daarnaast is de vruchtkwaliteit afhankelijk van de omgevingsfactoren en dus beïnvloedbaar als hierop wordt ingespeeld.

De gebruikelijke parameters om vruchtkwaliteit te omschrijven, zijn de gehalten aan vaste stoffen, suikers en vitamines, de zuurheid, de smaak, de kleur, de vorm en de stevigheid (Tandon *et al.*, 2003). Het totale gehalte aan oplosbare stoffen (°Brix), waaronder hoofdzakelijk de suikers en organische zuren, aanwezig in het tomatensap, geven een belangrijke indicatie voor de smaak en kwaliteit van de vrucht (Wu *et al.*, 2004).

1.6.2.1 Droge stof

In de huidige geteelde cultivars is het drogestofgehalte van rijpe vruchten invers gerelateerd aan de vruchtgrootte (Davies & Hobson, 1981). Een hoger gehalte aan vaste stoffen in de vrucht is het doel van de veredelaars. Het gehalte aan droge stof is positief gekoppeld aan de totale hoeveelheid suikers in de tomaat. Het drogestofgehalte van een tomaat wordt bepaald door het evenwicht in de accumulatie van assimilaten en water (Ho, 1988b). Terwijl de import van assimilaten afhankelijk is van het effect van licht op de fotosynthese door het bladerdek en van de temperatuur op het vruchtmetabolisme, wordt de import van water beïnvloed door de plantwaterrelaties dewelke op hun beurt worden beïnvloed door absorptie van water via de wortels en bladtranspiratie. De relatief hoge drogestofgehaltenes van serretomaten in de zomer zijn bijvoorbeeld het resultaat van een hogere assimilantoevoer gecombineerd met minder wateropname door droogtestress (Ho, 1988b). Al zorgt de teler er in de zomer ook voor dat er meer geïrrigeerd wordt om droogtestress te vermijden.

Het drogestofgehalte van een vrucht kan ook verhoogd worden door de wateraccumulatie te reduceren door planten te laten groeien bij een hoog zoutgehalte (Ehret & Ho, 1986). De drogestof concentraties variëren tussen cultivars en met de temperatuur en het licht. De gehaltenes aan drogestof van een aantal cultivars in NFT ('Nutrient Film Technique'), waarbij er permanent een hoeveelheid water onder de planten heen stroomt (meestal in buizen en rotswol), stijgen gelijkaardig (van 5,4% tot 7,7%) aan een snelheid van 0,23% mS^{-1} tussen 2-10 mS cm^{-1} (Ehret & Ho, 1986). Helaas resulteren zoutgehaltenes boven 5 mS cm^{-1} in een ongewenste opbrengstreductie (Adams & Ho, 1992). Daarvoor, zonder daarbij het toenemend risico op neusrot in beschouwing te nemen, is de toepassing van zoutstress eerder gelimiteerd om het gehalte aan drogestof in de vrucht te beïnvloeden.

Een hogere concentratie aan vaste stoffen is gerelateerd aan een hoge blad/vrucht verhouding en aan een hogere accumulatie van sucrose tijdens de rijping. Een vrucht met een verhoogde sucroseconcentratie heeft normaal gezien een sterk gereduceerd gehalte aan AI in rijpe vruchten (Klann *et al.*, 1996). Echter, indien bij de sucrose accumulerende tomaten (die meer oplosbare stoffen hebben) een lagere hoeveelheid AI tijdens de rijping aanwezig is, dan zijn die tomaten rijk aan glucose en fructose. De regulatie van de expressie van het AI gen kan hierdoor gezien worden als middel om hogere vaste stof gehaltenes te bereiken (Ho, 1996).

1.6.2.2 Smaak en aroma

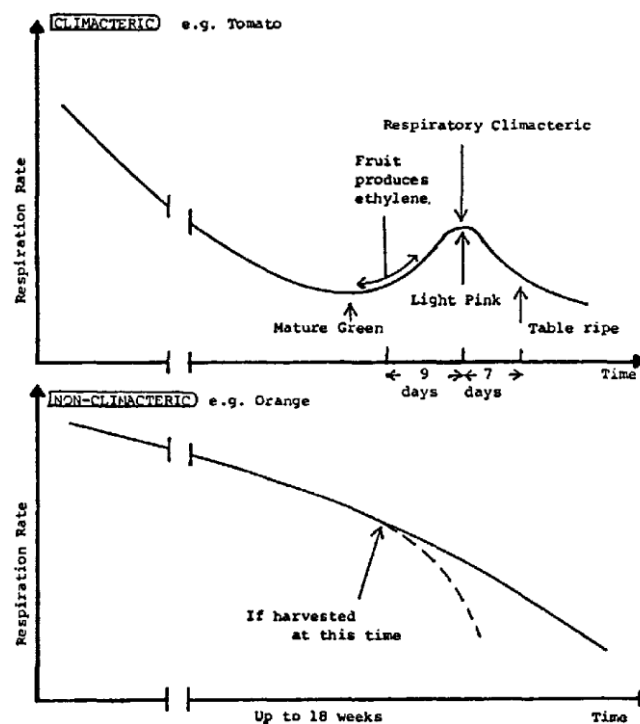
De zoetzure smaak van een tomaat is nauw gerelateerd aan de concentraties van suikers en zuren in de vrucht. De suikerconcentratie (voornamelijk glucose en fructose) in het sap van uitgeperste serretomaten stijgt van 1,8 tot 2,8 g per 100 mL^{-1} tomatensap voor een respectievelijke dagelijkse instraling van 5 tot 15 MJ m^{-2} doorheen het seizoen (Davies & Hobson, 1981). Het totale zuurgehalte van het tomatensap wordt hoofdzakelijk bepaald door citraat en malaat en varieert tussen de cultivars over een interval van 7,7 tot 10,4 mEq 100 mL^{-1} (Hobson & Davies, 1971) waarbij mEq staat voor milli-equivalent, die aangeeft in welke mate een stof bindingen kan aangaan ten opzichte van andere stoffen. Het effect van het stralingsniveau is voornamelijk van toepassing op de hoeveelheid suikers die geïmporteerd worden. Daarentegen draagt kalium hoofdzakelijk bij tot een reductie in de suikerconcentratie, het totale zuurgehalte en de concentratie aan vitamine E (Caretto, Parente, Serio, & Santamaria, 2008). Daarnaast wordt ook de pH beïnvloed door kalium (Hobson & Davies, 1971).

Het zoutgehalte van de voedingsoplossing reduceert hoofdzakelijk de accumulatie van water door de vrucht (Ehret & Ho, 1986), wat resulteert in een stijging van de concentratie van suikers en zuren in het tomatensap (Adams & Ho, 1989), wat bijgevolg de smaak substantieel verbetert. Bovendien is er een groot aantal vluchtige componenten, waarvan sommige bijdragen aan het aroma, aanwezig in de tomaat (Buttery *et al.*, 1987). De geur zou een grote commerciële waarde kunnen hebben in de versmarkt (Ho, 1996).

1.6.2.3 Vorm, kleur en stevigheid

Zowel de vorm als de kleur zijn belangrijke kwaliteitsparameters voor de versmarkt en de verwerkingsindustrie. Deze aspecten werden vooral via veredeling sterk verbeterd. Een abnormale vorm is vaak te wijten aan een te lage assimilantentoevoer, een ongelijke kleuring wordt veroorzaakt door nutritionele tekorten (Ho & Hewitt, 1986).

De stevigheid van de vrucht is van groot belang tijdens het transport, de behandeling en de bewaring. Het zacht worden van de vrucht tijdens het rijpen wordt versterkt door de productie van ethyleen (Ho, 1996), aangezien tomaat een climacterische vrucht is. Een climacterische vrucht wordt gekarakteriseerd door een afname van de respiratie naar een minimum waarna er een toename naar een maximum plaatsvindt tijdens de rijping (= climacterische piek) waarna de respiratie terug afneemt. De maximale respiratie wordt voorafgegaan door een stijging in ethyleenproductie zoals te zien is in Figuur 1.7 (Censkowsky & Berger, 2010). Aangezien de hardheid van de vrucht een belangrijke factor is, worden de tomaten vaak vroeg geoogst om de stevigheid te garanderen. Echter, dit kan voor een zwakke smaak zorgen, net omdat de rijping voortijdig werd afgebroken, waardoor een groot aandeel van de smaakbevorderende assimilaten niet naar de vrucht getransporteerd kan worden (Veit-Köhler *et al.*, 1999).



Figuur 1.7. Respiratiesnelheid bij climacterische vruchtrijping (bovenaan; tomaat) en bij niet-climacterische vruchtrijping (onderaan; sinaasappel). Bij tomaat is er duidelijk een respiratiepiek waar te nemen, voorafgegaan door een stijging in de ethyleenproductie (Censkowsky & Berger, 2010).

1.6.2.4 Fysiologische afwijkingen

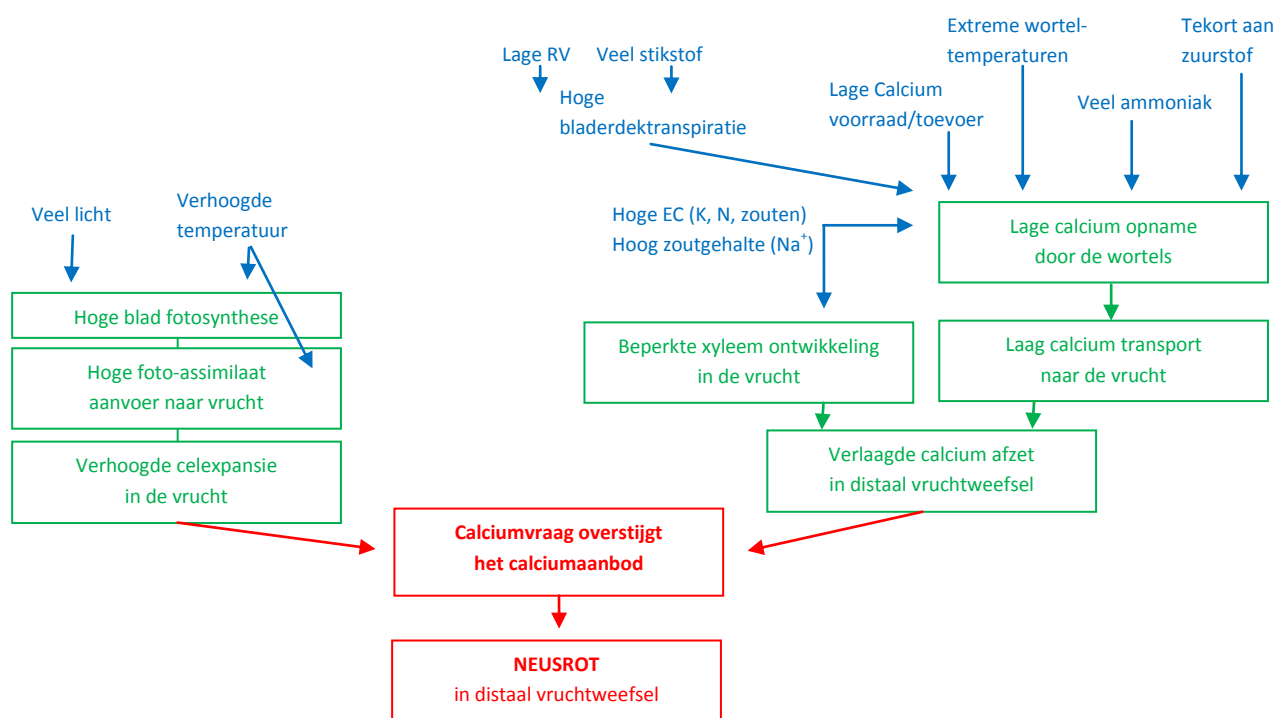
Fysiologische afwijkingen kennen een negatieve impact op de kwaliteit van de tomaat. Bloem- en trosafwijkingen leiden indirect tot minder kwalitatieve vruchten in tegenstelling tot directe actoren zoals neusrot, verstoring van de vruchtkleuring en vruchtscheuren.

Neusrot

Neusrot ontstaat als gevolg van complexe interacties tussen anatomische, genetische en omgevingsfactoren. De directe oorzaak is een tekort aan calcium in de distale zone van het vruchtwandweefsel. Hierdoor ontstaan scherp begrensde platte, bruine, enigszins ingezonken plekken rond de plaats waar de stamper op de vrucht ingeplant stond. Het tekort aan calcium kent verschillende oorzaken. Zo speelt een daling in het aantal vaatbundels van de stengelaanhechting naar de distale zone van de vrucht een belangrijke rol. De daling in densiteit aan vaatbundels gebeurt door een snelle expansie van de vrucht. Zo raken de nodige calciumconcentraties niet tot aan de distale zone. Dit tekort wordt versterkt indien de calciumimport verder afgeremd wordt door de omgevingsfactoren. Calcium is belangrijk voor de stabiliteit van celwand en celmembranen. Door het verminderen van de semipermeabiliteit van de celwand en/of door de zwakke celwand lekt de celinhoud, wat resulteert in een necrotische zone (Van Labeke, 2011).

In Figuur 1.8 wordt de invloed van verschillende omgevingsfactoren op de ontwikkeling van neusrot weergegeven, waaronder de beschikbaarheid van water, de relatieve vochtigheid, licht en temperatuur. Het xyleem staat in voor het calciumtransport in de plant naar de bladeren en andere verdampende plantdelen (Ho, 1996). Bij minder wateropname/verdamping daalt de calciumopname. De hoge relatieve vochtigheid ligt hierbij vaak aan de basis. Een lage relatieve vochtigheid (RV) overdag, in combinatie met hoge temperaturen en kortgolvlige instraling zorgt voor een toename in transpiratie en zo ook in calciumopname. Ook tijdens de groei van de vrucht is het effect van temperatuur en instraling groot. Een versnelde celstrekking zorgt voor een snelle toename van de vrucht en doet de vraag naar calcium stijgen. Daarnaast zorgt een toenemende zoutconcentratie (in functie van hoe deze verhoging gerealiseerd wordt) in het wortelmilieu voor een daling in de opname van calcium. Door de beperktere wateropname neemt ook het calciumgehalte in de vrucht af. Bovendien wordt de normale ontwikkeling van het xyleem in de vrucht gehinderd door hoge zoutconcentraties. Onder genetische factoren worden de gevoeligheid voor snelle vruchtextensie en de aanmaak van grote vruchten gerekend (Van Labeke, 2011).

De ideale EC van de voedingsoplossing met het oog op het voorkomen van neusrot is $2,0-2,5 \text{ mS cm}^{-1}$ met een calciumconcentratie van 7 nM (De Kreij, 1992). Deze concentraties zijn echter niet optimaal voor de andere parameters gerelateerd aan de kwaliteit van de tomaat, waaronder smaak, stevigheid en vruchtscheuren (Dorais *et al.*, 2001).



Figuur 1.8. Omgevingsfactoren aangeduid in het blauw die leiden tot een verhoogd optreden van neusrot bij tomaat. Aangepaste figuur naar (White, 2005).

Verstoring van vruchtkleuring

Onder verstoring van de vruchtkleuring verstaat men een groene tot geel-groene zone nabij de kelkblaadjes, die onder normale omstandigheden rood zou moeten zijn. Deze zone wordt niet zacht tijdens de rijping van de tomaat. Meestal is de verkleuring oppervlakkig en beperkt deze zich tot de vruchtwand. In extreme gevallen is de binnenwand aangetast en/of treedt er bruinverkleuring op in de vaatbundels. Daarnaast is ook de samenstelling van de vrucht op die plaatsen gewijzigd. Dit resulteert in lagere gehalten aan droge stof, suikers, zetmeel en organische zuren. Oorzaken van deze fysiologische afwijking zijn een lage stikstof- en kaliumbemesting en een sterk schommelende temperatuur en relatieve vochtigheid (Van Labeke, 2011).

Vruchtscheuren

Bij vruchtscheuren komen stervormige alsook krimpscheurtjes voor. De stervormige scheurtjes zijn redelijk diepe en brede scheuren die ontstaan vanaf het kroontje. Ze komen voor bij sterke wisseling in wateropname en verdamping. Vooral cultivars met een sterk wortelstelsel ondervinden hier last van. Indien er meer water wordt opgenomen, stijgt de worteldruk en wanneer de schil van de vrucht niet meer kan uitzetten, gaat deze barsten of scheuren. Dit probleem doet zich eerder bij grondgebonden teelten voor. De krimpscheuren komen daarentegen eerder voor bij substraatteelten. Deze ontstaan tijdens de laatste groei- en rijpingsfase. Het zijn kleine, ondiepe scheurtjes in de epidermis van de vrucht. Ze verkurken en zijn dan als bruine streepjes op de vruchten waarneembaar. De tomaten vertonen hierdoor een ruwer en minder glanzend oppervlak. De scheurtjes zijn het gevolg van klimaatsfactoren en ontstaan wanneer de vrucht nat wordt door condens en vervolgens snel opdroogt. Hoe langer een vrucht aan de plant blijft hangen, hoe gevoeliger ze wordt voor krimpscheuren. Vruchtscheuren zijn dus gerelateerd aan de beperkte elasticiteit van de epidermis, die kan barsten en aanleiding geeft tot necrotische scheurtjes (Van Labeke, 2011).

1.7 Kwaliteitsystemen

De organisatie EUREP (EUro-REtailer Produce working group) is ontstaan in 1997 met als doel de duurzame productie en veiligheid van voedsel optimaal te garanderen. In België nemen Delhaize en Carrefour België er aan deel. Dit Europese protocol wordt ondertussen wereldwijd toegepast onder de naam GLOBAL GAP, waarin GAP staat voor Goede Agrarische Praktijk op bedrijfsniveau. De essentiële elementen van de geïntegreerde productie van tuinbouwproducten alsook de best mogelijke manieren om dit te realiseren worden hierin gedefinieerd. Volgens GLOBAL GAP moeten de productie en de producten aan specifieke teelttechnische en hygiënische normen en arbeidsomstandigheden voldoen. Centraal hierin staan het streven naar een minimum aan bestrijdingsmiddelen, het voorkomen van chemische, bacteriologische en fysische verontreinigen en het voorkomen van sociale mistoestanden. GLOBAL GAP staat in voor de traceerbaarheid, maar is voor de consument niet zichtbaar op de verpakking aangezien het geen label aflevert (GLOBALGAP, 2015).

Het Flandria kwaliteitslabel werd in 1995 door de Belgische veilingen opgericht. Het omvat een lastenboek dat gevolgd dient te worden door de telers. De veilingen zien er op toe dat de teler dit stipt doet. Specifiek voor tomaat omvat dit voorwaarden in functie van de productie, sortering en kwaliteit, verpakking, aanduiding en controle. Voor tomaten brengt dit keurmerk sinds 1996 een onderverdeling in de verschillende op de markt afgestemde segmenten, gaande van losse tomaten tot trostomaten. De indeling in de segmenten is gebaseerd op objectief gemeten gegevens over productie (grootte en gewicht), kwaliteit en smaak. Indien de tomatenrassen gelijkaardige kwaliteitskenmerken vertonen, worden ze in hetzelfde segment ondergebracht. In functie van het segment wordt dit duidelijk gemaakt op de verpakking. Figuur 1.9 geeft hiervan een mooie illustratie weer (Flandria, 2015).

Kwaliteitskenmerken	Sorteringen	
Baron <ul style="list-style-type: none"> • Traditionele Belgische vleestomaat • Meerhokkige structuur • Stevig vrucht vlees • Smaakvol, sappig • Veel bereidingen mogelijk 	<ul style="list-style-type: none"> + 57 mm + 70 mm + 82 mm + 92 mm + 102 mm 	
Prince <ul style="list-style-type: none"> • Losse tomaat met dieprode kleur • Homogene vruchten • Constante kwaliteit • Lange houdbaarheid 	<ul style="list-style-type: none"> + 47 mm + 57 mm + 70 mm + 82 mm 	
Princess <ul style="list-style-type: none"> • Trostomaat met dieprode kleur • Homogene grote vruchten • Constante kwaliteit • Lange houdbaarheid • Tussenblad aangebracht tussen 2 lagen 	Middelgroot: + 4 stuks/tros Groot: + 4 stuks/tros	
Elite <ul style="list-style-type: none"> • Fijnere vlakke trostomaat • Glanzende vruchten • Vast aan de tros, frisse steel • Lange houdbaarheid • Label aan tros (3 stuks/verpakking) 	Middel: + 5 stuks/tros Middelgroot: + 4 stuks/tros	

Figuur 1.9. De kwaliteitskenmerken, de sortering en de houdbaarheid van de Flandria-tomaten, opgedeeld per segment (Flandria, 2015).

1.8 Kwaliteitsonderzoek

Sensorische analyse, de zintuiglijke waarneming van de kwaliteit, is gebaseerd op de waarneming door de vijf zintuigen. De sensorische productkenmerken bij tomaat zijn smaak, geur, textuur en uiterlijk (verpakking, vorm, presentatie, en kleur). Vooral smaak, kleur en stevigheid van een tomaat dragen bij tot de eindappreciatie door de consument (Martinez-Carrasco *et al.*, 2011). Het Proefcentrum voor Groenteteelt herbergt onder andere een kenniscentrum over smaak- en consumentenonderzoek. Daar wordt nagegaan wat de invloed is van de rassenkeuze, bemesting, klimaat, teelttechniek en naoogstbehandelingen op de smaak en de smakelijkheid van groenten en fruit. De Belgische consumenten appreciëren bepaalde rassen meer dan andere. Dit wordt aan de hand van deze sensorische analyse duidelijk. Als de bekomen informatie aangewend wordt in de veredeling of in de productie kan dit leiden tot (nog) beter smakende tomaten (Proefcentrum Groenteteelt, 2014). In het proefcentrum worden de tomaten door een expertenpanel beoordeeld op zoetheid, zuurheid, aroma, stevigheid, sappigheid, meligheid, taaie schil en de aan- of afwezigheid van een nevensmaak. Bij de aankoop van tomaten zijn het uiterlijk, de versheid, de kleur, de vorm en de grootte de belangrijkste criteria. Qua smaak vindt de consument de trostomaten het lekkerst aangezien ze over de ideale zoet-zuurverhouding beschikken. De smaak van een tomaat is afhankelijk van het type tomaat. Ook associeert de verbruiker smaak met kleur, want hoe roder de kleur hoe beter de smaak. Bovendien worden bleke tomaten gerelateerd aan eigenschappen zoals smaakloos, zuur en hard.

Uit een samenwerking met het Vlaams centrum voor Bewaring van Tuinbouwproducten (VCBT) bleek dat, gebaseerd op verbanden tussen instrumentele en sensorische metingen, de appreciatie gaat naar tomaten die zoet zijn en niet te zuur, veel aromatische componenten bevatten, zeer sappig en weinig melig zijn, en matig tot weinig over een taaie schil beschikken. Het effect van zoutstress op de sensorische evaluatie is positief. Bij een stijgende zoutstress wordt een zoetere en meer aromatische vrucht ervaren (Petersen *et al.*, 1998).

Daarnaast is er tegenwoordig een merkbare milieubewustheid aanwezig bij de consument. Zo is er een licht groeiende voorkeur naar niet voorverpakte tomaten. Hier spelen bijvoorbeeld onze noorderburen op in door op basis van het plantmateriaal, afkomstig van de teelt, doosjes te persen uit tomatenbladpulp waarin de tomaten verkocht worden (Bolck *et al.*, 2013). Op deze manier wordt er op een milieubewuste manier ingespeeld op de wens van de consument. Bovendien is er ook een stijgende vraag naar gezonde tomaten door de consument. Parse tomaten rijk aan anti-oxidanten zoals anthocyaan kleuren hierdoor mee de winkelrekken.

1.9 Doelstelling

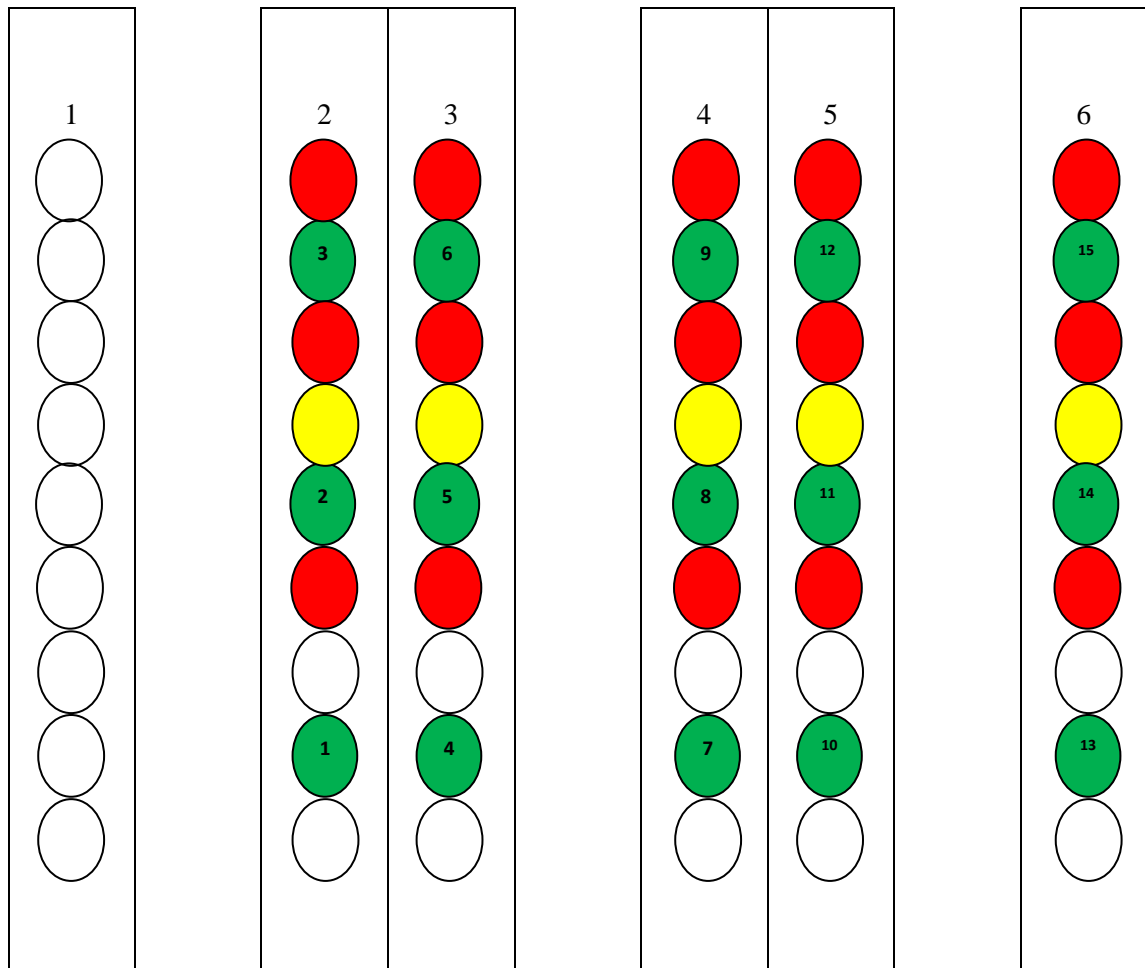
Aangezien de vraag naar een kwaliteitsproduct steeds groter wordt in Noord-Europa, maar net daar de lichtintensiteit niet voldoende kan bijdragen tot een gewaarborgde gewenste kwaliteit, is er een zoektocht naar alternatieve methoden om dit toch te bewerkstelligen. Hierbij wordt het aanbod aan teelttechnische middelen die jaarrond een uniforme, smaakvolle tomaatproductie voortbrengen, uitgepluisd. In het kader van deze thesis werd getracht de invloed van verschillende zout- en droogtestressniveaus op de productie en kwaliteit van tomaten in te schatten. In combinatie met plantwaterstatus en microklimaat werden kwaliteitsparameters zoals de concentratie aan hexose-suikers (fructose, glucose en sucrose) en organische zuren (citraat en malaat) alsook hardheid en dergelijke, gemeten. Aan de hand van deze metingen kon bepaald worden in welke mate de gangbare teelttechnieken geoptimaliseerd kunnen worden om de eisen van producent, consument en de verwerkende sector in te willigen. Het streven naar smaakvollere tomaten zonder productieverlies blijft bijgevolg een belangrijk aspect binnen de teelt.

2. Materiaal en methode

2.1 Proefopzet

Het experiment werd opgezet in de serre-faciliteiten van de Universiteit Gent en het ILVO, België. De zaaidatum voor de tomaten was DOY 184, twee weken voor de aanvang van de eigenlijke proef. De experimentele fase liep in 2014 van DOY 197 tot DOY 350, 154 dagen in totaal. Tijdens die vijf maanden werden in een serre van 60 m² tomaten, *Solanum lycopersicum* cv. Dirk, geteeld. In deze serre werden zes goten gebruikt. In elke goot werden substraatmatten van rotswol (Grodan, Hedehusene, Denmark) gelegd, en werden drie tomatenplantjes op elke mat geplaatst.

In totaal werden 45 tomatenplanten gebruikt voor het experiment. Zoals in Figuur 2.1 aangeduid, waren 15 sensorplanten aanwezig. Op deze planten stonden de sensoren en werden continu sapstroom, stengeldiameter en vruchtdiameter variatie gemeten.



Figuur 2.1. Schematisch overzicht van de serre-indeling. Rij 1 bestaat uit de randplanten. Hierop werden geen metingen uitgevoerd. Deze zorgen voor het opvangen van eventuele randeffecten. Op rij 2 tot en met 6 werden de metingen uitgevoerd. De groene cirkels stellen de 15 sensorplanten voor, de rode zijn de planten waarop destructieve metingen plaatsvonden, de gele zijn de planten waarop ook geoogst werd t.e.m. de vierde tros. De behandelingen variëren in deze 5 rijen. Rij 2 : EC 2,7 mS cm⁻¹ en 100% watergift. Rij 3: EC 2,7 mS cm⁻¹ en 80% watergift. Rij 4: EC 2,7 mS cm⁻¹ en 60% watergift. Rij 5: EC 4mS cm⁻¹ en 100% watergift. Rij 6: EC 6 mS cm⁻¹ en 100% watergift.

Met een datalogger (CR1000+AM16/32B, Campbell Scientific, Logan, UT, USA) werd elke 30 seconden een meting gerealiseerd, waarvan de 5-min gemiddelde meetwaarde opgeslagen werd. In elke behandelde rij deden de drie sensorplanten en nog een intacte plant dienst als oogstplanten. Drie overige planten werden gebruikt voor destructieve metingen, waaronder het meten van de waterpotentiaal.

Typend aan de proefopzet is dat de watergift en de EC varieert tussen de vijf rijen (Figuur 2.1). De samenstelling van de voedingsoplossing is weergegeven in Tabel 2.1. De watergift gebeurde op automatische wijze via druppelaars en werd geregeld zoals in een commerciële teelt. De start van de watergift is daarbij gerelateerd aan een vastgelegd tijdstip na zonsopgang en wordt vervolgens gestuurd door de straling. Concreet voor ons experiment vond de eerste watergift plaats één uur na zonsopgang en worden de gemeten stralingswaarden geïntegreerd. Telkens de stralingsom de vooropgestelde waarde van 200 J/cm^2 bereikte, werd geïrrigeerd. Echter, als de ingestelde drempelwaarde niet bereikt werd, wegens te bewolkt, werd er telkens na anderhalf uur geïrrigeerd. Het voorgaande herhaalde zich doorheen de dag tot zonsondergang waarna de irrigatie werd gestopt.

Tabel 2.1. De voedingsoplossing van stockoplossingen A en B. Hiervan werd telkens 80 ml van A en 80 ml van B toegevoegd aan 10 L water. Van de micronutriënten werd slechts een theelepel toegevoegd. In functie van de behandeling bedroeg de EC van de finale voedingsoplossing $2,7 \text{ mS cm}^{-1}$, 4 mS cm^{-1} of 6 mS cm^{-1} .

Voedingsoplossing		
Stockoplossing A		Concentratie (g/L)
Calciumnitraat	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	140
Ammoniumnitraat	NH_4NO_3	9,5
Kaliumnitraat	KNO_3	40,5
IJzerchelaat	Fe (DTPA, 6%)	4,3
Stockoplossing B		
Kaliumdiwaterstoffosfaat	KH_2PO_4	20,5
Magnesiumsulfaat	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	71,5
Kaliumsulfaat	K_2SO_4	26
Micronutriënten		Concentratie(mg/L)
Mangaansulfaat	$\text{MnSO}_4 \cdot 1\text{H}_2\text{O}$	1,7
Zinksulfaat	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1,45
Natriumboraat	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	2,85
Kopersulfaat	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,19
Natriummolybdaat	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,12

2.2 Plantmetingen

2.2.1 Waterpotentiaal

Meetprincipe

De waterpotentiaal is een maat voor de beschikbaarheid van water in de plant. De beschikbaarheid van water in de plant wordt ook wel geïnterpreteerd als het vermogen van de watermoleculen voor het leveren van arbeid, aangeduid ten opzichte van een referentieniveau waarbij de waterpotentiaal gelijk aan nul wordt gesteld. Negatieve potentiaalwaarden duiden op een aanzuigen van water, zodat de stroming in de plant gebeurt in de richting van meer negatief wordende waterpotentialen. Dergelijke waterstroming gebeurt spontaan. De dimensie van de waterpotentiaal is een hoeveelheid energie per eenheid van volume of:

$$\text{Waterpotentiaal } [\psi] = \frac{\text{Joule}}{\text{m}^3} = \text{Pa}$$

Aangezien 1 Pa een te kleine eenheid is voor de aanduiding van de potentiaalwaarden op het niveau van de plant gebruikt men bij voorkeur het veelvoud 10^6 Pascal of MPa.

De waterpotentiaal is de resultante van een aantal componenten. De componenten van de waterpotentiaal zijn gravitatiepotentiaal ψ_g , osmotische potentiaal ψ_o , drukpotentiaal ψ_p en matrixpotentiaal ψ_m .

$$\psi = \psi_g + \psi_o + \psi_p + \psi_m$$

De gravimetrische potentiaal is de kracht die moet geleverd worden om het water te transporteren tegen de zwaartekracht in. Deze potentiaal is steeds positief alsook verwaarloosbaar klein in relatief kleine planten zoals tomaat. De osmotische potentiaal is altijd negatief, aangezien de watermoleculen steeds van een lage concentratie opgeloste stoffen naar water met een hoger aantal opgeloste stoffen bewegen. De drukpotentiaal geeft de druk van de celwand op het water aanwezig in de plant weer. Deze is positief wanneer de celwanden een druk uitoefenen op het water in de cel.

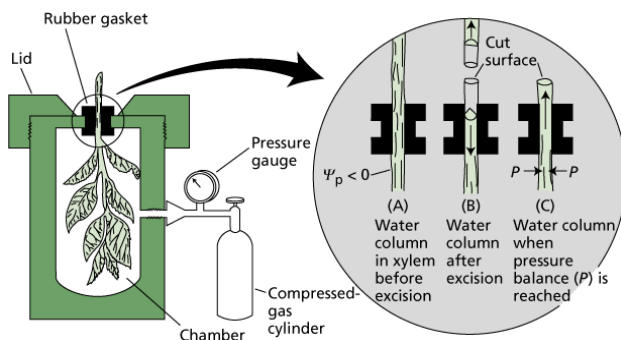
Het watertransport gebeurt via de xyleemvaten. Door de zuigende kracht die de atmosfeer uitoefent op de plant is de drukpotentiaal in de xyleemvaten steeds negatief. De matrixpotentiaal slaat op de capillaire krachten die ontstaan door evaporatie aan het bladoppervlak. De matrixpotentiaal wordt heel vaak gecombineerd met de drukpotentiaal aangezien het moeilijk is ze van elkaar te onderscheiden.

De totale waterpotentiaal is afhankelijk van enkele externe processen. Het microklimaat, heersend in de serre, speelt hierin een voornamelijk rol met actoren zoals relatieve vochtigheid, luchttemperatuur en straling. Andere processen, die de waterpotentiaal beïnvloeden, zijn de regeling van de plant zelf en de beschikbaarheid van water in het substraat. Bij het ervaren van droogtestress zal de plant zich aanpassen. Het vochtgehalte en de textuur van de bodem of het substraat beïnvloeden op hun beurt de bodemwaterpotentiaal.

Meting: stengelwaterpotentiaal

Aangezien de stengelwaterpotentiaal een nauwkeurige inschatting geeft van de waterstatus van de plant, wordt deze in dit onderzoek gehanteerd als indicator voor droogtestress. Meer negatieve, zeer lage stengelwaterpotentialen duiden op grote watertekorten en uitdrogingsverschijnselen bij de plant.

Aan de hand van een drukkombom (PMS Instrument Company, Model 1000, Corvallis, OR, USA) (Figuur 2.2) wordt de stengelwaterpotentiaal gemeten. Het werkingsprincipe gaat als volgt. Een blad wordt ingepakt in een zakje gemaakt van zwarte plastic en aluminiumfolie. Voor de eigenlijke meting zit het blad minstens één uur in zo'n zakje. Door het blad in zo'n zakje te steken, wordt de transpiratie stilgelegd. Hierdoor wordt een evenwicht tussen het blad en de stengel bereikt. Na dat uur wordt het blad afgesneden en in de drukkombom geplaatst. Na het afsnijden van het blad wordt het steeltje nog eens extra afgesneden om een recht snijvlak te bekomen. Hierdoor kan een betere waarneming van het opstijgende water geobserveerd worden. De kunst zit hem in het zachtjes openen van de gastoevoer, waardoor de druk in de kamer zich geleidelijk aan opbouwt.



Figuur 2.2. Een schematische voorstelling van een drukkombom (links) (Taiz, 2010) en een afbeelding uit de praktijk (rechts).

Door het afsnijden wordt de waterkolom gebroken, waardoor de zuigkracht wegvalt. Het water trekt zich dan terug in het xyleem. Als in de kamer van de drukkombom (waarin het blad is geplaatst), de druk wordt opgedreven, wordt water vanuit de protoplast in de apoplast geperst. Dit wordt waargenomen als een kleurverandering wanneer men met een oculair naar het snijvlak kijkt, die uit de drukkombom steekt. Vanaf dit moment wordt de druk in de kamer niet meer verhoogd en leest men de druk af op de manometer. De afgelezen druk is dan exact tegenovergesteld aan de drukpotentiaal in het xyleem.

Via de drukkombom kan op een snelle en efficiënte manier de drukcomponent van de waterpotentiaal gemeten worden. Het is niet mogelijk om exact de totale stengelwaterpotentiaal te bepalen met de drukkombom, aangezien de osmotische component niet gemeten wordt. Echter, de meeste metingen zijn goede indicaties voor de totale waterpotentiaal aangezien de concentratie aan opgeloste stoffen in het xyleem meestal verwaarloosbaar klein is (Taiz, 2010).

In totaal werden 11 dagpatronen gemeten. Hierin werd in elke rij (dus voor iedere behandeling) drie planten geselecteerd waarop deze destructieve metingen werden uitgevoerd.

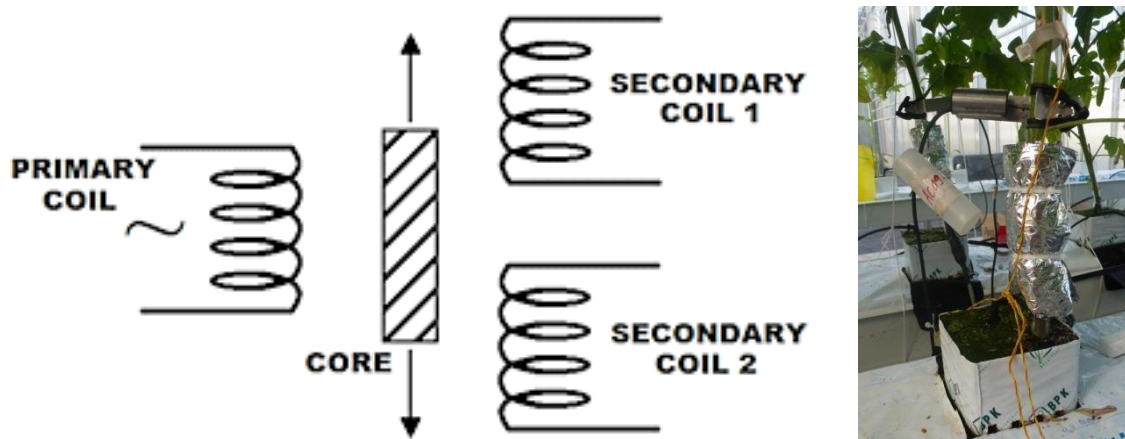
2.2.2 Stengeldiametervariaties

De variaties in de stengeldiameter kunnen eveneens gebruikt worden als een indicator voor de waterstatus in de plant. Deze variaties zijn het resultaat van het radiaal watertransport tussen het xyleem en de omringende weefsels (Gallardo, 2006).

Via een LVDT of een 'Linear Variable Displacement Transducer' (DF 5.0 Solartron Metrology, Bognar Regis, UK) worden de stengeldiametervariaties opgemeten. Deze elektrische omvormer meet lineaire verplaatsingen op. Transpirerende planten vertonen een dynamisch watertransport doorheen de waterkolom van de plant. Grote negatieve waterpotentialen zijn een gevolg hiervan. Deze zorgen, volgens de cohesie-tensie theorie, ervoor dat het water uit de bodem wordt opgezogen en getransporteerd wordt naar de bladeren. Als de wateropname uit de bodem niet evenredig is met het waterverlies door transpiratie, dan worden de interne waterreserves aangesproken. De LVDT-sensor vertaalt een mechanische verplaatsing naar een elektrisch signaal dat doorgestuurd wordt naar een datalogger. De opgeslagen spanningswaarde wordt later omgerekend naar een stamdiametervariatie in mm. Kortom, de uitwisseling van water leidt tot kleine, meetbare variaties in de diameter met een dagelijks patroon.

Een LVDT-sensor bestaat uit drie spoelen. Een primaire, die centraal gelegen is en twee secundaire buitenspoelen, die omgekeerd in serie geschakeld zijn. De spoelen omgeven een cilindervormige ferromagnetische kern verbonden met de te meten stengel. Aan de andere kant van de ferromagnetische kern zit een ventiel, dat geplaatst wordt tegen de stengel en vrij kan bewegen. Om een nauw contact te garanderen tussen de stengel en het ventiel wordt een veer geplaatst. Zo worden de diametervariaties duidelijk opgevolgd. Het geheel wordt op zijn plaats gehouden door een zelfgemaakte houder die aan de stengel wordt bevestigd via elastiekjes.

Het principe van elektromagnetische inductie ligt aan de basis van de werking van de LVDT-sensor. Doorheen de primaire spoel wordt een wisselstroom gestuurd. Deze wekt een magnetisch veld op, wat op zijn beurt een elektrische spanning veroorzaakt in beide secundaire spoelen. Wanneer de ferromagnetische kern verschuift door het krimpen of zwellen van de stengel, wijzigt ook de wederzijdse inductie, alsook de spanning in de secundaire spoelen. Doordat de secundaire spoelen in tegenfase geschakeld zijn, is de uitgangsspanning het verschil tussen de twee secundaire spanningen. Dit resulteert in het volgende: als de kern zich in de centrale positie bevindt dan vertonen beide spoelen een gelijke, maar tegengestelde spanning (Figuur 2.3). De uitgangsspanning is dan gelijk aan nul. Verplaatst de kern zich in een bepaalde richting, dan zal de spanning in de ene spoel stijgen, daar waar het in de andere spoel zal dalen. Hierdoor zal de uitgangsspanning stijgen tot een maximale waarde. Deze uitgangsspanning is in fase met de primaire spanning. Ook als de kern zich in de andere richting beweegt, bereikt de uitgangsspanning een maximale waarde, maar deze zal dan in tegenfase zijn met de primaire spanning. De grootte van de uitgangsspanning is evenredig met de afstand van de kern tot zijn centrale positie. De richting van de verplaatsing wordt op zijn beurt weergegeven door de fase van de spanning (Solartron metrology).



Figuur 2.3. Werking van een LVDT-sensor (links) met de primaire spoel en twee secundaire spoelen. De ferromagnetische kern is het cilindertje tussen de spoelen. In functie van de beweging van de kern ten opzichte van de spoelen, wijzigen de geleverde spanningen (Sensors Online). Afbeelding van een LVDT-sensor op een tomatenplant (rechts).

2.3 Vruchtmetingen

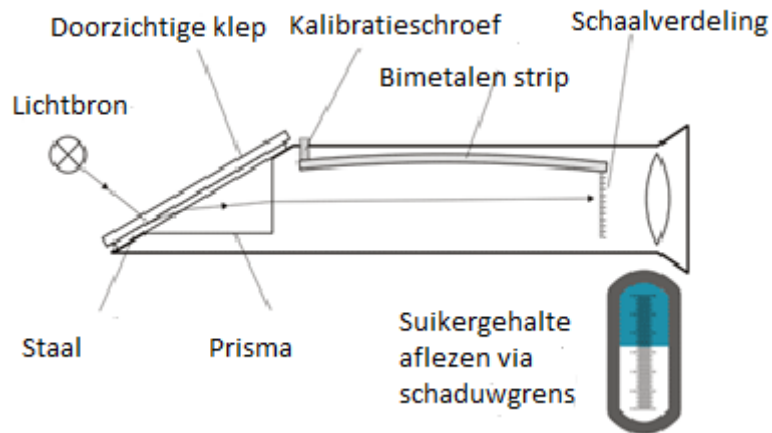
2.3.1 Metingen suikergehalte

Per geogoste tros van vijf tomaten werd telkens de tweede vrucht gebruikt om de °Brix-waarde te meten via een refractometer. Een schematische voorstelling wordt hiervan weergegeven in Figuur 2.4.

De meting verloopt als volgt; de uitgekozen tomaat wordt, na het verwijderen van het groene deel, in vier partjes gesneden. Eén vierde van de vrucht wordt in een kaasdoek gelegd om vervolgens uit te persen op het prisma van de refractometer. Aansluitend hierop sluit men de doorzichtige klep waarop men zich richt naar een diffuse lichtbron zoals bijvoorbeeld zonlicht. Deze lichtbron schijnt doorheen de doorzichtige klep, op het uitgeperste sap van de tomaat, en dringt binnen in het prisma waar het licht wordt gebroken en verder invalt tot op de meetschaal. Hierop is een indicatie van de concentratie van de assimilaten, die in de tomaat aanwezig zijn, af te lezen via een schaduwgrens (Bumgarner & Kleinhenz, 2012).

De breking van het invallende licht wordt groter wanneer er meer assimilaten opgelost zijn in het tomatensap. De grens tussen de schaduw en het invallende licht wordt hoger, waardoor er een hogere waarde voor het totale gehalte aan assimilaten wordt afgelezen. De manier waarop het gehalte aan opgeloste assimilaten wordt uitgedrukt, is °Brix (%MAS). De aanwezige assimilaten bestaan niet alleen uit suikers, ook zuren en andere componenten zijn in het tomatensap aanwezig. Echter, er wordt via de °Brix-metingen een goede indicatie gegeven voor het totale suikergehalte beschikbaar in de tomaat, aangezien de andere componenten een lage concentratie hebben.

Het belangrijkste mobiele nutriënt dat geïmporteerd wordt door de tomaat is sucrose (Walker & Ho, 1977). Sucrose wordt gebruikt voor de celstructuur, de groei, de respiratie en de opslag. Tijdens de vruchtrijping vindt een omzetting plaats van sucrose naar de glucose en fructose. De voornaamste vorm van reserves in een rijpe tomaat zijn dan ook glucose en fructose. Deze vormen samen ongeveer de helft van de totale drogestofgehalte van een tomaat (Davies & Hobson, 1981).



Figuur 2.4. Schematische voorstelling van een handmatige refractometer (aangepaste weergave naar ChemBuddy, 2011).

2.3.2 Chemische analyses

Dit deel van de thesis richtte zich op de concentratiebepaling van de belangrijkste hexose-suikers (fructose, glucose en sucrose) en organische zuren (malaat en citraat) in tomaten. Deze analyses lieten toe een beeld te schetsen van de organoleptische vruchtkwaliteit en de eventuele effecten van de behandelingen hierop. De beschouwde koolhydraten werden hierbij geacht bepalend te zijn voor de organoleptische kwaliteit, zoals aangegeven in Ho (1996).

De analyses werden uitgevoerd op de vruchten, geoogst vanaf elke derde tros. Hierbij werd telkens de derde vrucht van iedere tros geselecteerd voor effectieve analyse. Na oogst werden de vruchten onmiddellijk fijn gesneden en vervolgens bewaard bij $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, in afwachting van analyse. Voor zowel de suikers als de organische zuren werd een specifieke analytische methode toegepast, die elk een fase van extractie, chromatografische scheiding en detectie omvatten. Deze methoden werden toegepast op 66 tomaten, met een minimum van 11 tomaten per behandeling.

2.3.2.1 Monstervoorbereiding en extractie

Het bekomen van een homogene vruchtmassa was het hoofddoel van de monstervoorbereiding. Elke tomaat werd na het vriesdrogen vermaald met behulp van een mortier en vijzel, daarbij gebruik makend van vloeibare stikstof. Hierdoor werd een homogeen poeder voor iedere tomaat bekomen, waarvan telkens een representatief staal genomen kon worden.

Hexose-suikers

Voor de extractie van de suikers werd $100,0\text{ mg}$ van het gehomogeniseerd materiaal afgewogen in een 15 ml propyleenbuisje waarna 4 ml ethanol (100%) (Merck KGaQ, Darmstadt, Duitsland) werd toegevoegd. Hierna wordt het staal gevortext om al het tomaatmateriaal in oplossing te brengen. De stalen werden vervolgens 10 min in een warmwaterbad van $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ geplaatst, gevolgd door 3 u in een warmwaterbad van $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Daarna werden de stalen gecentrifugeerd gedurende 10 min aan 5000 x g en dit bij $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Van het supernatans werd vervolgens 1 ml extract alsdusdanig in een vial overgebracht.

Organische zuren

Voor de extractie van de organische zuren uit tomaat werd 50,0 mg van het gehomogeniseerde materiaal afgewogen in een 15 ml propyleenbuisje. Daarna werd 2 ml ultrapuur water (aangeleverd via Sartorius Stedim, Biotech GmbH, Göttinger, Duitsland) toegevoegd en het staal gevortext. De stalen werden vervolgens gedurende 15 min in een warmwaterbad van 100 °C geplaatst. Hierna vond een centrifugatiestap plaats (5000 x g, 10 min, 8 °C) waarbij het plantmateriaal en extract werden gescheiden. Ongeveer 1 ml van dit extract (het supernatans) werd verzameld, gefilterd doorheen een 0.45 µm filter (PP Syringe, Sigma Aldrich, Duitsland) en overgebracht in een vial.

2.3.2.2 Chromatografische scheiding

Hexose-suikers

De suikers werden chromatografisch gescheiden via een Prevail Carbohydrate HPLC-kolom (High Performance Liquid Chromatography) (Grace Alltech, Illinois, VS, 250 mm lengte, 4,6 mm interne diameter, 5 µm partikelgrootte) en toepassing van een isocratisch elutieprogramma. Hierbij werd gebruik gemaakt van twee solventen, namelijk acetonitrile (Fisher Scientific, San Jose, VS) en ultrapuur water, in een respectievelijke 80/20 (v/v) verhouding. Daarnaast werd ook gebruik gemaakt van een Agilent 1100 Series pompsysteem en autosampler. De analysetijd voor 1 staal bedroeg 35 min, het debiet 600 µl min⁻¹ en het injectievolume 10 µl.

Organische zuren

De chromatografische scheiding van de organische zuren werd gerealiseerd met behulp van een GraceSmart Reverse Phase C18 HPLC-kolom (Grace Davison Discovery Sciences, Illinois, VS, 150 mm lengte, 2,1 mm interne diameter, 5 µm partikelgrootte). Een mengsel van ultrapuur water (97,8%) en methanol (2,2%) werd als mobiele fase gebruikt. Ook werd er gebruik gemaakt van trifluoazijnzuur (TFA) om het solvent aan te zuren tot een pH van 2,7. Aangezien slechts één solvent werd aangewend, vond hier een isocratisch elutieprogramma plaats. Daarnaast werd gebruik gemaakt van een Accela 600 pompsysteem en autosampler. De analysetijd, het debiet en het injectievolume bedroegen respectievelijk 7,5 min, 250 µl min⁻¹ en 10 µl.

2.3.2.3 Detectie

Hexose-suikers

Voor detectie van de suikers werd gebruik gemaakt van Evaporative Light Scattering Detection (ELSD, Grace, Illinois, VS). Bij deze detectietechniek worden de doelcomponenten samen met de mobiele fase verneveld en naar een driftbuis gebracht. Deze buis wordt verwarmd waarbij alleen de mobiele fase verdampt en de doelcomponenten als vaste minuscule partikels overblijven. Die partikels migreren vervolgens naar de detector, waar zich een lichtbron bevindt. Het licht wordt gebroken door de partikels en gedetecteerd door een fotomultiplicator. De optimale parameterwaarden bij deze detectiemethode bedroegen voor de verdampingstemperatuur 40 °C, de gasdruk 0,2 MPa, het gasdebiet 1,5 l min⁻¹ en de gain 4. Het inert draaggas was helium.

Organische zuren

Voor detectie van de organische zuren werd geopteerd voor de LTQ-XL massaspectrometer (Linear Ion Trap Mass Spectrometer, Thermo Scientific, San Jose, VS). De massaspectrometer werd daarbij gekoppeld aan een HESI-bron (Heated Electrospray Ionization), die instaat voor de ionisatie van de beschouwde analieten. Het creëren van een lading laat daarbij toe om via elektrische velden specifieke ionen, gekenmerkt door een bepaalde massa/lading verhouding (m/z), te selecteren en te fragmenteren. Dit type massaspectrometer maakt bij fragmentatie gebruik van de iontraptechniek. De gevormde fragmenten, de zogenaamde productionen, dragen bij tot de selectiviteit, die vereist is voor een betrouwbare detectie en kwantificatie.

De moederionen van de doelcomponenten, geïoniseerd in de negatieve ionisatiemodus, hadden volgende m/z -waarden: 133,01 voor malaat en 191,02 voor citraat. Bij de detectie en de kwantificatie werd voor iedere component gebruik gemaakt van twee componentspecifieke fragmenten. Voor de fragmenten van malaat werd een m/z -verhouding bepaald van 86,84 en 114,80. Voor de fragmenten van citraat werden 110,84 en 172,89 als waarden bepaald.

Als optimale parameterwaarden werd voor deze detectiemethode een kolomtemperatuur van 25 °C, een sheath gas debiet van 45 arb, een aux gas debiet van 15 arb, een sweep gas debiet van 1 arb, een capillaire temperatuur van 250 °C, een capillair voltage van -50 V, een tube lens voltage van -120 V en een heater temperatuur van 350 °C geselecteerd. De HESI specificaties omvatten voor het horizontaal x-vlak 0, het verticaal y-vlak 1, de hoogte C en de spray voltage 5 kV. Als inert draaggas werd gebruik gemaakt van helium.

2.3.2.4 Kwantificatie

Hexose-suikers

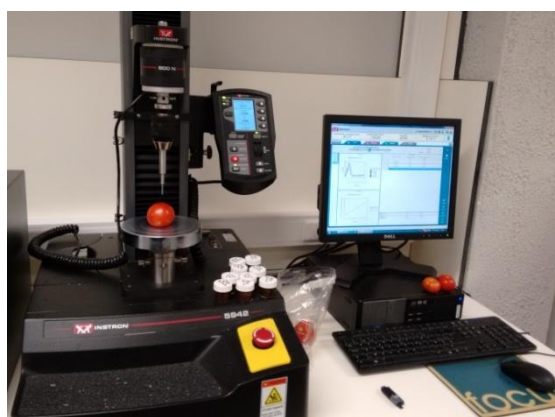
Voor kwantificatie van de gedetecteerde suikers werd een standaardreeks in acetonitrile/ultra puur water (80/20, v/v) aangemaakt waarbij gebruik werd gemaakt van de stockoplossingen (10 mg ml⁻¹) van de analytische standaarden fructose (D-vorm), glucose (D-vorm) en sucrose (D-vorm) (Merck, KGaA, Darmstadt, Duitsland). De ijklijn omvatte negen ijkpunten waarbij het concentratiebereik varieerde van 0 tot 1 mg ml⁻¹. Aan de hand van de retentietijd, die vooraf bepaald werd via de analytische standaarden, werd elk hexose-suiker geïdentificeerd. De gemiddelde retentietijd (n = 66) bedroeg voor fructose 16,32 min, voor glucose 20,69 min en voor sucrose 29,69 min. De kwantificatie baseerde zich op de gesommeerde integratie van de piekoppervlakken van de overeenkomstige chromatogrammen.

Organische zuren

De analytische standaarden van malaat (Merck, KGaA, Darmstadt, Duitsland) en citraat (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, VS) werden gebruikt voor het opstellen van de standaardreeks van de zuren. Deze standaardreeks wordt aangemaakt in ultrapuur water. De ijklijn bestond uit 8 ijkpunten met een concentratiebereik dat varieerde tussen 0 en 75 ng µl⁻¹ voor citraat en tussen 0 en 200 ng µl⁻¹ voor malaat. Elk organisch zuur werd geïdentificeerd aan de hand van zijn retentietijd en karakteristieke fragmenten. Voor malaat bedroeg de retentietijd 1,59 min en voor citraat 1,72 min. Kwantificatie werd gerealiseerd door integratie van de oppervlakte van de overeenkomstige chromatografische pieken.

2.3.3 Hardheid

De textuuranalyses werden uitgevoerd op de eerste en vierde tomaat van elke tros, die uit vijf tomaten bestond. Na de oogst werden deze tomaten anderhalve dag in een thermostaat op 20 °C bewaard. De hardheid werd via de A 5942 Instron Texture Analyzer (Instron, High Wycombe, UK) gemeten (Figuur 2.5). Aan dit toestel werd een cilindervormige staafje (diameter = 16,990 mm) gemonteerd dat door de tomaten boort. Elke tomaat werd in totaal vijfmaal doorboord rond de onderkant van de vrucht. Hierbij werden de tomaten 10 mm diep doorboord aan een snelheid van 1 mm/s. De hardheid (N) wordt gedefinieerd als de maximaal uitgevoerde kracht tijdens de boring. Tijdens deze metingen werd gebruik gemaakt van de Bluehill 3 software (Instron, High Wycombe, UK).



Figuur 2.5. A 5942 Instron Texture Analyzer.

2.4 Statistische dataverwerking

De statistische verwerking werd uitgevoerd in SigmaPlot 13 (Systat Software Inc, Drunen, NL). De data werden per behandeling en per suiker of zuur geordend. Per suiker of zuur werden deze eerst getest op normaliteit. Wanneer een normale verdeling werd vastgesteld, werd er een ANOVA (Analysis of Variance) op toegepast, om na te gaan of er minstens twee gemiddelden van de verschillende behandelingen varieerden op een significantieniveau van 95%. Indien het bekomen resultaat via ANOVA positief was, werd een Holm-Sidak post-hoc test uitgevoerd, waarin de verschillende behandelingen onderling werden vergeleken. Indien de data niet normaal verdeeld waren, werd een Kruskal-Wallis ANOVA on Ranks uitgevoerd, waarop eventueel de Dunn's methode volgde als post-hoc test. De verschillen in ecofysiologische parameters (sapstroom en stengelgroei) alsook deze voor hardheid, waterpotentiaal en verhouding drogestof/versgewicht werden eveneens met ANOVA on ranks en Dunn's methode geanalyseerd. De vers- en drogestof gewichten werden via ANOVA geanalyseerd, waarop voor de versgewichten een Holm-Sidak post-hoc test volgde.

3. Resultaten

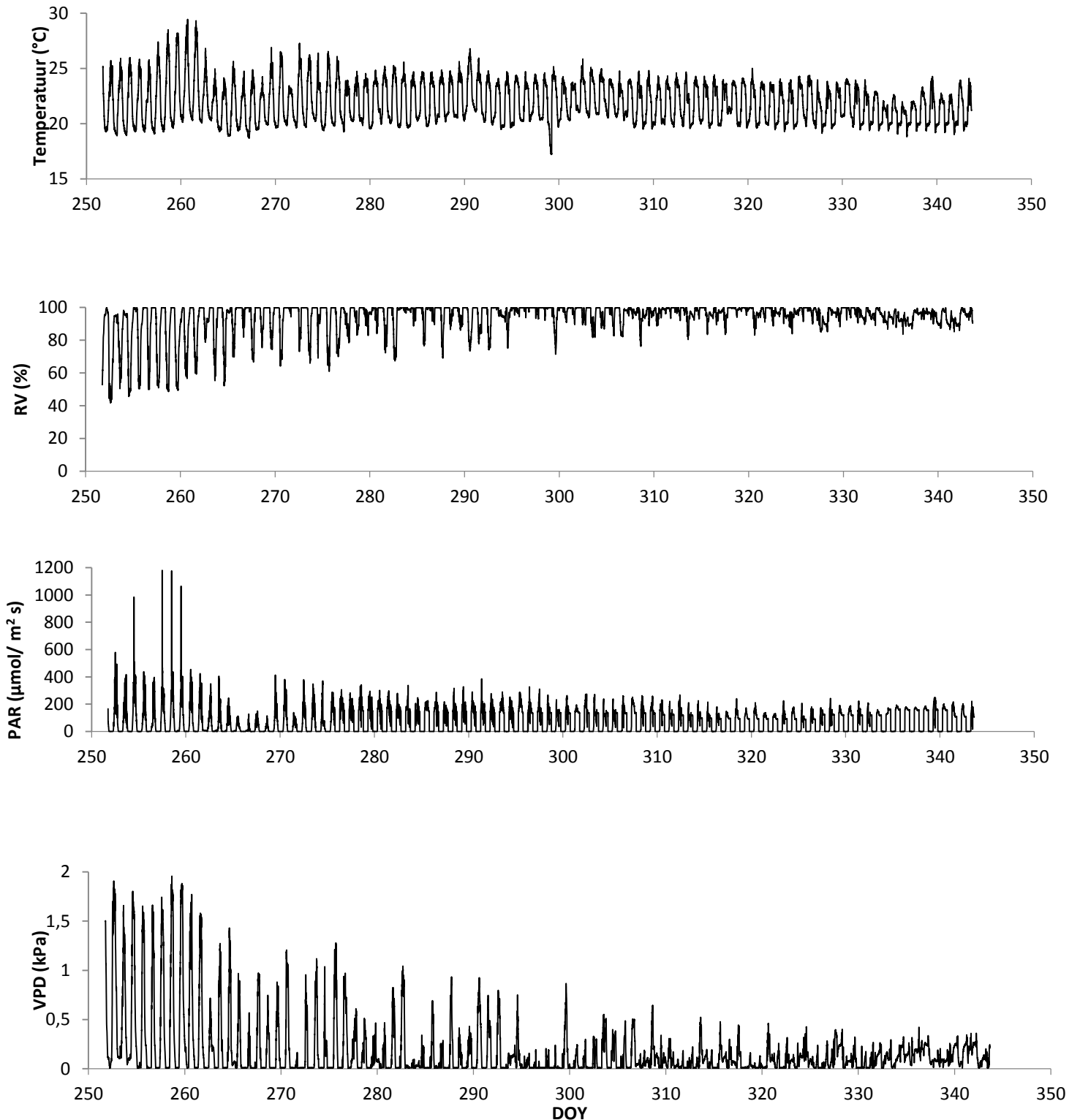
3.1 Overzicht van het groeiseizoen

Omgevingsfactoren

Het microklimaat kent een grote invloed op het verloop van de fysiologische processen tijdens de ontwikkeling van de tomaat. Dit wordt via de opgemeten parameters waaronder de temperatuur, de relatieve vochtigheid (RV) en de fotosynthetische actieve straling (PAR) verder toegelicht. In Figuur 3.1 worden deze omgevingsvariabelen weergegeven alsook het dampdruktekort (VPD, Vapour Pressure Deficit). De gemiddelde waarde en hun standaardafwijking over de hele meetperiode bedraagt voor de temperatuur $21,9 \pm 1,84$ °C, voor de relatieve vochtigheid $94 \pm 9,49$ %, voor de PAR $69,3 \pm 85,1$ $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ en voor de VPD $0,17 \pm 0,30$ kPa.

Uit Figuur 3.1 is af te leiden dat PAR, temperatuur en VPD dalen naarmate het experiment verloopt. Dit in tegenstelling tot de relatieve vochtigheid, die een stijgende trend vertoont. De hogere waarden voor de temperatuur en de PAR in het begin van de proef zijn te wijten aan de zonnige dagen, die de maanden juli, augustus en september typeren. Daarna dalen deze waarden langzaam. Vanaf midden oktober (DOY 297) werd de assimilatiebelichting ingeschakeld, die dagelijks van 9 tot 21 u brandde, tenzij er voldoende licht van buiten werd opgemeten.

De stijging in de relatieve vochtigheid tijdens het verloop van het experiment is te wijten aan de omstandigheden in de kas. Door de hoge relatieve vochtigheid wordt de transpiratie van de planten verminderd, wat onder meer aanleiding geeft tot een hogere (minder negatieve) waterpotentiaal (zie sectie 3.2) en een lage VPD. De VPD is een atmosferische parameter die staat voor de absolute hoeveelheid vocht, die de planten nog aan de lucht kan afgeven. Hoe hoger VPD, hoe meer transpiratie, hoe meer de plant aan fotosynthese kan doen, dus hoe meer groeipotentie de plant nog heeft. VPD kan gebruikt worden om de behoefte aan water van het gewas te benaderen. Daarnaast leidt een lage VPD of een hoge RV tot een verhoogde kans op de aanwezigheid van schimmels en bacteriën, wat het sporadische voorkomen van echte meeldauw in de serre verklaart. Om dit tegen te gaan werd preventief gezwaveld, verlucht of drooggestookt.



Figuur 3.1. Klimatologische variabelen in de serre. De gemiddelde dagtemperatuur uitgedrukt in °C, de gemiddelde relatieve vochtigheid (RV) uitgedrukt in %, de dagelijks gemiddelde fotosynthetische actieve straling (PAR) uitgedrukt in $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ en het dampdrukdeficit (VPD) uitgedrukt in kPa. Periode van 7 september (DOY 250) tot 11 december (DOY 345).

3.2 Plantmetingen

Het plantgedrag heeft een grote invloed op de vruchtkwaliteit. Aangezien deze thesis hoofdzakelijk handelt over de kwaliteit van de vrucht worden de gemeten plantvariabelen in hoofdzaak gebruikt om een algemeen beeld te schetsen van de waterstatus van de plant, om zo de link te kunnen leggen met de vruchtkwaliteit. Dit luik zal daarom voornamelijk handelen over het verschil in watergebruik onder de verschillende behandelingen en de reactie van de plant hierop. Dit wordt benaderd door het gemiddelde van het dagelijkse waterverbruik tussen de verschillende behandelingen te vergelijken. Daarnaast zal een vergelijking gemaakt worden tussen de totale stengelgroei, maximale dagelijkse krimp (MDS) en de stamwaterpotentiaal in functie van de vijf behandelingen. Op deze manier wordt een totaalbeeld geschetst over het verschil in waterstatus tussen de behandelingen. Van hieruit kan dan vervolgens overgeschakeld worden naar de kwaliteit van de vrucht.

3.2.1 Sapstroom

De sapstroommetingen in de stengel geven informatie over de waterstatus van de plant. Aangezien transpiratie de drijvende kracht is voor het watertransport in de plant leidt een hoge transpiratie tot een stijging in sapstroom. Echter, de data van de sapstroommetingen zijn niet eenvoudig te interpreteren, aangezien de sapstroom beïnvloed wordt door de atmosferische watervraag alsook door de beschikbaarheid van water in het substraat. Hierdoor kunnen lage sapstromen tijdens de middag te wijten zijn aan een lage watervraag van de atmosfeer (een lage VPD) of aan een lage waterbeschikbaarheid in het wortelmilieu (droogtestress), die geïnduceerd wordt door de specifieke behandeling (De Swaef *et al.*, 2009).

In Tabel 3.1 wordt er gekeken naar het verschil in waterverbruik tussen de behandelingen. Dit geeft een idee over de droogtestress. De gemiddelde waarden en de standaardafwijking per sensor in de rij alsook over de behandeling heen worden hierin afgebeeld, uitgedrukt in g/dag.

Tabel 3.1. De gemiddelde dagwaarden voor de sapstroom en hun bijhorende standaardafwijking (n=3) per behandeling over de volledige periode. Waarden met eenzelfde letterindex zijn niet significant verschillend (P<0,05).

Behandeling	Gemiddelde sapstroom (g/dag)
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	910±34 ^a
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 80% H ₂ O	935±32 ^a
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 60% H ₂ O	767±25 ^b
EC 4 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	817±33 ^b
EC 6 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	818±43 ^c

3.2.2 Stengeldiametervariatie

De LVDT-metingen geven informatie over de variatie in stengeldiameter evenals over de waterstatus van de plant. Deze variaties in diameter zijn het resultaat van het radiaal watertransport tussen het xyleem en het omringende weefsel van wateropslag (Steppe *et al.*, 2006; Steppe *et al.*, 2012; De Swaef & Steppe, 2010). Om een zicht te hebben op het effect van de droogte- en zoutstress wordt er gekeken naar het verschil in de groei tussen de verschillende behandelingen aan de hand van het verschil tussen de begin- en eindwaarde van de diameter opgemeten tijdens het volledige experiment. Uit Tabel 3.2 blijkt dat de planten onderhevig aan de hoogste droogte- en zoutstress de minste groei vertonen.

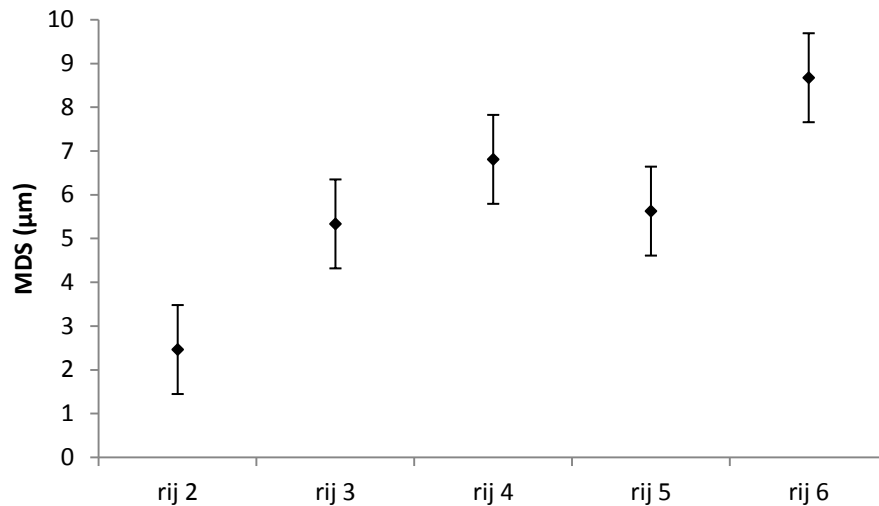
Tabel 3.2. Gemiddelde waarden en hun standaardafwijking (n=3) voor de stengeldiametervariatie per behandeling uitgedrukt in mm. Waarden met eenzelfde letterindex zijn niet significant verschillend ($P < 0,05$).

Behandeling	Stengeldiametertoename (mm)
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	1,1±0,16 ^a
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 80% H ₂ O	1,5±0,30 ^b
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 60% H ₂ O	0,5±0,1 ^c
EC 4 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	0,9±0,15 ^d
EC 6 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	0,8±0,2 ^e

3.2.3 Maximale dagelijkse krimp

De maximale dagelijkse krimp (MDS) is het verschil tussen de maximale diameter van de stengel gemeten tijdens de ochtend en de minimale diameter van de stengel gemeten over diezelfde dag. Op die manier wordt de krimp van die dag bepaald, wat ons meer kan vertellen over de waterstatus van de plant. Deze berekening werd telkens op de sensorplanten uitgevoerd, wat resulteert in drie herhalingen per behandeling. De resultaten worden weergegeven in Figuur 3.2. Hierin wordt de gemiddelde MDS voor elke sensorplant alsook voor elke behandeling afgebeeld.

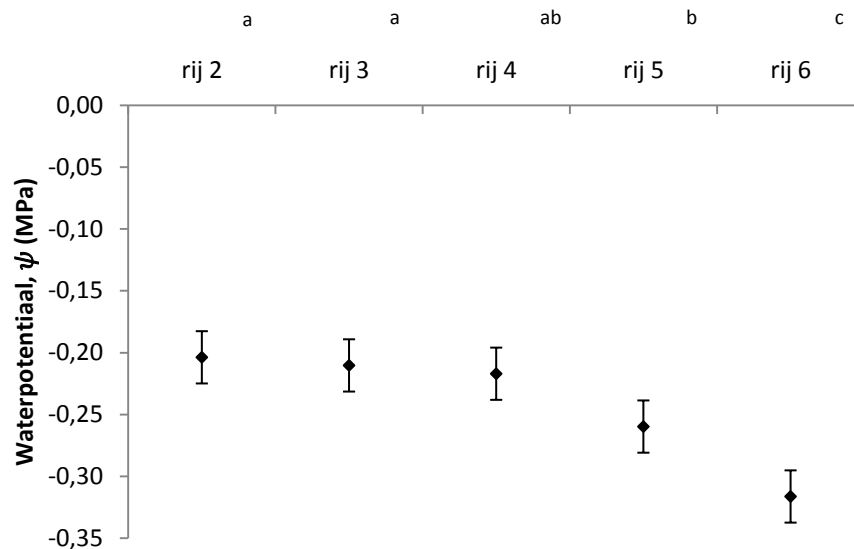
De invloed van de uitgevoerde behandelingen op de plant wordt op die manier duidelijk. Voor de behandelingen waarin een hogere droogte werd opgelegd, is een stijging in de gemiddelde dagelijkse krimp waar te nemen. Ook is er een grotere MDS voor de rijen waarin de opgelegde EC hoog is. Het is duidelijk dat de planten die aan een hoge EC werden blootgesteld een sterkere krimp vertonen ten opzichte van de controle alsook ten opzichte van droogte.



Figuur 3.2. De gemiddelde MDS en hun standaardfout (n=36) uitgedrukt in μm per behandeling, van DOY 308 tot DOY 350.

3.2.4 Stengelwaterpotentiaal, ψ

De resultaten voor de stengelwaterpotentiaal zijn de gemiddelde middagpotentialen tussen 12 en 13u gemeten doorheen de ganse periode (DOY 269 tot DOY 346) uitgedrukt in MPa. Uit Figuur 3.3 valt af te leiden dat bij de behandelingen waar een hogere saliniteit werd opgelegd, de planten meer moeite moeten doen om water op te nemen via een lagere waterpotentiaal. Dit resulteert in een sterker negatieve waterpotentiaal.



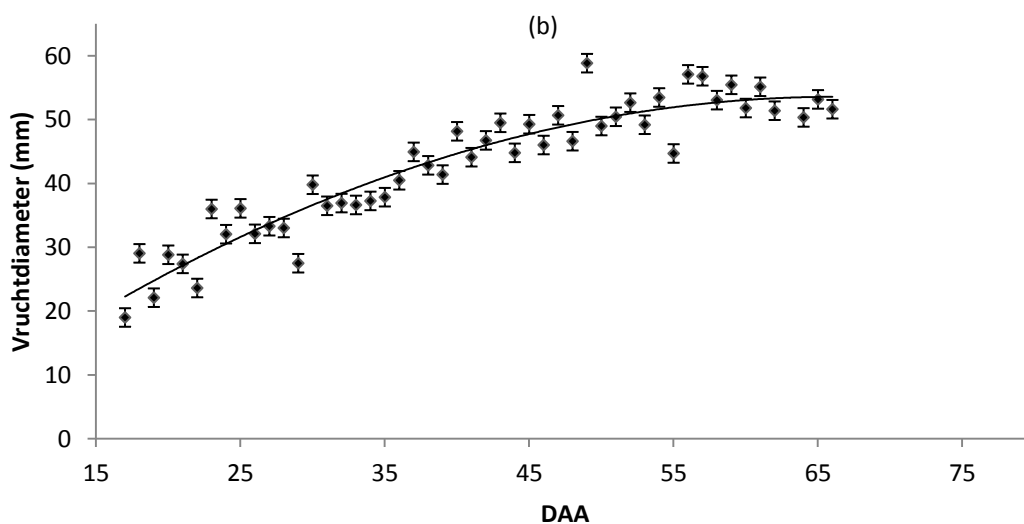
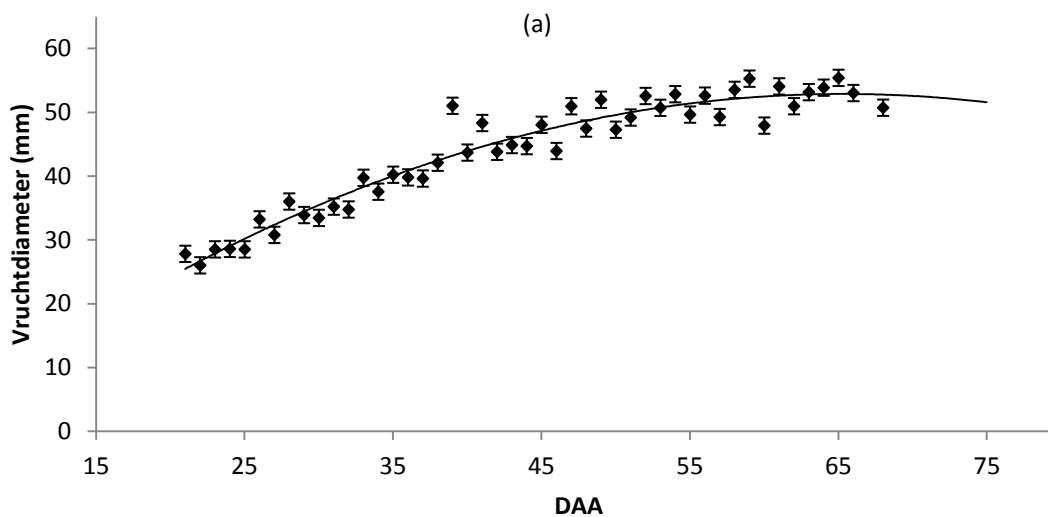
Figuur 3.3. De gemiddelde stengelwaterpotentiaal (ψ) en de bijhorende standaardfout (n=25) per behandeling uitgedrukt in MPa. Waarden met eenzelfde letterindex zijn niet significant verschillend ($P < 0,05$).

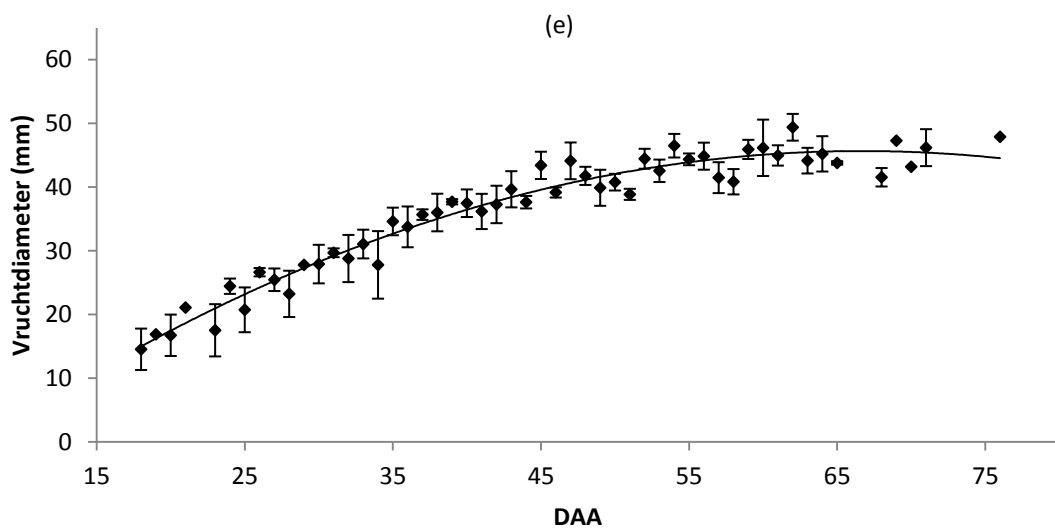
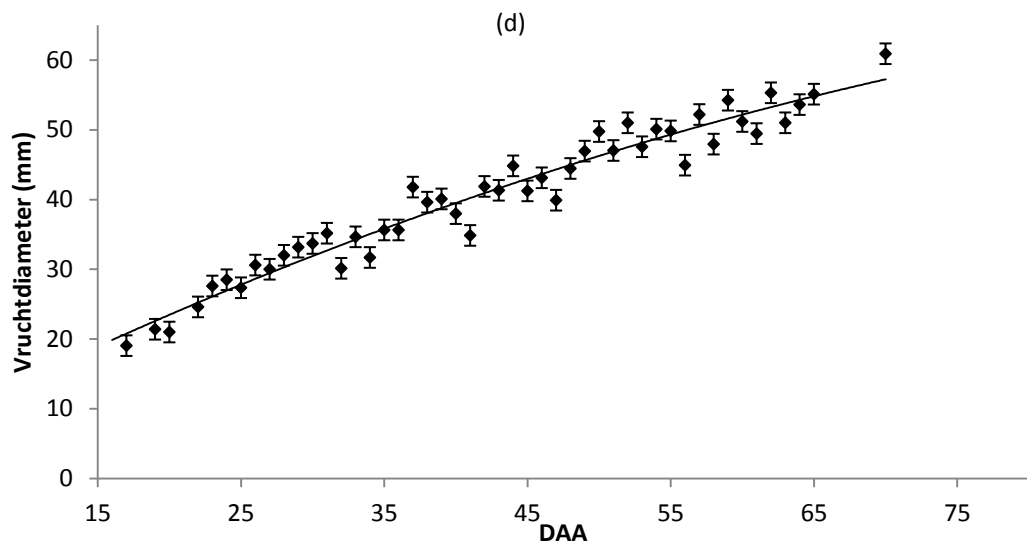
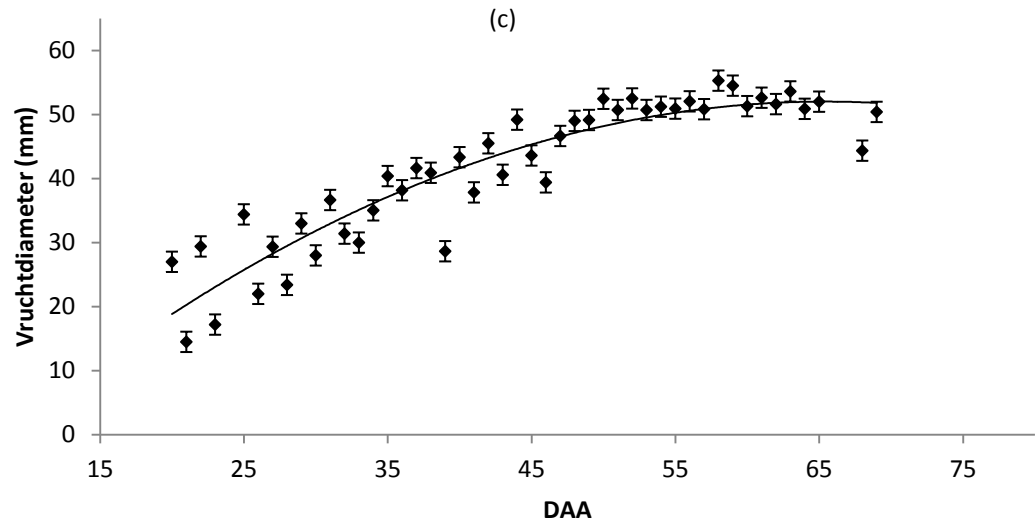
3.3 Vruchtmetingen

3.3.1 Tomaatdiametervariatie

De groei van de ontwikkelende tomaten wordt per behandeling weergegeven in functie van DAA ('Days After Anthesis', dagen na de bloei) en afgebeeld in Figuur 3.4. Zo worden verschillen in de groei en de uiteindelijke grootte van de vrucht tussen de verschillende behandelingen duidelijk. De grootte van de tomaat is belangrijk voor de teler, want grotere tomaten hebben een hoger gewicht, en leiden zo ook tot een hogere opbrengst.

Uit Figuur 3.4 wordt een daling in de grootte waargenomen naarmate de EC toeneemt (vergelijk de controle (rij2) met rij 5 en 6; respectievelijk Figuur 3.4 a, d en e). Het effect van droogte is hier minder sterk uitgesproken (vergelijk de controle t.o.v. rij 3 en 4; respectievelijk Figuur 3.4 a, b en c).





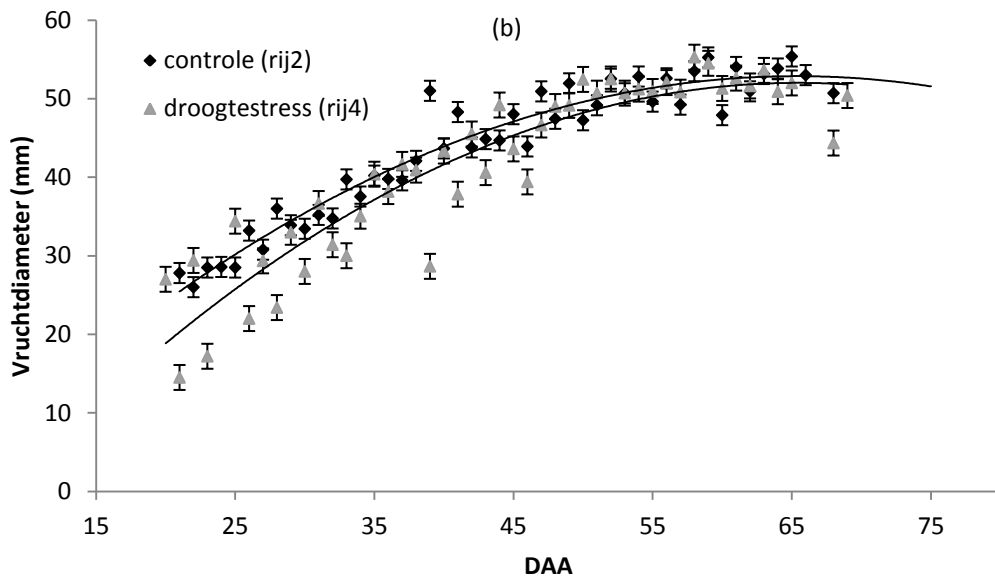
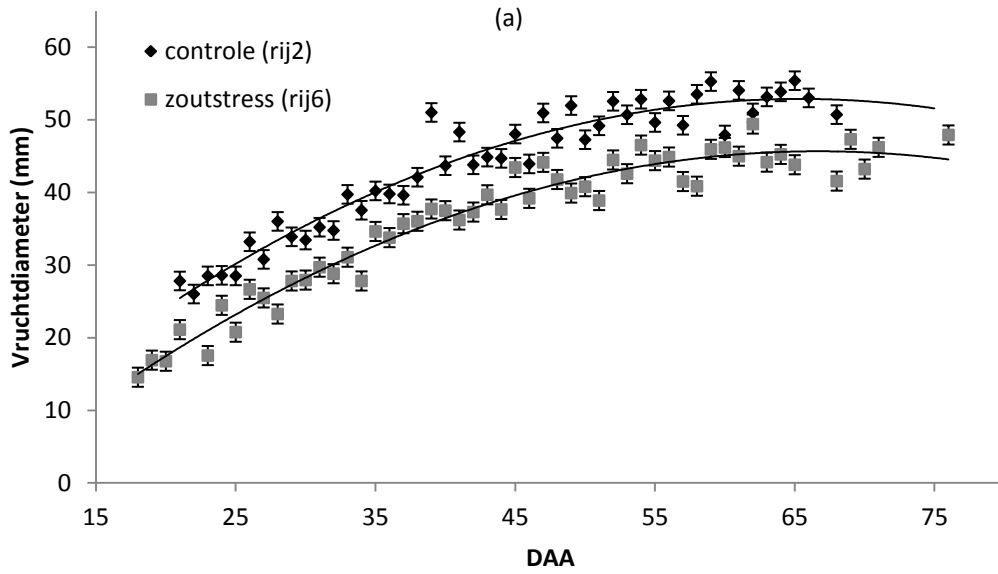
Figuur 3.4. Het verloop van de vruchtdiameter doorheen de ontwikkeling, uitgedrukt in mm waarbij (a), (b), (c), (d) en (e) respectievelijk voor rij 2, 3, 4, 5 en 6 staan. Hiervoor werden per behandeling 3 planten gebruikt waarop telkens 6 tomaten gemeten werden.

Als de gegevens voor de sterkste droogte- en zoutstress uit Figuur 3.4 grafisch worden uitgezet ten opzichte van de controlebehandeling, is duidelijk te zien dat het effect van zoutstress groter is dan dat van droogtestress (Figuur 3.5).

Daarnaast wordt de gemiddelde diameter van de volledig rijpe tomaten per behandeling alsook de duur van vruchtontwikkeling en -rijping, weergegeven in Tabel 3.3. Hieruit valt af te leiden dat de tomaten die een hogere EC ervaren kleinere tomaten voortbrengen dan de tomaten geproduceerd onder droogtestress.

Tabel 3.3. De gemiddelde diameter en de standaardafwijking van de rijpe tomaten in mm alsook het gemiddelde oogsttijdstip uitgedrukt in DAA voor elke behandeling.

Behandeling	Vruchtdiameter (mm)	DAA
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	53,5±5	63±2
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 80% H ₂ O	53±5	60±3
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 60% H ₂ O	52±6	60±10,5
EC 4 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	52±6	60±3
EC 6 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	44±4	62±4



Figuur 3.5. De variatie in diameter van de tomaten in mm uitgezet ten opzichte van DAA voor (a) de controle en de zoutstress en voor (b) de controle en de droogtestress. Hiervoor werden per behandeling 3 planten gebruikt waarop telkens 6 tomaten gemeten werden.

3.3.2 Suikers en zuren

De chemische extracties voor de hexose-suikers en organische zuren werden in totaal op 65 tomaten uitgevoerd. Het aantal tomaten dat geanalyseerd werd, verschilt per behandeling. Voor de tomaten uit rij 2, 3, 4, 5 en 6 bedroeg dit aantal respectievelijk 12, 15, 14 en 13. Er werden nergens outliers vastgesteld bij de concentraties aan suikers en zuren, maar één staal werd niet in rekening gebracht gezien de extractie hiervan niet goed verlopen was.

De berekende concentraties werden per behandeling en per onderzochte vruchtcomponent gesorteerd. Hiervan werd het gemiddelde en de standaardfout berekend. Deze waarden worden weergegeven in Tabel 3.4. De concentraties zijn uitgedrukt in mg suiker of zuur per g versgewicht (VG).

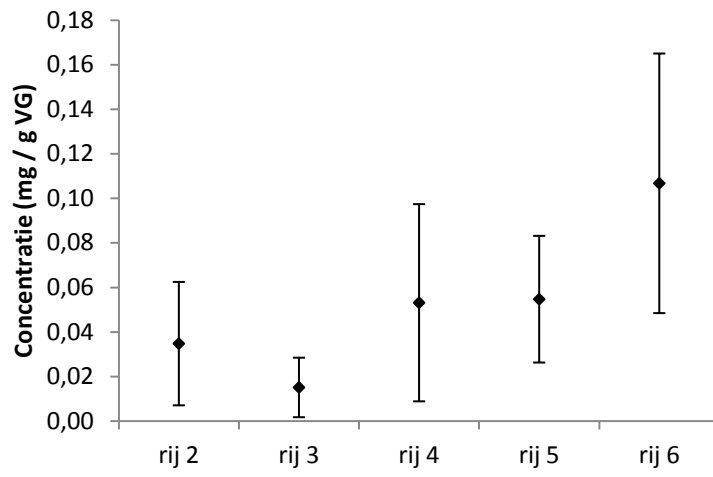
Tabel 3.4. De gemiddelde concentraties en hun standaardafwijking per behandeling voor de hexose-suikers en de organische zuren, uitgedrukt in mg per gram versgewicht (VG). Waarden met eenzelfde letterindex zijn niet significant verschillend ($P < 0,05$).

	mg suikers / g VG			mg zuren / g VG	
	Sucrose	Fructose	Glucose	Malaat	Citraat
100% H ₂ O en EC 2,7 mS cm ⁻¹	0,035±0,03 ^{ab}	4±1,9 ^a	4±1,9 ^{ab}	0,13±0,03	1,8±0,3 ^{ab}
80% H ₂ O en EC 2,7 mS cm ⁻¹	0,015±0,01 ^a	3,95±1,6 ^a	3,8±1,9 ^a	0,14±0,04	1,6±0,2 ^b
60% H ₂ O en EC 2,7 mS cm ⁻¹	0,05±0,05 ^{abc}	6,2±1,8 ^b	5,7±2 ^{ab}	0,13±0,06	1,5±0,8 ^{ab}
100% H ₂ O en EC 4 mS cm ⁻¹	0,055±0,03 ^{bc}	6,6±2 ^b	6±2 ^b	0,13±0,02	2±0,3
100% H ₂ O en EC 6 mS cm ⁻¹	0,10±0,06 ^c	9±1,5 ^c	8,8±1,7 ^c	0,13±0,04	2±0,3 ^a

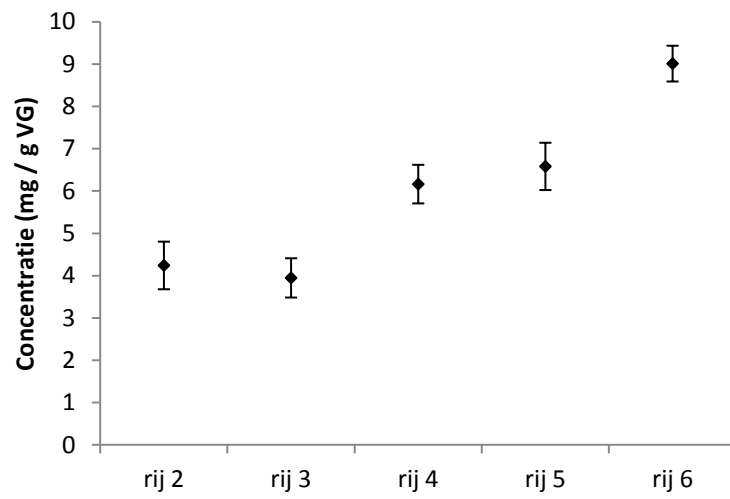
Uit Tabel 3.4 kan worden afgeleid dat de gehalten aan sucrose zeer laag zijn, wat ook gevonden wordt in de literatuur (Mitchell *et al.*, 1991). De gehalten aan fructose en glucose nemen toe naarmate de EC stijgt. Daar waar de droogtestress groter wordt is het opmerkelijk dat voor de behandeling met 80% watergift (rij 3) de waarden voor de suikers lager liggen dan de behandeling met 100% watergift (rij 2). Dit effect is waarschijnlijk te wijten aan het feit dat de randplanten beduidend kleiner waren dan de planten van rij 2, die zo meer zonlicht kon intercepteren dan de andere rijen, waardoor er meer suikers in die rij geproduceerd zouden kunnen zijn. Hierop wordt verder ingegaan in de discussie.

Wat het organische zuur malaat betreft kan er gesproken worden van een licht dalende trend (zie ook Figuur 3.6) naarmate de watergift afneemt van 100% tot 60% bij een constante EC of wanneer de EC stijgt van 2,7 tot 6. Het omgekeerde geldt voor citraat. Hier wordt een stijgende trend gezien tussen de rijen 2, 3 en 4 waarbij de watergift afneemt van 100% naar 60%. Het verhogen van de EC heeft op citraat beduidend minder effect tussen de hogere ECs van 4 mS cm⁻¹ en 6 mS cm⁻¹.

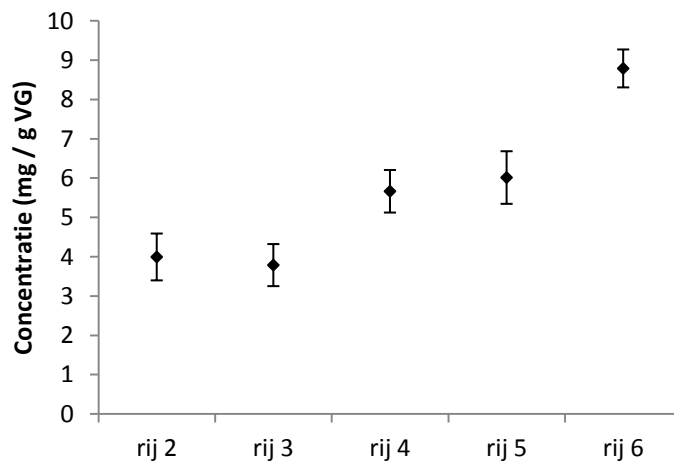
(a)

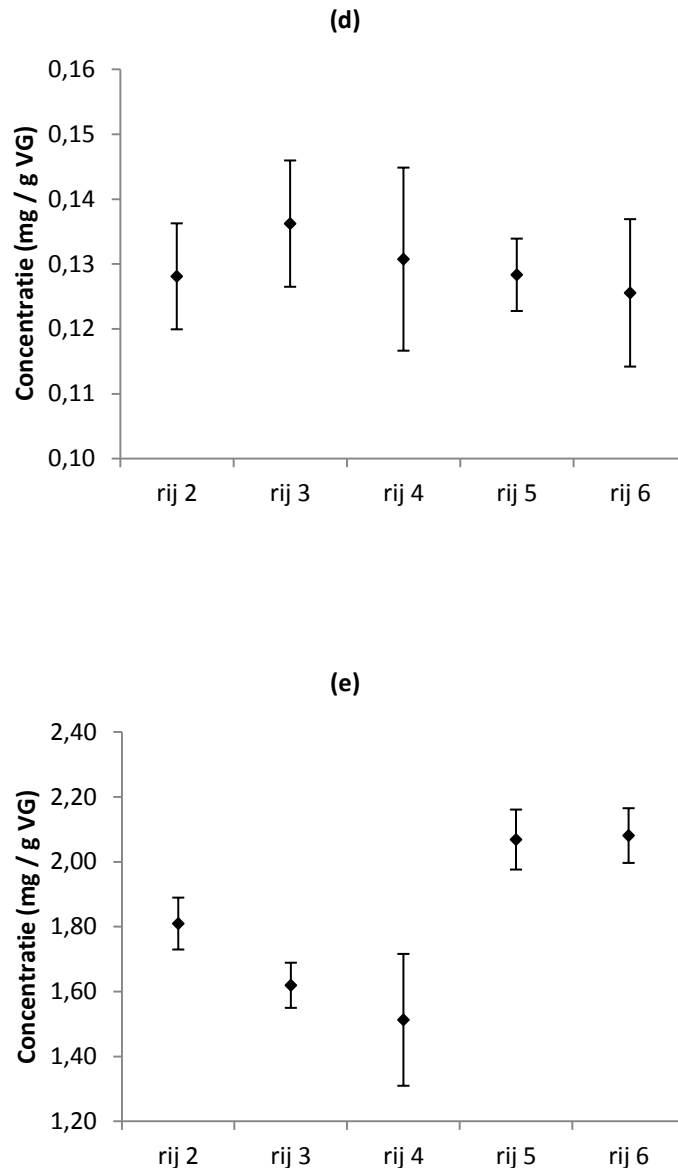


(b)



(c)





Figuur 3.6. De gemiddelde concentraties met hun standaarddeviatie voor (a) sucrose, (b) fructose, (c) glucose, (d) malaat en (e) citraat.

Het gemiddelde gehalte aan versgewicht en drogestof varieert per behandeling. Deze gegevens worden weergegeven in Tabel 3.5. Hieruit kan worden opgemerkt dat de tomaten onderhevig aan een hogere zout- of droogtestress, kleinere versgewichten halen. Nochtans bevatten deze net meer suikers (zie Tabel 3.3). In de literatuur wordt aangegeven dat er een relatie is tussen het gehalte aan drogestof en de aanwezige suikers in de vrucht, namelijk dat $\frac{1}{2} \cdot DS(g) = glucose(g) + fructose(g)$ (Davies & Hobson, 1981). Als de vergelijking wordt toegepast op de data per rij (Tabel 3.6), dan wordt die verhouding niet bevestigd. De waarden tonen namelijk een lagere relatie aan in vergelijking met de vooropgestelde 0,5.

Tabel 3.5. Het gemiddelde en de bijhorende standaardafwijking per rij voor het versgewicht (VG) en het drogestofgehalte (DS) uitgedrukt in gram. Waarden met eenzelfde letterindex zijn niet significant verschillend ($P < 0,05$).

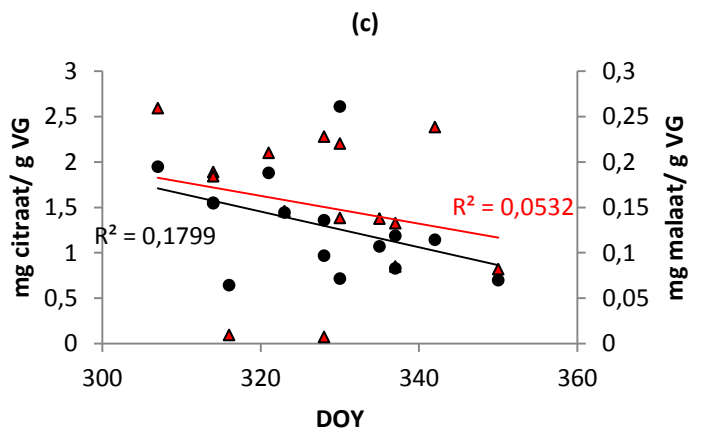
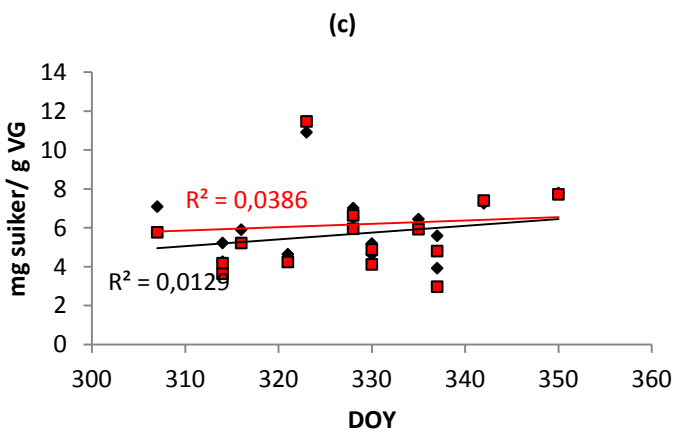
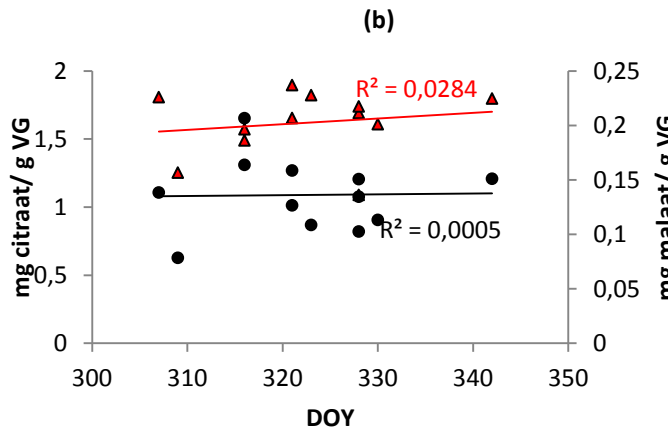
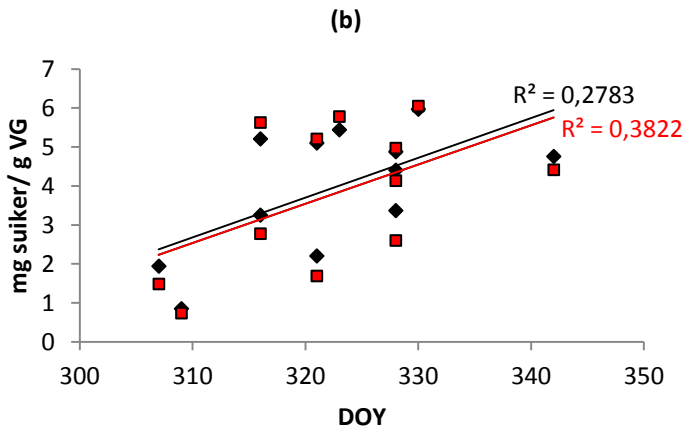
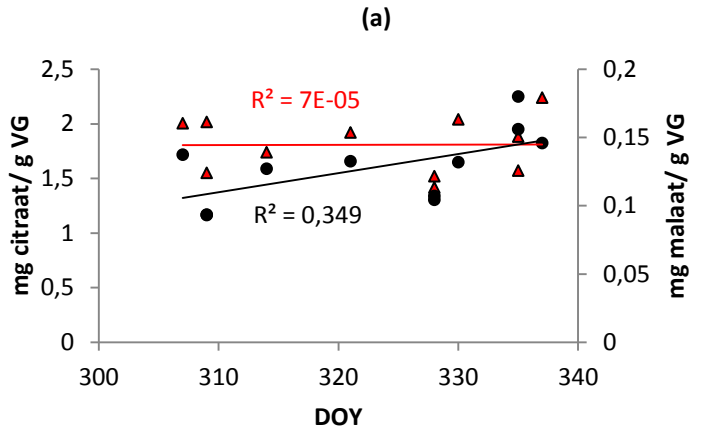
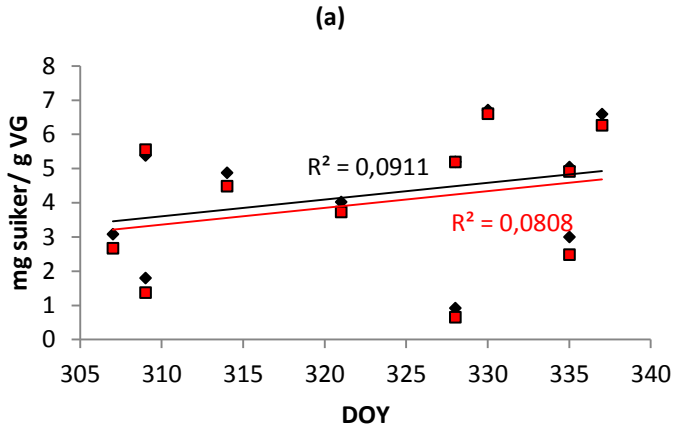
Behandeling	VG (g)	DG (g)	DS/VG (%)
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	92±27 ^a	4,4±1,48	4,8±5,6 ^{ab}
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 80% H ₂ O	95±23 ^a	4,3±1,15	4,6±5,1 ^b
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 60% H ₂ O	77±34 ^{ab}	3,9±1,85	5,1±5,5 ^{ab}
EC 4 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	70±30 ^{ab}	3,9±1,79	5,6±6,1 ^{ac}
EC 6 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	57±20 ^b	3,4±1,28	5,9±6,6 ^c

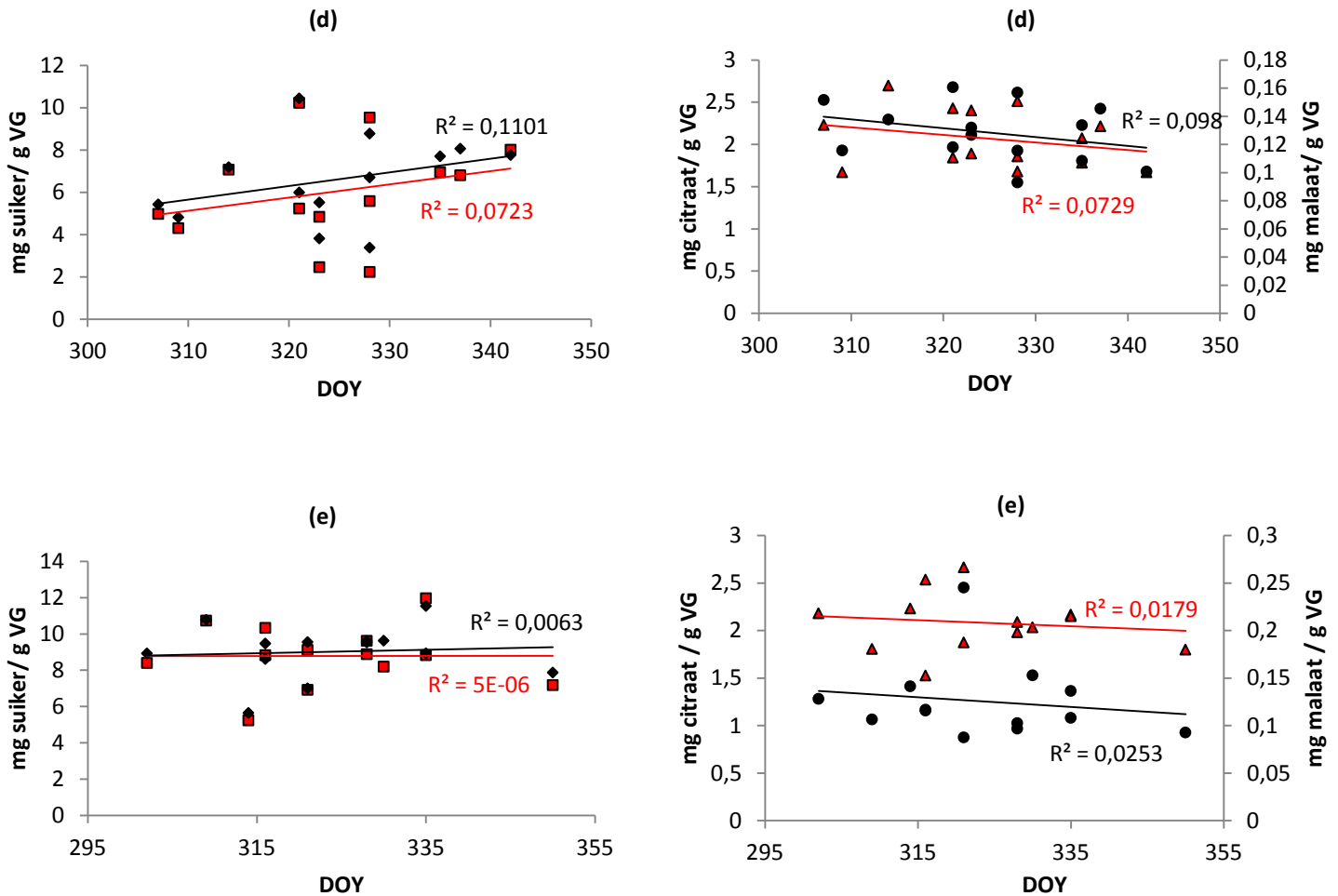
Tabel 3.6. De verhouding tussen het gemiddelde genomen van de som aan glucose en fructose ten opzichte van het drogestofgehalte per tomaat en de daarbij horende standaardafwijking weergegeven per behandeling. Waarden met eenzelfde letterindex zijn niet significant verschillend ($P < 0,05$).

Behandeling	
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	0,16±0,07 ^a
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 80% H ₂ O	0,17±0,07 ^a
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 60% H ₂ O	0,30±0,3 ^{ab}
EC 4 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	0,24±0,08 ^{ab}
EC 6 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	0,31±0,04 ^b
Literatuur	0,5

Uit Tabel 3.5 volgt dat de verhouding DS/VG hoger ligt naarmate de droogtestress en de zoutstress toenemen. Het versgewicht is lager maar de hoeveelheid assimilaten is hoger (Tabel 3.4), waardoor een betere smaak wordt verondersteld. De gehalten aan suiker (som van glucose en fructose) uit Tabel 3.6 bevestigen dit eveneens. De behandelingen waar de zoutstress en droogtestress het grootst zijn, bezitten de hoogste verhouding (30%).

Als de concentraties aan zuren en suikers per behandeling en per tomaat grafisch worden weergegeven ten opzichte van de oogstdatum, is er een patroon merkbaar. De resultaten hieromtrent zijn afgebeeld in Figuur 3.7.





Figuur 3.7. De gehalten aan organische zuren en suikers in mg per g versgewicht (VG) weergegeven per behandeling en per tomat. In de figuur zijn de behandelingen aangeduid als (a) rij 2, (b) rij 3, (c) rij 4, (d) rij 5 en (e) rij 6; bij de suikers is glucose het rode vierkantje en fructose het zwarte ruitje; bij de zuren is citraat het rode driehoekje en malaat het zwarte bolletje.

De concentraties aan sucrose worden niet afgebeeld aangezien deze verwaarloosbaar klein zijn. Echter, voor de meeste rijen valt een licht dalende trend in de organische zuren en een stijgende trend in suikers op te merken.

Wat de behandeling in rij 2 betreft (Figuur 3.7 a), is er voor de suikers en het zuur malaat een stijging waar te nemen doorheen de tijd en voor citraat is er een stagnatie waarneembaar. Voor de behandeling in rij 3 (Figuur 3.7 b) is voor de suikers een toename in de tijd merkbaar alsook voor citraat, voor malaat gaat een constant verloop over de tijd op. In rij 4 (Figuur 3.7 c) is de stijging in fructose lager dan deze voor glucose, voor de organische zuren is er een sterke daling waar te nemen over de tijd. De behandeling in rij 5 (Figuur 3.7 d) zorgt voor een sterke stijging in de suikers alsook voor een sterke daling in de zuren over de tijd. Voor rij 6 (Figuur 3.7 e) is een daling in de zuren, daar waar de waarden voor de suikers nagenoeg constant blijven over de tijd.

3.3.3 Relatie tussen °Brix- en absolute concentratiewaarden suikers

De gemiddelde °Brix-waarde en de bijhorende standaardfout uitgedrukt %MAS per behandeling worden weergegeven in Tabel 3.7. Het %MAS is het gewichtspersent van een bepaalde stof. De °Brix-waarde geeft een notie over het totaal gehalte aan opgeloste assimilaten in het tomatensap. Aangezien deze assimilaten naast zuren en andere componenten zoals fenolen, anti-oxidanten en vitamines voornamelijk uit suikers bestaan, kunnen de bekomen data vergeleken worden met de waarden uit Tabel 3.4. Net zoals uit Tabel 3.4 valt af te leiden, scoren de behandelingen die onderhevig waren aan de grootste zoutstress het hoogst in gemiddelde °Brix-waarde. Opmerkelijk is dat de behandelingen bij droogtestress een dalend patroon vertonen in de °Brix-waarden, in tegenstelling met Tabel 3.4 waar de relatie tussen rij 2 en 4 van stijgende aard is. Algemeen kan gesteld worden dat de °Brix-waarde slechts een indicatie geeft over het gehalte aan suikers, de invloed van de andere assimilaten is veel groter t.o.v. het gebruik van de °Brix-metingen bij druif, waar deze een quasi exacte aanduiding geeft omtrent het suikergehalte.

Aangezien de °Brix een integratie geeft van de opgeloste stoffen, kunnen de waarden vergeleken worden met de verhouding tussen de drogestof en het versgewicht. Dit wordt eveneens in Tabel 3.7 weergegeven. Hieruit valt af te leiden dat er een gelijkaardige trend waar te nemen is, zeker wat de behandelingen onderhevig aan zoutstress betreft.

Tabel 3.7. De gemiddelde °Brix-waarde met de bijhorende standaardfout alsook de verhouding tussen de drogestof (DS) en het versgewicht (VG) per behandeling uitgedrukt in MAS% en %.

Behandeling	°Brix (MAS%)	DS/VG (%)
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	4±0,07	4,8±5,5
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 80% H ₂ O	3,9±0,2	4,6±5,1
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 60% H ₂ O	3,8±0,09	5,1±5,5
EC 4 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	4,2±0,07	5,6±6,1
EC 6 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	4,4±0,08	5,9±6,6

3.3.4 Hardheid

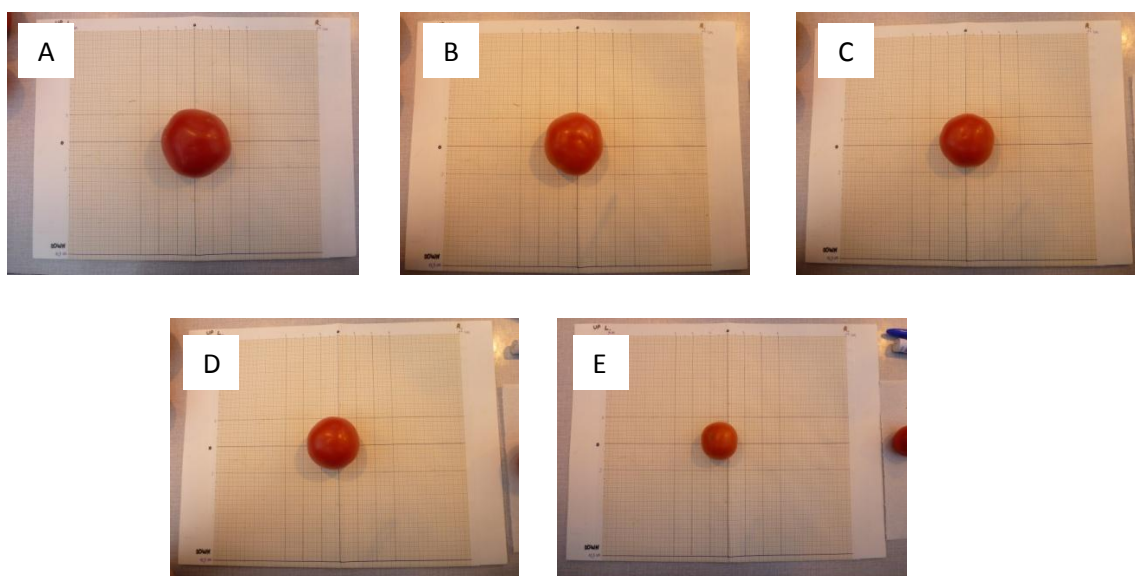
De gemiddelde waarden voor de hardheid en de bijhorende standaardfout (uitgedrukt in Newton) worden per behandeling weergegeven in Tabel 3.8. De hardheid is een belangrijke eigenschap van de tomaat voor de consument alsook voor de producent. De Belgische consument heeft graag een stevige tomaat om te nuttigen, de producent stelt vast dat een tomaat met een hogere hardheid minder schade tijdens transport ondervindt. De tomaten met zoutstress zijn steviger dan deze met droogtestress. Deze resulteren in een kracht die een factor 1,1 hoger liggen, tijdens het doorboren via de Instron Texture Analyser.

Tabel 3.8. De gemiddelde hardheidwaarden met de bijhorende standaardafwijking per behandeling uitgedrukt in Newton. Waarden met eenzelfde letterindex zijn niet significant verschillend ($P < 0,05$).

Behandeling	Hardheid (N)
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	4,9±1 ^{ab}
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 80% H ₂ O	4,5±1,2 ^b
EC 2,7 mS cm ⁻¹ 60% H ₂ O	4,8±0,9 ^{ab}
EC 4 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	5±1,3 ^c
EC 6 mS cm ⁻¹ 100% H ₂ O	5±1,3 ^a

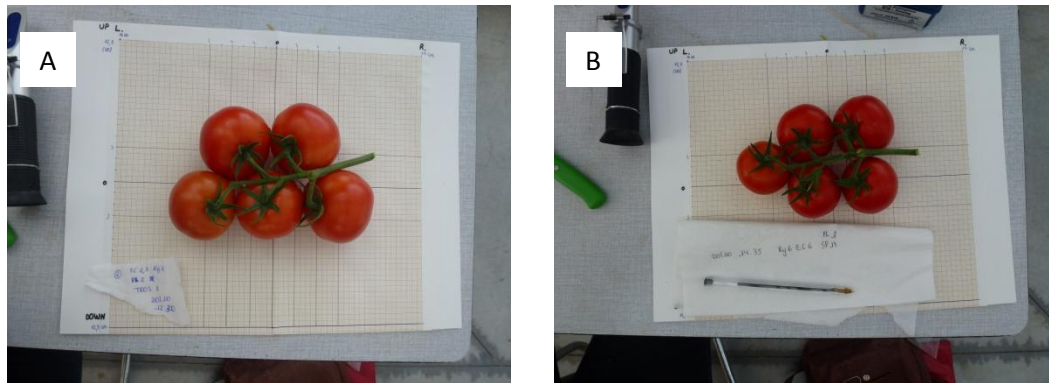
3.3.5 Resultaten gebaseerd op foto's

Van elke geoogste tomaat werd, naast de bepaling van het vers- en droge stof gewicht, ook een foto genomen. Op basis van deze foto's kan worden nagegaan of een duidelijk kleur- of grootteverschil optreedt tussen de behandelingen alsook of fysiologische afwijkingen frequenter optreden bij een bepaalde behandeling. Het feit dat, zoals eerder reeds vermeld, tomaten die onderhevig waren aan hogere droogte- en zoutstress, lagere waarden voor het versgewicht en de vruchtdiameter hebben, wordt ook bevestigd tijdens het bekijken van de foto's per behandeling. Figuur 3.8 geeft hiervan een illustratie.



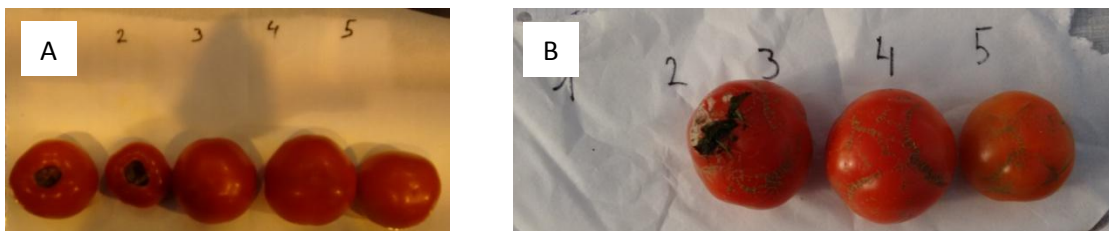
Figuur 3.8. Vergelijking van de groottes van de tomatenvruchten tussen de behandelingen, gebaseerd op foto's waar steeds de derde vrucht van de tros wordt afgebeeld. Deze foto's zijn genomen op 17 november 2014. Bovendien werd elk van deze tomaten als oogstrijp beschouwd en hadden ze een gelijkaardige DAA. De figuren A, B, C, D en E komen respectievelijk overeen met rij 2, 3, 4, 5 en 6.

Wat het kleurverschil betreft is het moeilijk op basis van de foto's een correct beeld te scheppen. Zoals uit Figuur 3.8 af te leiden valt, weegt het effect van de assimilatiebelichting op de kleur van de foto's wat een vertekend beeld geeft. Het is dus niet mogelijk een globale vergelijking op basis van de genomen foto's te maken wat de kleurverschillen betreft. Echter, er werd visueel vastgesteld dat een meer dieprode kleuring voorkwam bij de vruchten afkomstig van de behandelingen met de hoge ECs. Figuur 3.9 probeert hiervan een notie te geven via de weergave van een geogoste tros uit rij 2 en rij 6. Deze trossen werden op 20 oktober geogost en gefotografeerd over de middag wanneer de belichting niet nodig was.



Figuur 3.9. Een vergelijking in kleur op basis van foto's weergegeven voor behandeling 2 (A) en 6 (B). De foto's zijn genomen op 20 oktober 2014.

Neusrot is eigen aan behandelingen met een verhoogde EC, vruchtscheuren bij planten met droogtestress. Op basis hiervan werd verwacht dat neusrot meer zou voorkomen in rijen 5 en 6, en dat vruchtscheuren zich frequenter zouden voordoen in rijen 3 en 4. Echter, algemeen kan gesteld worden dat fysiologische verstoringen doorheen het experiment niet vaak voorkwamen. In Figuur 3.10 wordt de enige keer dat neusrot werd vastgesteld afgebeeld alsook een illustratie van de vruchtscheurtjes.



Figuur 3.10. Een illustratie van (A) neusrot (kwam voor in rij 4 op tros 5 van sensorplant 9, geogost op 1 december 2014) en (B) vruchtscheuren (kwam voor in rij 3 op tros 4 van sensorplant 4, geogost op 10 november 2014).

4. Discussie

4.1 Waterstatus van de plant

4.1.1 Sapstroom

Op basis van de sapstroommetingen in de stengel werd informatie verzameld over de waterstatus van de tomatenplant in functie van de verschillende behandelingen. Uit de data (niet weergegeven) is op te merken dat de sapstroom rond de middag piekt en erna daalt. Deze stijging in de sapstroom is te wijten aan transpiratie, wat de drijvende kracht is voor watertransport binnenin de plant. Aangezien de sapstroom beïnvloed wordt door de atmosferische watervraag alsook door de beschikbaarheid van water in het substraat, kunnen hoge sapstromen tijdens de middag te wijten zijn aan een hoge watervraag van de atmosfeer (een hoge VPD). Dit wordt bevestigd in de metingen : op DOY 260 werd kort na de middag de hoogste temperatuur (29,5°C) gemeten. Op dat zelfde moment bedroeg de VPD 1,77 kPa wat eveneens de hoogst opgemeten waarde is doorheen de proefopzet.

De planten tonen onder toenemende droogte- en zoutstress een verlaagde, gemiddelde dagelijkse sapstroom (Tabel 3.1). Er is een daling in de sapstroom ten opzichte van de controle merkbaar dewelke voor de droogtebehandelingen vooral duidelijk wordt vanaf 60% watergift. Deze daling is ook aanwezig bij de behandelingen onderhevig aan zoutstress ten opzichte van de controle, al zijn de resultaten voor de EC van 4 en 6 mS cm⁻¹ gelijkaardig. Een verklaring voor deze gelijke sapstroom bij een verschillende zoutstress is niet direct te geven. Verder onderzoek is hierbij aangewezen.

De verschillen in sapstroom tussen de controle en de 80% watergift zijn beperkt. Aangezien er geen significant verschil is tussen de controle en 80% kan er besloten worden dat er eerder geen effect geïnduceerd wordt door deze 20% minder watergift.

De metingen bevestigen (al dan niet duidelijk) dat de geïnduceerde droogte- of zoutstress, leidt tot een verminderde wateraanvoer ten opzichte van de controle en dat de behandelingen daarom als effectief beschouwd kunnen worden. De behandelingen beïnvloeden de waterstatus en lokken mogelijk specifieke plantresponsen uit, die een invloed kunnen hebben op kwaliteit maar ook op opbrengst. De gewijzigde waterstatus resulteert in een groeireductie. Deze limiteert de productiviteit van de plant, aangezien een stijgende saliniteit samen gaat met significante reducties in wortelgewicht, planthoogte, aantal bladeren per plant, wortellengte en worteloppervlakte per plant bij tomaat (Parida & Das, 2005). Zoutstress resulteert hierdoor in een daling van de vers en droog gewichten van de bladeren, stengels en wortels. De daling in het aanwezige bladoppervlakte zorgt voor een lagere lichtinterceptie. Bovendien zorgt een hoge saliniteit bij tomaat tot een reductie in de stomatale dichtheid, en in de hoeveelheid chlorofyl en caroteen in de bladeren (Parida & Das, 2005).

4.1.2 Stengeldiametervariatie

Zoutstress zorgt voor een tragere groei van de planten. Dit is de directe respons op de reductie in expansiesnelheid van het bladoppervlak. Het effect van droogte- en zoutstress op de variatie van de stengeldiameter (Tabel 3.2) bevestigt dit: de hoogste zoutstress resulteert in een lage totale groei. Echter, ook het effect van droogte kent een grote invloed op de stengeldiametervariatie. Zoals in de literatuurstudie reeds werd aangegeven heeft droogtestress in het algemeen een diepgaander en directer effect op de groei (Pearce *et al.*, 1993b). Een lagere waterbeschikbaarheid leidt tot een tragere groei ten opzichte van de controle. De afname in diameter doorheen de ochtend wordt normaliter meer dan gecompenseerd door de toename 's avonds, waardoor er toename van de diameter (i.e. groei) plaatsvindt. Echter bij een tekort aan water gaat dit niet volledig op, de compensatie is lager. Hierdoor is de toename van de diameter beperkter dan bij de controlegroep.

Opnieuw valt op dat de controlegroep een lagere totale groei vertoont dan de behandeling bij 80% watergift. De drie grootste invloeden op de stengeldiametervariatie zijn de leeftijd van de plant, de waterstatus en de vruchtlading. Als de plant ouder wordt, worden de cellen minder rekbaar, ze verhouten, wat gerelateerd is aan het stoppen van de celgroei. Bovendien daalt de stengelgroei door de competitie van assimilaten met de vruchten. De import van de assimilaten in de vruchten is hoog, waardoor er minder naar het stengelweefsel kan, waardoor de osmotische potentiaal stijgt. Aangezien cel osmotische druk de maximale turgordruk bepaalt die een cel kan genereren, is de stengelgroei beperkt tijdens de fase van snelle vruchtvolume toename (De Swaef & Steppe, 2010). Aangezien de controle grotere vruchten had dan de 80% watergift, die overigens licht hogere waarden aan suikers bezitten, kan verondersteld worden dat de controle sneller naar de generatieve fase is overgegaan. Het opvangen van de randeffecten in het begin van de proefopzet ligt hiervoor aan de basis. Door deze betere lichtinterceptie vond er een snellere overgang van het vegetatieve naar het generatieve stadium plaats, wat mogelijk de kleinere stengeldiameter kan verklaren.

4.1.3 Maximale dagelijkse krimp

Zoals verwacht zorgen droogte- en zoutstress voor een verstoord evenwicht binnen in de waterreserves van de plant. De opnames uit de reserves zijn groter naarmate de droogte- en zoutstress toenemen, wat dagelijks voor een grotere variatie binnen in de stengeldiameter zorgt, aangezien het vullen van de reserves op het einde van de dag (eventueel ook overdag maar in beperktere mate) niet lukt. Het effect van de maximale dagelijkse krimp bevestigt dit (Figuur 3.2). Voor de behandelingen waarin een hogere droogte- en zoutstress werden opgelegd, is er een grotere stijging in de gemiddelde dagelijkse krimp waar te nemen.

4.1.4 Waterpotentiaal

Uit Figuur 3.3 wordt afgeleid dat het effect van zoutstress op de waterpotentiaal groter is ten opzichte van de controle en droogte. Het effect van de droogtebehandelingen blijft zelfs volledig uit. De waterpotentiaal is afhankelijk van externe factoren, waaronder VPD. De metingen van de middagpotentialen gaan samen met de hoogste opgemeten VPD van die dag. Hoe hoger de VPD, hoe sterker de zuigkracht van de atmosfeer. Dit wordt bij planten onderhevig aan zoutstress versterkt, aangezien de waterpotentiaal (en de osmotische potentiaal) van de planten negatiever wordt (Parida & Das, 2005).

4.1.5 Algemeen

Algemeen kan gesteld worden dat het effect van droogte- en zoutstress kenmerkend is voor het gedrag van de plant. Het effect op stengeldiameter en sapstroom is het grootst bij een 60% watergift, gevolgd door de behandeling van de EC van 6 mS cm^{-1} . De effecten van de zoutstress kennen daarnaast de grootste invloed bij MDS alsook bij de waterpotentiaal. Er kan hieruit worden besloten dat het effect van deze hogere zoutstress globaal gezien meer doorweegt.

Door de hogere EC zijn er meer voedingselementen aanwezig in het water, dewelke mee worden opgenomen met het water. Aangezien transpiratie de drijvende kracht is achter het watertransport in de plant, stroomt er meer water doorheen de plant naarmate de transpiratie stijgt, waardoor er meer voedingsstoffen in de plant terecht komen. Al moet er opgemerkt worden dat onder hoge ECs de water/nutriënt absorptie door de wortels (zoals ook bij een beperkte watergift) lager is (Ho, 1996). Hoe meer voedingsstoffen aanwezig in de plant, hoe meer nutriënten er beschikbaar zijn voor de vrucht. Bovendien is een goed watertransport belangrijk voor het openhouden van de stomata, die onder andere CO_2 opnemen, wat cruciaal is voor de productie van meer assimilaten, waardoor er opnieuw (meer) beschikbaar zijn voor de vrucht, zoals hieronder nog besproken wordt. Een goede afstemming van zowel de matvochtigheid, de EC en de relatieve vochtigheid zijn essentieel voor een goede plantopbouw en vruchtkwaliteit.

4.2 Kwaliteit van de vrucht

4.2.1 Vruchtdiametervariatie

De verschillen in de groei en de uiteindelijke grootte van de vrucht tussen de verschillende behandelingen (Figuur 3.4) tonen aan dat de planten die onderhevig waren aan een hogere zoutstress een kleinere diameter hebben ten opzichte van die bij controle en deze bij droogtestress (Figuur 3.5). Tabel 3.3 lijst deze verschillen in diameters op alsook de periode die de productie vergt. Hierin zijn er geen grote verschillen waar te nemen de volledige ontwikkeling en rijping van de tomatenvruchten werd dan ook gerealiseerd gedurende een gelijkaardige tijdsperiode.

Dit komt overeen met wat er in de literatuur (Ho, 1996) wordt gevonden en kan bovendien gelinkt worden aan de stengeldiameter, die eveneens lager is bij zoutstress ten opzichte van de controle. Uit het onderzoek van De Swaef en Steppe (2010) bleek dat bij tomatenplanten (die getopt werden na de 4^e tros) in het begin van de plantontwikkeling de sinksterkte van de stengel groter is dan die van de vrucht tot DAA 22. Vervolgens (DAA 23-40) domineert de sinksterkte van de vrucht het watertransport in de richting van de vruchten. Vanaf DAA 40 neemt de sterkte van de vruchtsink af, waarop in de finale fase (DAA 50-65) de stengelgroei vertraagd aangezien hij zijn maximum heeft bereikt. Dit laatste zorgt ervoor dat de import van assimilaten in de vrucht gradueel daalt als een gevolg van het beperkt actief suiker transport en de passieve floëem stroom als de vruchten rijpen. Daardoor kan een relatief hogere concentratie van assimilaten accumuleren in het stengelweefsel wat bovendien zorgt voor een daling in de osmotische waterpotentiala. Er is echter een belangrijke nuance te maken tussen dit en ons experiment. Normaal gezien is er bij tomaat een constante vruchtlading, waardoor er zich een constante competitie tussen de stengel- en vruchtgroei voordoet, wat bovenstaand effect tempert. Bij ons experiment vond het toppen van de planten pas plaatst na de zetting van de 11^e tros.

Daarnaast wordt er in het artikel van Plaut *et al.* (2004) aangehaald dat de snelheid van het watertransport naar de tomaten verlaagd is onder saliniteit, wat resulteert in kleiner vruchten. Dit wordt eveneens bevestigd door Ehret en Ho (1986). Bovendien wordt aangetoond door Plaut *et al.* (2004) dat de accumulatiesnelheid van drogestof en organisch materiaal door de vrucht verhoogt onder saliniteit, wat toe te schrijven is aan de stijging van de concentratie van het floëemsap aangezien deze veel groter is dan de daling van het watertransport.

Dat het globale effect van droogte iets minder sterk uitgesproken is, kan gekoppeld worden aan de specifieke effecten op de waterstatus. Uit het plantgedrag (sectie 4.1) werd vastgesteld dat het effect van zoutstress globaal iets meer doorweegt, al zijn de stengelgroei en sapstroom het laagst bij de 60% watergift.

4.2.2 Suikers en zuren

De relaties omtrent de suikers en zuren in functie van de behandelingen worden afgeleid uit Tabel 3.4, 3.5 en 3.6 en Figuur 3.6 en 3.7. Zoals aangehaald in de literatuur (Petersen *et al.*, 1998) zijn de gehalten aan sucrose verwaarloosbaar klein, daar waar de concentraties aan fructose steeds hoger liggen dan deze aan glucose in een rijpe tomaat, wat in dit onderzoek wordt bevestigd. Een andere trend die aangetoond wordt is dat de suikers toenemen naarmate de EC stijgt. Dit patroon is minder sterk aanwezig voor wat de behandelingen onderhevig aan droogtestress betreft. Deze trends worden wat vertekend door de randeffecten die inspeelden op de controlerij. Dit leidde tot een hogere instraling waardoor de fotosynthese en de hoeveelheid aangemaakte assimilaten hoger kunnen liggen dan in de andere rijen. Dit resulteert onder andere in hogere gehalten aan suikers in de controlerij ten opzichte van de 80% watergift, al zijn deze verschillen niet significant. Er kan verondersteld worden (zoals reeds vastgesteld werd bij de sapstroom) dat de 80% irrigatiegift nog steeds voldoende was om geen droogtestress te veroorzaken.

Voor het organische zuren malaat en citraat neemt de concentratie schijnbaar af bij een stijgende droogtestress. Het dalende patroon in de malaat concentratie is te wijten aan de omzetting van malaat in andere stoffen waaronder citraat zoals aangetoond in Figuur 1.4 uit sectie 1.5.3.2. Daarnaast zorgt het effect van zoutstress op het malaatmetabolisme voor een reductie in de omzetting van oxaloacetaat tot malaat in de chloroplasten van hogere planten (Parida & Das, 2005). Zoals door Petersen *et al.* (1998) wordt aangegeven, verbetert de kwaliteit in termen van de smaak met toenemende saliniteit. De concentraties aan drogestofgehalten en suikers nemen toe met saliniteit wanneer ze berekend worden op basis van het versgewicht. Per vrucht werden geen verschillen in glucose, fructose en sucrose gevonden, daar waar het gehalte van het drogestofgehalte afneemt met een stijgende saliniteit. Als we de gemiddelde concentraties per vrucht berekenen voor de behandeling bij de EC van 6 mS cm^{-1} en de controle leveren deze respectievelijk voor sucrose, glucose en fructose volgende waarden op voor de EC 6 (uitgedrukt in g/vrucht): $0,006 \pm 0,002$, $0,54 \pm 0,2$ en $0,53 \pm 0,2$ en voor de controle bedragen deze $0,003 \pm 3$, $0,38 \pm 0,2$ en $0,36 \pm 0,2$. Wat verschilt met de literatuur aangezien er wel een stijgende trend te zien is per vrucht bij een stijgende saliniteit. De literatuur van Peterson *et al.* wordt wel bevestigd met betrekking tot de drogestofgehalten (Tabel 3.5) waar een dalend verloop merkbaar is met toenemende saliniteit.

Daarnaast variëren de gehalten aan vers- en drogestofgewicht tussen de behandelingen. Vooral de grote verschillen tussen de gemiddelde versgewichten vallen op. Maar, een hoger versgewicht resulteert niet in een hoog gehalte aan drogestof. Al bevestigt de verhouding tussen de gemiddelde drogestof- en versgewichten de literatuur (Davies & Hobson, 1981), waarin gesteld wordt dat tomaten onderhevig aan zout- of droogtestress een hoger gehalte aan drogestof bezitten. Echter, de relatie zoals aangegeven door Davies & Hobson (1981) dat $\frac{1}{2} * DS(g) = glucose(g) + fructose(g)$ gaat hier niet op (Tabel 3.6). De waarden tonen een lager verband aan ten opzichte van de vooropgestelde 0,5, al is er wel sprake van een stijgende trend naarmate de stress toeneemt. De reden waarom dit niet overeenkomt is, naast biologische variatie en het verschil in cultivar, ook te wijten aan het moment waarop de proef plaatsvond. Het experiment vond plaats in het najaar, wat niet het meest uigelezen tijdstip van het jaar is voor de productie van tomaten. Door de lage lichtintensiteit tijdens het najaar, ligt de fotosynthese lager, waardoor er minder suikers geproduceerd kunnen worden.

4.2.3 °Brix en HPLC

°Brix wordt aanschouwd als een indicatie naar het totaal gehalte aan assimilaten binnenin de tomaat. De suikers zijn daarin de belangrijkste component, al mag de bijdrage van de organische zuren, fenolen, anti-oxidanten en overige assimilaten aanwezig in het tomatensap niet worden onderschat. Het patroon in de gemeten °Brix-waarden is dan ook veel zwakker dan die in Tabel 3.4 waarin de waarden bekomen na HPLC worden opgelijst. De behandelingen met de grootste zoutstress vertonen de hoogste gemiddelde °Brix-waarde, terwijl de droogtestress een tegengesteld (dalend) patroon vertoont. Dit bevestigt het effect van de overige assimilaten op de °Brix-waarde, wat aantoont dat het gebruik van een refractometer slechts een indicatie geeft en geen exacte aanduiding omtrent het suikergehalte.

Aangezien de °Brix-waarde een integratie geeft van de opgeloste stoffen, kunnen de waarden vergeleken worden met de verhouding tussen de drogestof en het versgewicht. Hieruit blijkt dat de behandelingen onderhevig aan zoutstress een gelijkaardige trend bezitten. Het drogestofgehalte is duidelijk hoger in de vruchten bij een hogere EC.

Bij de vruchten die geproduceerd worden onder droogtestress, sluiten de stomata zich eerder ten opzichte van de controle, waardoor de sapstroom en de CO₂ opname afnemen. Hierdoor is er een lagere hoeveelheid aan fotosynthese producten beschikbaar, waardoor er minder kunnen opgenomen en getransporteerd worden. Echter, volgens de parameters van droogtestress zou de zoutbehandeling tot meer droogtestress leiden dan de behandelingen bij droogte. Desalniettemin werd hier een hogere suikerconcentratie opgemeten. Dit is echter te wijten aan het feit dat de vruchten van de zoutbehandelingen kleiner zijn, waardoor ze wel hogere concentratie aan suikers bezitten maar in totaal niet meer suikers bezitten per vrucht. Deze vaststelling wordt ook gemaakt in de literatuur door Petersen *et al.* (1998) en Adams & Ho (1989).

4.2.4 Hardheid

De stevigheid van tomaten is een belangrijk aspect voor de producent aangezien deze een belangrijke invloed heeft op eventuele schade tijdens transport. Daarnaast vraagt ook de consument een voldoende stevige tomaat. Telers hebben er dus zeker baat bij dat een tomaat een hogere stevigheid bezit. Tabel 3.8 toont aan dat de tomaten geteeld onder zoutstress gemiddeld een hogere druk kunnen weerstaan dan tomaten geteeld onder droogtestress. Zoals in het artikel van Petersen *et al.* (1998) wordt bevestigd op basis van het derde experiment uitgevoerd gelijklopend aan onze proefperiode: van juni-november neemt de stevigheid van de vruchten toe met toenemende saliniteit indien de metingen uitgevoerd worden op een intacte vruchthuid. De vruchtstevigheid was er bovendien onafhankelijk van de bron van saliniteit (verschillende samenstellingen van de voedingsoplossingen werden gebruikt). Daarnaast was er ook een verschil tussen cultivars met betrekking tot de hardheid.

In het recente onderzoek van Li *et al.* (2015) wordt aangetoond dat de stevigheid en de afschuifsterkte van de vruchtweefsels en de vruchtcellen respectievelijk varieert tussen 0.37 en 2.25 MPa en 0.04 en 11.58 MPa, en dat de bijdrage van de exocarp aan de hardheid van de volledige vrucht gradueel toeneemt tijdens de vruchtrijping. Aangezien het gaat over de exocarp alleen is er

geen direct verband te leggen met de bekomen waarden omtrent de hardheid en de diameters opgemeten in deze thesis, al biedt dit wel perspectief naar verder onderzoek. Bovendien raden we op basis van onze data (Tabel 3.8) aan om in verder onderzoek hardheid ook in rekening te brengen, aangezien saliniteit hardheid beïnvloedt. In de studie van Li *et al.* (2015) werd er alleen gekeken naar het verloop van de hardheid doorheen de vruchtrijping en het effect van de geometrische eigenschappen van de vrucht bij een voldoende watergift.

Daarnaast speelt ook de rijpheid van de tomaat een grote rol in het bepalen van de hardheid (Li *et al.*, 2015). Aangezien tomaten climacterische vruchten zijn, wordt de vruchtrijping ingezet door de endogene toename van ethyleen. Hierdoor verandert de kleur naar donker rood en worden de celwanden gedegrademd door verschillende enzymen (o.a. polygalacturonase) wat resulteert in een sappige, zachte vrucht. De reden voor extra stevigheid is wellicht te zoeken in de veredeling, waarbij geselecteerd wordt op stevige vruchten, die deze enzymen in mindere mate produceren. Bovendien kan de teler zelf inspelen op het zacht worden van de vruchten, door ze vroegtijdig te oogsten, wat wel een negatief effect heeft op de smaak, aangezien de assimilaten toevoer wordt afgebroken. Daarnaast kan de extra stevigheid van de vruchten die blootgesteld werden aan de hogere EC misschien gerelateerd worden aan hogere assimilatenpercentages wat leidt tot stevigere celwanden, meer vezels en meer cellulose, al zal verder onderzoek dat moeten uitwijzen.

4.2.5 Algemeen

Algemeen kan gesteld worden dat de tomatenplanten die geteeld worden onder hogere zoutstress kleinere vruchten voortbrengen, wat in lijn ligt met hun lager versgewicht. Echter, de hogere verhouding tussen drogestof- en versgewicht toont aan dat deze kleinere tomaten procentueel meer assimilaten bezitten, waaronder voornamelijk suikers en organische zuren. Aangezien de zoet-zuurverhouding bepalend is voor de smaakperceptie worden tomaten die geteeld worden onder hogere zoutstress verondersteld beter te zijn naar smaak en kwaliteit. Dat kwaliteit breder is dan louter de smaak (en dus de gehalten en verhoudingen aan assimilaten) vertaalt zich onder andere in het belang van een vrucht die tegen een stootje kan. Dat tomaten geteeld onder een hogere EC ook een hogere hardheid hebben, is dus mooi meegenomen. Echter, het verhogen van de EC kent ook zijn nadelen. Zo kan een te hoge EC leiden tot het afsterven van de wortels (Parida & Das, 2005), zeker als accumulatie van de voedingselementen in de mat optreedt. Bovendien stijgt de kans op neusrot naarmate de EC toeneemt. Het afwegen van de voor- en nadelen bij een verhoogde EC is dan ook aangewezen.

Daarnaast is het belangrijk dat de teler een meerprijs kan krijgen voor de productie van smaakvollere, maar kleinere tomaten. Door de lagere versgewichten van de tomaten, geteeld onder droogte- en zoutstress, wordt immers een lagere opbrengst per plant gerealiseerd. Indien de consument bereid is meer te betalen voor een hogere kwaliteit, zal dit op korte termijn voor veranderingen kunnen zorgen, zowel op ons bord als in de kas. Bovendien kan een betere smaak en vooral een constantere kwaliteit leiden tot een verhoogde consumptie van tomaat, waardoor de vraag zal toenemen, wat leidt tot een betere afzetmarkt. Een berekening kan hierover enige duiding brengen:

Voorbeeldberekening

De prijs voor één kilogram tomaten op de veiling verschilt doorheen het jaar. In het voorjaar halen de tomaten de hoogste prijzen tot 2€/kg, in de zomermaanden daalt deze tot beneden de 1€/kg. Indien de gemiddelde jaarprijs boven de 0,75€/kg blijft, is het voor de telers een goed jaar. Nadert deze prijs de 0,50€/kg dan wordt het moeilijk voor de telers om uit de kosten te raken. De teelt van tomaten kent een gemiddelde opbrengst van 40-45 kg/m² (Plattelandswijzer, 2005).

Gebaseerd op deze gegevens gekoppeld aan de data verzameld doorheen deze thesis kan de meerprijs, die de teler moet vragen bij de teelt van de kleinere tomaten, berekend worden.

Uit de data blijkt dat het gemiddelde gewicht voor een tros tomaten geteeld bij een EC van 6 mS cm⁻¹ 317,05 g bedraagt, terwijl dit voor een tros geteeld onder de controle (rij2) 444,28 g is. Aangezien een plant over een jaar gemiddeld 34 trossen per teelt produceert, is dat goed voor 10,78 kg/plant (rij6) ten opzichte van 15,11 kg/plant (rij2). Nemen we aan dat er 3 planten per m² staan dan bekommen we een opbrengst van 32,34kg/m² (rij6) ten opzichte van 45,32 kg/m² (rij2) (wat overeenkomt met de gegevens uit de Plattelandswijzer).

Het verschil tussen rij 2 (of de gangbare productie (beide rond 45 kg/m²)) en rij 6 is 12,98 kg/m². Stel dat de prijs voor een teler (dewelke verschillend is van de prijs in de winkel) 0,75€/kg bedraagt, dan is dat een verlies van 9,74€/m² (of dus 97350€/ha). Of dit op te halen is, is dus nog maar de vraag. Anderzijds is het wel zo dat de prijs van kerstomaten in de winkel beduidend hoger ligt dan deze van tomaten. Zo variëren de prijzen gaande van de goedkoopste van het winkelhuismerk tot de duurste honingkerstomaatjes op de markt respectievelijk van ±3€/kg tot ±25/kg. Dit prijsverschil toont dat een meerwaarde in kwaliteit door de consument wel degelijk geapprecieerd wordt.

Tot slot wordt nog even deze nuance aangehaald. Uit de resultaten blijkt dat het effect van droogtestress minder uitgesproken is als dat van zoutstress. Echter, het is belangrijk aan te halen dat de resultaten bij 60% watergift (hoogste droogtestress) steeds in de buurt liggen van deze bij een EC van 4mS cm⁻¹ (matige zoutstress). Zo zijn voor deze behandelingen de gemeten diameters en gehalten aan drogestof zeer vergelijkbaar en liggen de drogestof gehalten dicht bij elkaar, wat bevestigd wordt door quasi gelijkaardige resultaten in Tabel 3.4. Enkel voor hardheid is er een duidelijk verschil waarneembaar tussen rij 4 en 5, wat het standpunt naar een hogere EC de voorkeur geeft aangezien het betere verwachtingen geeft naar transport toe. Naar de toekomst toe is het misschien interessant om vanuit dit perspectief een kijkje te nemen naar welke combinatie tussen een verhoogde EC en droogtestress kwaliteit en productie nog beter op elkaar afstemt. Overigens kan een goede afstemming van de watergift economisch interessant zijn voor de telers. Aangezien de resultaten bekomen onder 80% watergift gelijkaardig zijn aan deze bij 100%, kan er op die manier 20% water en voedingsoplossing bespaard worden. Wat de kosten voor de teler doet dalen.

5. Conclusie

Het doel van deze thesis was het effect van opgelegde droogte- en zoutstress op de productie en kwaliteit van de tomaat uit te klaren. Eerst zijn er verbanden gezocht tussen het microklimaat en het plantgedrag om vervolgens dieper in te gaan op de relatie tussen de behandelingen en de kwaliteit van de vrucht. De vijf behandelingen beïnvloeden het plantgedrag in die mate dat er (duidelijke) verschillen te zien zijn in sapstroom, stengeldiametervariatie, MDS alsook in waterpotentiaal. De waarden van deze parameters varieert het meest onder hogere EC's, waaruit kan opgemaakt worden dat het effect van zoutstress meer doorweegt in het plantgedrag ten opzichte van de controle, in vergelijking met de droogtestress. Aangezien zoutstress over het algemeen meer effect heeft dan de opgelegde droogte, kan het zijn dat er tijdens het experiment nog teveel water werd gegeven om het effect van de droogtestress echt merkbaar te laten worden.

Het sturen van het plantgedrag via de watergift en de elektrische geleidbaarheid van de voedingsoplossing wordt best afgestemd op de omgevingsvariabelen waaronder de relatieve vochtigheid, de temperatuur en de fotosynthetisch actieve straling, aangezien het plantgedrag de vruchtproductie en de vruchtkwaliteit sterk kan beïnvloeden. De tomaten die geteeld worden onder hogere zoutstress brengen kleinere, donkerrode vruchten voort die rijker zijn aan suikers en zuren ten opzichte van de controle- en de droogtestress behandelingen. De smaak wordt als beter verondersteld wanneer de vrucht meer suikers bevat. Echter, kwaliteit is meer dan smaak alleen. Zo zijn stevigheid, kleur en geur van een vrucht belangrijke aspecten, die doorslaggevend zijn bij de aankoop. Maar het kleiner zijn van de vruchten zorgt voor een beduidend lagere opbrengst per plant per teelt. Dit brengt een verlies met zich mee, wat zich vertaalt in de nood aan een realistische meerprijs en de vraag of de consument bereid is deze te betalen. In dit verhaal moet er duidelijk een afweging gemaakt worden tussen het verlies aan kilo's en het gewin aan smaak.

Naast de voor de teler economisch ongunstige gevolgen van fysiologische afwijkingen ten gevolge van hogere zout- of droogtestress, neemt ook het belang naar onderzoek over de impact van de klimaatwijziging en globalisatie op het vlak van voedselveiligheid van verse groenten en fruit en afgeleide producten toe. Het project Veg-i-Trade kadert in het onderzoek van de Europese Commissie hierover. Het onderzoek belicht voornamelijk de economische structuur van de verse groenten- en fruitketen alsook de ontwikkeling van beheersmaatregelen voor het minimaliseren van microbiologische (Salmonella, E.coli, Norovirus) en chemische (mycotoxines, pesticidenresiduen) contaminaties en risico's. Dit met als doel lokale en globale trainingsprogramma's op te stellen om de veiligheid van verse producten naar een hoger niveau te brengen. Belangrijk hierbij is op te merken dat door de samenwerking met 22 landen de globale variabiliteit omtrent de implementatie van goede landbouwpraktijken en management systemen volledig in rekening gebracht worden.

Tot slot een kleine bedenking omtrent de houdbaarheid inzake de veeleisendheid naar kwaliteit toe. In een maatschappij, die gedreven wordt door consumptie, staat het ganse gebeuren omtrent kwaliteit niet stil. Van zaad tot vrucht wordt de productie, met het oog voornamelijk gericht op kwaliteit, sterk beïnvloed. De veredelaar omhult 'al het beste' in een zaadhuid, waarna de teler gesteund op kwaliteitscriteria en –verwachtingen het beste product aan de man probeert te brengen. In tijden waarin de bewustwording en veeleisendheid van de consument en de processor groeiende is, is onderzoek waarin op zoek gegaan wordt naar teelttechnische methoden voor een duurzame en economische haalbare manier van telen zeker nodig. Al is het ook goed om eens stil te staan bij de prangende vraag naar steeds meer en beter, en de comptabiliteit van deze twee.

6. Literatuurlijst

(sd). Laatst geraadpleegd op maart 18, 2015, van Sensors Online:

<http://www.sensorsmag.com/position-presence-proximity/understanding-linear-position-sensing-technologies-10139>

(2005). Laatst geraadpleegd op 15 mei 2015, van Plattelandswijzer:

<http://plattelandswijzer.nettools.be/default.aspx?Pageld=135>

(2015). Laatst geraadpleegd op 11 maart 2015, van GLOBALGAP:

http://www.globalgap.org/uk_en/who-we-are/

(2015). Laatst geraadpleegd op 24 februari 2015, van Voedingswaardetabel:

<http://www.voedingswaardetabel.nl/voedingswaarde/voedingsmiddel/?id=82>

Adams, P., & Ho, L. (1989). Effects of constant and fluctuating salinity on the yields, quality and calcium status of tomatoes. *J. Hortic. Sci.* , 725-732.

Adams, P., & Ho, L. (1992). The susceptibility of modern tomato cultivars to blossom-rot end in relation to salinity. *J. Hortic. Sci.* , 827-839.

Balibrea, M., Santa Cruz, A., Bolarin, M., & Pérez-Alfocea, F. (1996). Sucrolytic activities in relation to sink strength and carbohydrate composition in tomato fruit growing under salinity. *Plant Science* 188 , 47-55.

Bolck, C., Keijsers, E., & Pereira da Silva, F. (2013). Retrieved 2015 йил 1-mei from wageningenur:

<http://www.wageningenur.nl/nl/show/Tomaat-verpakt-in-eigen-blad.htm>

Bruhn, C., Feldman, N., Garlitz, J., Ivans, E., Marshall, M., Riley, A., *et al.* (1991). Consumer perception of quality: apricots, cantaloupes, peaches, pears, strawberries, and tomatoes. *J Food Qual* 14 , 187-95.

Bumgarner, N. R., & Kleinhenz, M. D. (2012). Using °Brix as an Indicator of Vegetable Quality . *The Ohio State University Extension* , 12.

Buttery, R., Teranishi, R., & Ling, L. (1987). Fresh tomato aroma volatiles : a quantitative study. *J. Agric. Food Chem.* , 540-544.

Caretto, S., Parente, A., Serio, F., & Santamaria, P. (2008). Influence of potassium and genotype on vitamin E content and reducing sugar of tomato fruits. *HortScience* 43(7) , 2048-2051.

Censkowsky, U., & Berger, J. (September 2010). *Generación de Capacidad Comercial hacia EFTA: Inteligencia de Mercado para Colombia – Sector de Frutas y Verduras Orgánicas*. Inteligencia de Mercado para Colombia – EFTA 2010, Osec Zurich, Business Network Switzerland, Proexport Bogotá, Colombia.

ChemBuddy. (2011). Laatst geraadpleegd op 27 februari 2015, van refractometer:

<http://www.refractometer.pl/hand-held-refractometer>

- Damon, S., Hewitt, J., Nieder, M., & Bebbet, A. (1988). Sink metabolism in tomato fruit. II. Phloem unloading and sugar uptake. *Plant Physiol.* , 731-736.
- Davies, J., & Hobson, G. (1981). The constituents of tomato fruit: the influence of environment, nutrition and genotype. *CRC Critical Reviews of Food Science and Nutrition* , 205-280.
- De Kreij, C. (1992). Blossom-end rot. *Cultilène division d'Isover, St-Gobain, France* .
- De Swaef, T. (2011). Measuring, modeling and understanding sap flow and stem diameter variations in tomato. . *PhD thesis, Ghent University, Ghent, Belgium*.
- De Swaef, T., & Steppe, K. (2010). De Swaef T, Steppe K (2010) Linking stem diameter variations to sap flow, turgor and water potential in tomato. . *Functional Plant Biology* , 429-438.
- De Swaef, T., Steppe, K., & Lemeur, R. (2009). Determining reference values for stem waterpotential and maximum daily trunk shrinkage in young apple trees based on plant responses to water deficit. *Agricultural Water Management* , 541-550.
- Demmitz-King, A. (1993). Sucrose metabolism in relation to import and compartmentation of carbohydrates in developing tomato fruit (*Lycopersicon* spp.). *PhD thesis, Wye College, London University, England* .
- Dinar, M., & Stevens, M. (1981). The relationship between starch accumulation and soluble solids content of tomato fruits. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* , 415-418.
- Dorais, M., Papadopoulos, A., & Gosselin, A. (2001). Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie 21* , 367-383.
- Ehret, D., & Ho, L. (1986). The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. *J. Hortic. Sci.* , 361-367.
- FAO. (2015). *Faostat food and agriculture organization of the united nations statistics division*.
Laatst geraadpleed op 21 februari 2015, van faostat3: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>
- Farineau, J., & Laval-Martin, D. (1977). Light versus dark carbon metabolism in cherry tomato fruits. II. Relationship between malate metabolism and photosynthetic activity. *Plant Physiol.* , 877-880.
- Flandria. (2015). *Productcatalogus Tomaat*. Laatst geraadpleegd op 11 maart 2015, van lava: <http://www.lava.be/documents/pdfs/productcatalogus/tomaat.pdf>
- Grange, R., & Andrews, J. (1993a). Growth rates of glasshouse tomato fruit in relation to final size. *J. Hortic. Sci.* , 747-754.
- Groenteteelt, P. (2014). *Informatie over Sensorische Analyse*. Laatst geraadpleegd op 9 maart 2015, van Proefcentrum Groenteteelt: <http://www.pcgroenteteelt.be/nl-nl/Onderzoek/Smaak/Vruchtgewassen#1338176-tomaat>
- Guan, H., & Janes, H. (1991). Light regulation of sink metabolism in tomato fruit. I. Growth and sugar accumulation. *Plant Physiol.* , 916-921.

- Ho, J., & Hewitt, J. (1986). Fruit Development. In J. Atherton, & J. Rudich, *The Tomato Crop* (pp. 201-240). London: Chapman and Hall.
- Ho, L. (1966). *In Photoassimilate distribution in plants and crops*. New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
- Ho, L. (1992). Fruit growth and sink strength. In C. Marshall, & J. Grace, *Fruit and seed production: aspects of development, environmental physiology and ecology* (pp. 101-124). Cambridge: SEB Seminar Series 47.
- Ho, L. (1988). Metabolism and compartmentation of imported sugars in sink organs in relation to sink strength. *Annu.Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol* , 355-378.
- Ho, L. (1988b). The physiological basis for improving dry matter content and calcium status in tomato fruit. *Appl. Agric. Res.* , 275-281.
- Ho, L. (1996). Tomato. In E. Zamski, & A. Schaffer, *Photoassimilate distribution in plants and crops* (pp. 709-728). New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
- Ho, L., Grange, R., & Picken, A. (1987). An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. *Plant Cell Environ.* , 157-162.
- Ho, L., Grange, R., & Shaw, A. (1989). Source/sink regulation. In D. Baker, & J. Milburn, *Transport of Photoassimilate* (pp. 306-343). London: Longman.
- Ho, L., Sjut, V., & Hoad, G. (1983). The effect of assimilate supply on fruit growth and hormone levels in tomato plants. *Plant Growth Reg.* , 115-171.
- Hobson, G., & Davies, J. (1971). The tomato. In A. Hulme, *The biochemistry of fruits and their products, Vol. II* (pp. 437-482). New York: Academic Press, London.
- Hummelen, H. (2006). EC en plantengroei. *den HAAN, Nieuwsbrief nummer 3* , p. 1.
- Illustratie apoplastisch en symplastisch transport.* (n.d.). Laatst geraadpleegd op 23 maart 2015, van http://nl.wikipedia.org/wiki/Apoplast#/media/File:Apoplast_and_symplast_pathways_Dutch_txt.svg
- Jenkins, J. (1948). The origin of the cultivated tomato. *Economic Botany* , 379-392.
- Klann, E., Hall, B., & Bennett, A. (1996). Antisense acid invertase (TIV1) gene alters soluble sugar composition and size in transgenic tomato fruit. *Plant Physiol* .
- Klein, A., Vaissière, B., Cane, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S., Kremen, C., *et al.* (2006). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B* , 274, 303-313.
- Li, Z., Lv, K., Wang, Y., Zhao, B., & Yang, Z. (2015). Multi-scale engineering properties of tomato fruits related to harvesting, simulation and textural evaluation. *LWT - Food Science and Technology Volume 61, Issue 2* , 444-451.
- M. Gallardo, R. B. (May 2006). Use of stem diameter variations to detect plant water stress in tomato. *Irrigation Science, Volume 4* , Issue 4, pp 241-255.

- Martinez-Carrasco, L., Brugarolas, M., Martinez-Poveda, A., Ruiz, J., & Garcí'a-Martinez, S. (2011). Modelling perceived quality of tomato by structural equation analysis. *British Food Journal* , 1414-1431.
- Mitchell, J., Shennan, C., Grattan, S., & May, D. (1991). Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. *J.Amer.Soc.Hort.Sci* , 215-221.
- Parida, A., & Das, A. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety* 60 , 324-349.
- Pearce, B., Grange, R., & Hardwick, K. (1993). The growth of young tomato fruit. I. Effects of temperature and irradiance on fruit grown in controlled environments. *J. Hortic. Sci.* , 1-11.
- Pearce, B., Grange, R., & Hardwick, K. (1993b). The growth of young tomato fruit. II. Environmental influences on glasshouse crops growth in rockwool or nutrient film. *J. Hortic. Sci.* , 13-23.
- Peralta, I. E., & Spooner, D. M. (2006). History, Origin and Early Cultivation of Tomato (Solanaceae). In M. K. Razdan, & A. K. Mattoo, *Genetic Improvement of Solanaceous Crops Volume 2* (pp. 1-24). Boca Raton: CRC Press Taylor and Francis Group.
- Petersen, K., Willumsen, J., & Kaack, K. (1998). Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 73 (2) , 205-215.
- Plaut, Z., Grave, A., Yehezkel, C., & Matan, E. (2004). How do salinity and waterstress affect transport of water, assimilates and ions to tomato fruits? *Physiologia Plantarum* 122 , 429-442.
- Quick, W., & Schaffer, A. (1996). Sucrose Metabolism in Sources and Sinks. In E. Zamski, & A. Schaffer, *Photoassimilate Distribution in Plants and Crops* (pp. 115-156). New York: Marcel Dekker, Inc.
- RDP Electronics Ltd.* (sd). Laatst geraadpleegd op 9 maart 2015, van <http://www.rdpe.com/displacement/lvdt/lvdt-principles.htm>
- Sato, T., Iwatubo, T., Takahashi, M., Nakagawa, H., Ogura, N., & Mori, H. (1993). Intercellular localization of acid invertase in tomato fruit and molecular cloning of a cDNA for the enzyme . *Plant Cell Physiol* .
- Skillman, J. B., Griffin, K. L., Earll, S., & Kusama, M. (2011). *Photosynthetic Productivity: Can plants do better?* Laatst geraadpleegd op 23 maart 2015, van InTech: <http://www.intechopen.com/books/thermodynamics-systems-in-equilibrium-and-nonequilibrium/photosynthetic-productivity-can-plants-do-better->
- Solartron metrology.* (sd). Laatst geraadpleegd op 9 maart 2015, van LVDT, half bridge and digital transducer theory: <http://www.solartronmetrology.com/service-support/knowledge-base/theory.aspx>
- Steppe, K., Cochard, H., Lacointe, A., & Améglio, T. (2012). Could rapid diameter changes be facilitated by a variable hydraulic conductance? *Plant, Cell & Environment* , 150-157.

- Steppe, K., De Pauw, D. J., Lemeur, R., & Vanrolleghem, P. A. (2006). A mathematical model linking tree sap flow dynamics to daily stem diameter fluctuations and radial stem growth. *Tree Physiology* , 257-273.
- Taiz L, Z. E. (2010). Plant Physiology Online. In Z. E. Taiz L, *Plant Physiology Online* (Fifth Edition ed., Vol. chapter 3, p. 782).
- Tanaka, A., Fujita, K., & Kikushi, K. (1976). Nutriophysiological studies on the tomato plant. III. Photosynthetic rate of individual leaves in relation to the dry matter production of plant. *Soil Sci. Plant Nutrition* , 173-183.
- Tandon, K., Baldwin, E., Scott, J., & Shewfelt, R. (2003). Linking sensory descriptors to volatile and nonvolatile compounds of fresh tomato flavor. *Journal of food science - Vol. 68, Nr.7* , 2366-2371.
- Van Labeke, M. (2011). *Cursus Plantenteelt, partim Tuinbouwgewassen*. Faculteit Bioingenieurswetenschappen, Gent.
- Veit-Köhler, U., Krumbrein, A., & Kosegarten, H. (1999). Effect of different water supply on plant growth and fruit quality of *Lycopersicon esculentum*. *J. Plant Nutr. Sci.* 162 , 583-588.
- Walker, A., & Ho, J. (1977). Carbon translocation in the tomato: Carbon import and fruit growth. *Ann. Bot.* , 813-823.
- Warnock, S. (1988). A review of taxonomy and phylogeny of the genus *Lycopersicon*. *Hort. Sci.*, 23, 669-673.
- White, L. I. (2005). A Cellular Hypothesis for the Induction of Blossom-End Rot in Tomato Fruit. *Annals of Botany* 95 , 571–581.
- Wu, M., Buck, J., & Kubota, C. (2004). Effects of nutrient solution EC, plant microclimate and cultivars on fruit quality and yields of hydroponic tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). *CEAC paper #P-125929-14-04* , 1-8.
- Zamski, E., & Schaffer, A. (1966). Tomato. In L. Ho, *Photoassimilate distribution in plants and crops*. (pp. 709-728). New York, USA: Marcel Dekker: Marcel Dekker, Inc.