

1. Materiaal en experimentele omstandigheden

1.1. Plantmateriaal

Het onderzoeken van de tolerantie voor droogtestress gebeurt bij de robuuste aardappelrassen die zijn opgenomen op de referentielijst van het lopende jaar. Deze lijst is beschikbaar op de websites van de verschillende partners van de werkgroep “Robuuste Rassen”.

Elk ras wordt gekarakteriseerd (pootgoedleverancier, kweker/veredelaar, enz.), maar vooral op basis van de gebruikscategorie (GU) (Tabel 1) en de rijpingsklasse (GM) (Tabel 2), om de interpretatie van de resultaten te vergemakkelijken en vertekeningen of afwijkingen als gevolg van verschillen in gewasduur te beperken.

Vroegheid is een bijzonder belangrijke factor bij proeven rond droogtetolerantie. De respons op watertekort hangt immers sterk af van het ontwikkelingsstadium van het gewas en van de duur van de groeicyclus. Rassen die sterk verschillen in afrijpen, kunnen tijdens de ontwikkeling worden blootgesteld aan een verschillende waterbeschikbaarheid, wat de vergelijking van hun prestaties kan vertekenen.

Tabel 1. Gebruikscategorie van de aardappelrassen

GU	Gebruikscategorie
1	Vastkokend ras
2	Bloemig ras
3	Frietras
4	Chipsras

Tabel 2. Rijpingsklasse van de aardappelrassen

GM	Rijpingsklasse	Gemiddeld aantal teeltdagen (vanaf het stadium van opkomst)
1	Vroegrijp ras	< 110 dagen
2	Halfvroeg ras	110 - 140 dagen
3	Halflaat tot laat ras	> 140 dagen

Wanneer in een proef rassen van verschillende rijpingsklassen opgenomen zijn, wordt aanbevolen om vroege, halfvroege en late rassen afzonderlijk te analyseren. Droogtestress moet worden opgelegd in een vergelijkbaar fysiologisch stadium, bij voorkeur tijdens de knolinitiatie of aan het begin van de bloei. Hoewel bloei een praktisch referentiepunt vormt, valt deze niet altijd samen met de knolinitiatie en kan dit verschillen tussen rassen.

Bij meer gedetailleerd onderzoek kan de duur van de groeicyclus worden bepaald aan de hand van regelmatige waarnemingen van de gewasontwikkeling of door opeenvolgende oogsten op verschillende tijdstippen tijdens de teelt. Deze observaties maken het dan mogelijk om de vroegheid van de rassen heel nauwkeurig te karakteriseren en verschillen onder droogtestress beter te interpreteren.

De uniformiteit van het plantmateriaal is essentieel voor de kwaliteit van de proef. De gebruikte pootaardappelen moeten zo homogeen mogelijk zijn qua grootte, fysiologische toestand en groeikracht. Het aantal dagen tussen planten en opkomst kan worden geregistreerd om eventuele verschillen in kiemrust of fysiologische toestand van de knollen mee te nemen in de statistische analyse.

Referentierassen waarvan de reactie op droogtestress in de literatuur goed beschreven is en die contrasterende reacties vertonen op watertekort, kunnen als referentie in de proef worden opgenomen (Cabello et al., 2020). Zo werd het robuuste ras Tentation geïdentificeerd als een van de meest droogtetolerante rassen onder gecontroleerde serreomstandigheden (Chairi et al., 2025). Ook de plaaggevoelige rassen Bintje en Agria, die veelvuldig worden gebruikt in agronomische proeven en veredelingsprogramma's, vormen relevante referenties. Daarnaast kan Acoustic, een modern ras waarvan de respons op watertekort werd geëvalueerd (Chairi et al., 2025), in het experimentele ontwerp worden opgenomen.

1.2. Karakterisering van de proeflocatie

Voor de aanleg van de proef wordt een karakterisering van de proeflocatie uitgevoerd.

a. Bodemparameters

De hydrologische eigenschappen van de bodem moeten worden bepaald om de hoeveelheid voor de planten beschikbare waterreserve nauwkeurig te kunnen inschatten (Cabello et al., 2020). Bodemstalen dienen vóór de aanleg van de proef op verschillende plaatsen binnen het perceel te worden genomen om de ruimtelijke heterogeniteit van de locatie te karakteriseren. De analyses worden uitgevoerd volgens de geldende gestandaardiseerde methodes en omvatten:

- textuur;
- bulkdensiteit;
- veldcapaciteit;
- permanent verwelkingspunt;
- gehalte aan organische stof;
- bewortelbare bodemdiepte;
- pH;
- elektrische geleidbaarheid.

b. Meteorologische omstandigheden en meetapparatuur

Een weerstation moet in de nabijheid van de proef worden geïnstalleerd om de luchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid, neerslag, dampdruktekort (VPD), windsnelheid en -richting, zonnestraling, fotosynthetisch actieve straling (PAR) en bodemtemperatuur te registreren. Idealiter worden de gegevens om de 15 tot 30 minuten geregistreerd.

1.3. Definiëren van en opvolging van de waterbeschikbaarheid

De karakterisering van droogtetolerantie berust op het creëren van contrasterende niveaus van waterbeschikbaarheid, zodat de respons van de rassen kan worden geëvalueerd onder omstandigheden variërend van optimale watervoorziening tot ernstige waterstress. Het niveau van waterbeschikbaarheid kan worden gedefinieerd op basis van bodemvochtigheidsdrempels of op basis van een percentage van de gewasverdamping (*crop EvapoTranspiration*, ETc) wanneer de experimentele omstandigheden een nauwkeurige irrigatiesturing toelaten.

De gewasverdamping (ETc) vertegenwoordigt de totale hoeveelheid water die door het gewas wordt verbruikt via de gecombineerde processen van planttranspiratie en bodemverdamping. Deze vormt een schatting van de waterbehoefte van het gewas en dient als referentie voor de berekening van irrigatiegiften.

ETc wordt berekend volgens:

$$ETc = ET_0 \times Kc$$

waarbij:

- **ETc** = gewasverdamping (mm dag⁻¹);
- **ET₀** = referentie-evapotranspiratie berekend op basis van meteorologische gegevens (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, zonnestraling en windsnelheid), doorgaans volgens de FAO Penman-Monteith-vergelijking;
- **Kc** = gewascoëfficiënt, specifiek voor het gewas en het betreffende ontwikkelingsstadium.

Voor aardappel worden de volgende referentiewaarden voor de gewascoëfficiënt voorgesteld door Allen et al. (1998):

- **Initiële Kc (Kcini) = 0,50**; voor de periode na het planten wanneer het gewas nog weinig ontwikkeld is;
- **Middenseizoen Kc (Kcmid) = 1,15**; voor de fase van maximale bodembedekking en hoge waterbehoefte, doorgaans tijdens de knolvorming;
- **Eindseizoen Kc (Kcend) = 0,75**; voor de fase van afrijping en veroudering van het gewas.

Om rekening te houden met de ontwikkeling van het gewasdek moet de gewascoëfficiënt tijdens de teeltcyclus worden aangepast op basis van fenologische waarnemingen (BBCH-stadia, bladontwikkeling en bodembedekking). De berekening van ETc maakt het vervolgens mogelijk de toe te dienen waterhoeveelheden voor elk irrigatieniveau te bepalen.

Ter indicatie kunnen drie irrigatieniveaus worden toegepast:

- **T0: optimale irrigatie (100 % ETc)**;
- **T1: matige waterstress (70 % ETc)**;
- **T2: ernstige waterstress (40 % ETc)**.

Zoals eerder vermeld, moet er rekening gehouden worden met de rijpingsklasse en moeten de verschillende niveaus van waterbeschikbaarheid worden toegepast op een vergelijkbaar fysiologisch stadium voor alle rassen. Er wordt doorgaans mee gestart nadat de planten volledig gevestigd zijn, tijdens de knolinitiatie of aan het begin van de bloei. Dit zijn stadia die als bijzonder gevoelig voor droogtestress worden beschouwd bij aardappel.

Het stressniveau wordt vervolgens opgevolgd en bijgestuurd aan de hand van regelmatige metingen van het bodemvocht op verschillende diepten van het bodemprofiel (0–20 cm, 20–40 cm en 40–60 cm) met behulp van TDR-sondes, tensiometers of capacitieve sensoren.

Meteorologische gegevens (luchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid, neerslag, zonnestraling, windsnelheid en referentie-evapotranspiratie) worden gedurende de volledige proefperiode geregistreerd om de intensiteit van de opgelegde waterstress te documenteren.

1.4. Experimenteel ontwerp en keuze behandelingen

De evaluatie van droogtetolerantie vereist specifieke experimentele opstellingen waarmee verschillende niveaus van waterbeschikbaarheid kunnen worden gecreëerd en gecontroleerd. De keuze van het experimentele ontwerp hangt af van de doelstellingen van de studie, de beschikbare infrastructuur en de beperkingen van de proeflocatie.

Droogtestress kan gecontroleerd worden opgelegd via verschillende irrigatieregimes, worden geïnduceerd door contrasterende plantdata die gebruikmaken van natuurlijke meteorologische schommelingen, of worden gecreëerd met behulp van regenuitsluitingsstructuren zoals tunnels of regenschermen. De in de volgende paragrafen voorgestelde ontwerpen zijn hiervan voorbeelden.

Voor elk ontwerp moeten het experimentele plan, de bestudeerde factoren, het aantal herhalingen en de randomisatieprocedure duidelijk worden vastgelegd om een betrouwbare schatting van de genotype- en omgevingseffecten mogelijk te maken.

Wanneer droogtestress afzonderlijk per proefplot kan worden toegepast, volstaat doorgaans een gerandomiseerd blokkenontwerp (*Randomized Complete Block Design*, RCBD). Wanneer de toepassing van de behandelingen echter onderhevig is aan technische beperkingen, zoals irrigatiesectoren, sproeibomen, druppelirrigatielijnen, tunnels of verschillende plantdata, wordt een split-plot-ontwerp aanbevolen.

In dat geval wordt de moeilijkst toe te passen factor toegewezen aan de hoofdplots (main plots), terwijl de rassen willekeurig over de subplots worden verdeeld. Deze aanpak houdt rekening met de praktische beperkingen en zorgt tegelijk voor een correcte schatting van de experimentele fout.

a. Plotgrootte

Elk proefplot omvat:

- 25 tot 30 planten;
- verdeeld over 2 tot 4 rijen;
- met een plantafstand van 75 cm tussen de rijen en 30 tot 35 cm tussen de planten.

b. Mogelijke proefopstellingen

De onderstaande voorbeelden illustreren verschillende benaderingen die kunnen worden gebruikt voor de evaluatie van de droogtetolerantie van aardappelrassen. Deze proefopzetten kunnen verschillende factoren combineren, waaronder irrigatieregimes, plantdata, het gebruik van tunnels of regenschermen, evenals de herhaling van proeven over meerdere jaren.

Geval 1: Rassen × irrigatieniveaus (split-plot ontwerp)

Dit ontwerp wordt aanbevolen wanneer irrigatieniveaus moeilijk op kleine schaal kunnen worden gerandomiseerd, omdat water vaak wordt toegediend via stroken, sproeibomen, druppelirrigatielijnen of hydraulische gescheiden sectoren (Hassanpanah, 2010). In dit geval wordt de factor irrigatie toegewezen aan de hoofdplots en de factor ras aan de subplots.

Structuur van het ontwerp

- Hoofdfactor: irrigatieniveaus of waterregimes;
- Secundaire factor: aardappelrassen of -genotypes;
- Parallelen: 3 tot 4 blokken;
- Randomisatie: de irrigatieniveaus worden binnen elk blok willekeurig toegewezen, waarna de rassen binnen elke hoofdplot worden gerandomiseerd;
- Experimentele eenheid voor irrigatie: hoofdplot;
- Experimentele eenheid voor rassen: subplot.

Praktische uitvoering

De irrigatie wordt uitgevoerd volgens een gecontroleerd systeem, zoals druppelirrigatie of spuitboom, waarmee de watergiften voor elke behandeling nauwkeurig kunnen worden toegediend. De irrigatiehoeveelheid wordt gedurende de proef aangepast in functie van de vastgelegde niveaus van waterbeschikbaarheid en de waterbehoefte van het gewas.

Bij elke irrigatiebeurt moeten de volgende gegevens worden geregistreerd:

- datum;
- duur;
- debiet;
- toegediend watervolume;
- systeemdruk;
- toegepaste behandeling.

Voorbeeld van niveaus van waterbeschikbaarheid

Hassanpanah (2010) evalueerde zeven aardappelcultivars in een split-plot ontwerp met drie herhalingen. De irrigatiebehandelingen werden toegepast op de hoofdplots en de cultivars opgenomen in de subplots. De drie niveaus werden gedefinieerd op basis van het percentage uitputting van het beschikbare bodemvocht:

- T0: normale irrigatie na 25 % uitputting van het beschikbare bodemwater;
- T1: matige stress na 35 % uitputting van het beschikbare bodemwater;
- T2: ernstige stress na 50 % uitputting van het beschikbare bodemwater.

Binnen dit protocol kunnen deze niveaus eveneens worden uitgedrukt als percentage van de gewasverdamping (ETc):

- T0: optimale irrigatie (100 % ETc);
- T1: matige waterstress (70 % ETc);
- T2: ernstige waterstress (40 % ETc).

Geval 2: Gebruik van tunnels of regenschermen

Het gebruik van tunnels of regenschermen vormt een experimentele opzet waarmee de waterbeschikbaarheid nauwkeurig kan worden gecontroleerd en droogtestress onder veldomstandigheden kan worden gesimuleerd. Dit systeem is bijzonder geschikt voor de evaluatie van robuuste aardappelrassen, omdat het de natuurlijke neerslag uitsluit terwijl de groeiomstandigheden toch vergelijkbaar blijven met die in openlucht.



Voorbeeld van het gebruik van tunnels – proef te Libramont

Structuur van het ontwerp

- Experimenteel ontwerp: gerandomiseerd blokkenontwerp (*Randomized Complete Block Design*) of split-plot;
- Hoofdfactor: waterregime (tunnel versus controleplot buiten de tunnel);
- Secundaire factor: ras;
- Herhalingen: minimaal 3 blokken;
- Experimentele eenheid: perceel onder tunnel of controleplot in openlucht.

Wanneer meerdere tunnels elk een volledige zone bedekken, moet de factor “tunnel” worden beschouwd als hoofdplot binnen een split-plot-ontwerp. Wanneer individuele proefplots afzonderlijk kunnen worden afgedekt, volstaat een gerandomiseerd blokkenontwerp.

Installatie en opvolging van de tunnels

Het systeem berust op de installatie van lichte constructies die bedekt zijn met een waterdicht en transparant materiaal (polyethyleen of polycarbonaat) boven de proefplots. Deze tunnels worden geplaatst om natuurlijke neerslag uit te sluiten en waterinfiltratie in de bodem te beperken. De zijanten kunnen volledig of gedeeltelijk worden geopend om oververhitting te voorkomen en voldoende ventilatie te garanderen.

De tunnels of regenschermen moeten vóór de start van de beoogde stressperiode worden geplaatst. De werkzaamheid en het vermogen om neerslag effectief uit te sluiten moet gedurende de volledige proef regelmatig worden gecontroleerd. Indien mogelijk worden ook de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid onder de tunnel geregistreerd om eventuele effecten op het microklimaat te karakteriseren. Dit type systeem maakt een geleidelijke afname van het bodemvocht mogelijk en zorgt voor een hoge reproduceerbaarheid van de droogtestress tussen herhalingen wanneer de proefplots hydraulisch goed geïsoleerd zijn (er geen wateruitwisseling tussen plots is).

De controlepercelen buiten de tunnel worden doorgaans beheerd volgens de gebruikelijke teeltverloop van de proeflocatie. Wanneer de neerslag voldoende is om aan de waterbehoefte van het gewas te voldoen, is aanvullende irrigatie niet noodzakelijk. Tijdens perioden van uitgesproken droogte kan echter bijkomende irrigatie worden toegepast om niet-beperkende vochtomstandigheden te behouden en een geschikte referentie te bieden voor de vergelijking met de droogtestress onder tunnel.

De twee hierboven beschreven proefopzetten maken een directe controle van de intensiteit, de duur en het tijdstip van toepassing van de waterstress mogelijk. Daardoor vormen zij de meest geschikte benaderingen voor het vergelijken van de droogtetolerantie van aardappelrassen.

Aanvullende benaderingen

In wat volgt geven we nog twee aanvullende benaderingen/ontwerpen die door de invloed van extra factoren eerder indicatief zijn voor de mate van droogtetolerantie van een ras.

Geval 3: Plantdatum × ras

De experimentele opzet “plantdatum × ras” berust op het benutten van natuurlijke weersschommelingen om contrasterende niveaus van waterbeschikbaarheid tijdens de

teeltcyclus te creëren. Bij afwezigheid van irrigatie worden de verschillen tussen plantdata bepaald door variaties in bodemwatervoorraad, neerslag, temperatuur en atmosferische verdampingsvraag. Dit type proef wordt vaak gebruikt om de aanpassing van rassen aan droge omstandigheden in regenafhankelijke of laag-inputsystemen te evalueren (Monneveux et al., 2013).

In tegenstelling tot proefopzetten met gecontroleerde irrigatieregimes of met tunnels en regenschermen wordt de droogtestress hier indirect opgewekt door natuurlijke omgevingsomstandigheden. De waargenomen verschillen weerspiegelen daarom niet alleen de effecten van watertekort, maar ook die van andere factoren zoals temperatuur, straling of de duur van de groeicyclus. Deze proefopzet maakt het mogelijk de aanpassing van rassen aan verschillende productieomstandigheden te beoordelen, maar vormt niet de meest nauwkeurige methode om droogtetolerantie specifiek te karakteriseren. Zij moet daarom worden beschouwd als een aanvullende benadering naast gecontroleerde droogtestressproeven.

Vroege plantingen profiteren doorgaans van een grotere bodemwatervoorraad, lagere temperaturen en regelmatigere voorjaarsneerslag. Late plantingen daarentegen stellen de rassen bloot aan een hogere evapotranspiratie, hogere temperaturen en een geleidelijke afname van de bodemwatervoorraad tijdens de kritieke fasen van knolvorming en knolvulling (Trebejo & Midmore, 1990).

Structuur van de proefopzet

- Experimenteel ontwerp: split-plot of gerandomiseerd blokkenontwerp, afhankelijk van de beperkingen van de proeflocatie;
- Hoofdfactor: plantdata;
- Secundaire factor: rassen;
- Herhalingen: 3 tot 4 blokken;
- Experimentele hoofdeenheid: plantdatum;
- Experimentele subeenheid: rassen.

Wanneer de verschillende plantdata binnen hetzelfde proefveld worden gerealiseerd, wordt doorgaans een split-plot-ontwerp aanbevolen om rekening te houden met de praktische beperkingen van de plantkalender.

Praktische uitvoering

De plantdata moeten voldoende van elkaar verschillen om meetbare meteorologische verschillen tijdens de groeicyclus te genereren, met name op het vlak van temperatuur, neerslag en atmosferische verdampingsvraag.

Alle proefpercelen worden zonder irrigatie beheerd zodat de waargenomen verschillen voornamelijk het gevolg zijn van:

- natuurlijke meteorologische omstandigheden;
- de beschikbaarheid van bodemwater;
- het intrinsieke vermogen van de rassen om hun groei en opbrengst onder watertekort te behouden.

Volgens het International Potato Center (CIP) vereist een succesvolle uitvoering van dit type proef een nauwkeurige opvolging van de meteorologische omstandigheden en het bodemvochtgehalte

om de werkelijke intensiteit van de door de planten ervaren stress te kwantificeren. Daarom worden gedurende de volledige proefperiode gegevens verzameld over temperatuur, neerslag, relatieve luchtvochtigheid, zonnestraling en referentie-evapotranspiratie.

Geval 4: Meerjarige proef

Proeven die gedurende meerdere jaren worden uitgevoerd, maken het mogelijk om de stabiliteit van de prestaties van rassen onder uiteenlopende meteorologische omstandigheden te evalueren. Ze leveren waardevolle informatie op over de interacties tussen genotype en omgeving (genotype $\times$ environment, $G \times E$) en over het aanpassingsvermogen van rassen aan verschillende bodem- en meteorologische omstandigheden. Bij gebrek aan een directe controle of referentie van de waterbeschikbaarheid laten deze proeven echter niet toe om het specifieke effect van watertekort nauwkeurig te isoleren. Daarom moeten zij worden beschouwd als een aanvullende benadering van gecontroleerde droogtestressproeven en niet als een specifieke methode voor de evaluatie van droogtetolerantie.

Structuur van de proefopzet

Een meerjarige proef vormt geen afzonderlijk experimenteel ontwerp, maar bestaat uit de herhaling van een vooraf gedefinieerde proefopzet gedurende meerdere opeenvolgende jaren. Deze kan de vorm aannemen van:

- een gerandomiseerd blokkenontwerp (Randomized Complete Block Design);
- een split-plot-ontwerp;
- of een andere experimentele opzet die aangepast is aan de doelstellingen van de studie.

Om de analyse van genotype $\times$ omgeving-interacties mogelijk te maken, moeten de experimentele omstandigheden zo constant mogelijk worden gehouden van jaar tot jaar, met name:

- de geëvalueerde rassen;
- de toegepaste behandelingen;
- de plantdata;
- de teelttechnische maatregelen.

Om de vergelijkbaarheid van de resultaten te waarborgen, moeten de plantdata elk jaar binnen een vergelijkbaar tijdsvenster worden aangehouden. Afhankelijk van de weersomstandigheden en de toestand van de bodem kan een afwijking van ± 3 tot 7 dagen worden toegestaan. Wanneer meerdere plantdata worden onderzocht, moeten dezelfde tijdsvensters jaarlijks worden herhaald.

In alle gevallen moeten de rassen worden vergeleken op equivalente fysiologische ontwikkelingsstadia. Wanneer de rassen tot verschillende rijpingsklassen behoren, dienen per klasse afzonderlijk te worden opgevolgd en geanalyseerd om vertekeningen als gevolg van verschillen in vroegrijpheid te beperken.

Interpretatie van de resultaten

In dit type proef wordt de intensiteit van de droogtestress volledig bepaald door de meteorologische omstandigheden van elk afzonderlijk teeltjaar. Sommige jaren kunnen worden gekenmerkt door uitgesproken periodes van watertekort tijdens kritieke ontwikkelingsfasen,

terwijl andere jaren gunstiger omstandigheden vertonen. Deze variabiliteit maakt het mogelijk om zowel de stabiliteit van de prestaties als de fenotypische plasticiteit van rassen in een brede waaier van omgevingen te evalueren.

De analyse van meerjarige gegevens maakt het mogelijk om rassen te identificeren die niet alleen hoge gemiddelde prestaties leveren, maar ook een stabiel gedrag vertonen over verschillende jaren heen. Bovendien vormt zij een waardevol instrument voor het kwantificeren van genotype × omgeving-interacties en voor het karakteriseren van de aanpassing van aardappelrassen aan uiteenlopende meteorologische omstandigheden.

2. Uitvoering en opvolging van de proef

2.1. Teeltbeheer

De bemesting wordt bepaald op basis van de bodemanalyse. De toegediende nutriëntengiften moeten voor alle behandelingen identiek zijn, zodat de waargenomen verschillen uitsluitend kunnen worden toegeschreven aan de droogtestress. Plagen, ziekten en onkruiden worden in alle proefpercelen opgevolgd. Gewasbeschermingsmaatregelen en onkruidbestrijding worden op een uniforme wijze toegepast over de volledige proef.

2.2. Opvolging van de gewasontwikkeling

a. Opkomst van de planten

De opkomst van de planten is een essentiële parameter om het aantal effectief gevestigde planten per ras te bepalen. Deze parameter maakt het tevens mogelijk om verschillen in opkomst mee te nemen bij de interpretatie en vergelijking van de resultaten.

De opkomst en vestiging van de planten worden opgevolgd totdat alle planten een leeftijd van 30 tot 35 dagen na het planten hebben bereikt. Vanaf 10 dagen na het planten (*Days After Planting*, DAP) wordt het perceel regelmatig gecontroleerd tot 30 DAP. De opkomstdatum wordt voor elke plant en elk ras geregistreerd, waarbij de waarnemingen om de drie dagen worden uitgevoerd.

b. Groeikracht

De groeikracht van het perceel wordt voor elk ras beoordeeld, rekening houdend met de rijpingsklasse (GM). Deze evaluatie wordt uitgevoerd zodra minstens 50 % van de planten binnen dezelfde rijpingsklasse is opgekomen.

De groeikracht wordt beoordeeld op een schaal van 1 tot 9, waarbij:

- 1 = zeer zwakke groeikracht;
- 9 = zeer sterke groeikracht.

c. Aantal stengels per plant

Het aantal stengels per plant wordt éénmaal geteld vóór het aanaarden. Latere metingen kunnen onnauwkeurig zijn als gevolg van ondergrondse vertakkingen. Deze parameter is belangrijk omdat hij vaak verband houdt met het aantal gevormde knollen en de uiteindelijke opbrengst.

d. Gezondheidstoestand van het gewas

Vóór het opleggen van de droogtestress wordt de ziekte-incidentie geëvalueerd om na te gaan of verschillen in respons op droogtestress niet worden beïnvloed door verschillen in de initiële gezondheidstoestand van de planten.

De incidentie wordt uitgedrukt als het percentage aangetaste planten per perceel. De ernst van de symptomen kan worden beoordeeld op een schaal van 1 tot 9, waarbij:

- 1 = geen symptomen;
- 9 = zeer ernstige aantasting.

2.3. Opleggen van de droogtestress

De droogtestress moet worden opgelegd in een vergelijkbaar fysiologisch stadium voor alle rassen, bij voorkeur tijdens het aanaarden of tijdens de knolinitiatie. Wanneer rassen verschillen in vroegheid, moeten zij worden gegroepeerd volgens hun rijpingsklasse (GM) om een relevante vergelijking van de reacties op droogtestress mogelijk te maken.

Afhankelijk van het gekozen experimentele ontwerp kunnen verschillende behandelingen worden toegepast:

- Geïrrigeerde controle, waarbij gedurende de volledige teeltcyclus een optimale watervoorziening wordt gehandhaafd;
- Terminale stress, gekenmerkt door een volledige stopzetting van de irrigatie vanaf een vooraf bepaald ontwikkelingsstadium tot aan de oogst;
- Herstelbehandeling, waarbij de irrigatie na een vooraf bepaalde droogteperiode (doorgaans 25 tot 30 dagen) opnieuw wordt opgestart;
- Matige of ernstige stress, gedefinieerd op basis van een percentage van de ET_c of vooraf vastgelegde bodemvochtigheidsdrempels;
- Stress opgelegd onder een regenuitsluitingstunnel, waardoor de watertoevoer nauwkeuriger kan worden gecontroleerd.

Vanaf het moment waarop de droogtestress wordt gestart, moeten bodemvocht, bodemtemperatuur, luchttemperatuur, toegediende watervolumes en neerslag verder worden opgevolgd. De eerste zichtbare symptomen van droogtestress kunnen ongeveer tien dagen na het begin van de behandeling optreden, afhankelijk van de beschikbare bodemwatervoorraad en de klimatologische omstandigheden.

2.4. Evaluatie na het opleggen van de stress

De waarnemingen na het opleggen van de stress dienen minstens twee maal te worden uitgevoerd, met een interval van ongeveer twee weken wanneer dit praktisch haalbaar is. De eerste evaluatie start doorgaans tussen twee en zes dagen na het begin van het opleggen van de droogtestress, tenzij anders vermeld.

Beoordelingen zoals verwelking, groeikracht en ziekte-incidentie worden uitgevoerd op basis van kwalitatieve beoordelingsschalen. Om variatie tussen beoordelaars te beperken, wordt

aanbevolen dat deze waarnemingen gedurende de volledige proef door dezelfde persoon worden uitgevoerd.

2.4.1. Te meten morfologische en fysiologische parameters

a. Planthoogte

De planthoogte wordt gemeten op de hoofdstengel met behulp van een meetlat of meetlint. De meting wordt uitgevoerd tussen het bodemoppervlak en het groeipunt van de plant en wordt uitgedrukt in centimeter (cm).

De eerste meting wordt uitgevoerd vóór het opleggen van de waterstress. Vervolgens worden tijdens de stressperiode regelmatig metingen uitgevoerd, idealiter met tussenpozen van twee weken.

b. Stengeldiameter

De diameter van de hoofdstengel wordt gemeten met een digitale schuifmaat net boven de eerste bovengrondse knoop.

De metingen worden uitgevoerd vóór het begin van de droogtestress periode en vervolgens meerdere malen tijdens de stressperiode om het effect van watertekort op de vegetatieve groei te beoordelen.

c. Bladoppervlakte van deelblaadjes (*Leaflet Area*)

Van elke geselecteerde plant of variëteit worden drie volledig ontwikkelde en representatieve bladeren bemonsterd vóór het opleggen van de droogtestress en vervolgens tweemaal tijdens de stressperiode.

De bladeren moeten een vergelijkbare fysiologische leeftijd hebben en afkomstig zijn van een vergelijkbare positie op de plant.

Het bladoppervlak wordt bepaald met behulp van een bladoppervlakte-analyser of een elektronische planimeter. Indien dergelijke apparatuur niet beschikbaar is, kan het bladoppervlak worden geschat via digitale beeldanalyse. De bladeren worden gefotografeerd op een contrasterende achtergrond met een referentieschaal en vervolgens geanalyseerd met beeldverwerkingssoftware.

De resultaten worden uitgedrukt in cm².

d. Relatief watergehalte (*Relative Water Content, RWC*)

Het relatieve watergehalte vormt een indicator van de waterstatus van het bladweefsel.

Blaadjes of bladschijfjes worden genomen van volledig ontwikkelde, gezonde bladeren die zich op een vergelijkbare positie in het gewas bevinden om variatie door leeftijd of bladgrootte te beperken. De staalname gebeurt bij voorkeur op hetzelfde tijdstip van de dag voor alle rassen en behandelingen.

Onmiddellijk na de staalname worden de monsters gewogen om het versgewicht (FW) te bepalen. Vervolgens worden ze gedurende 4 tot 6 uur in gedestilleerd water in het donker geplaatst om maximale turgor te bereiken. Na rehydratie worden de monsters voorzichtig uit het water

gehaald, oppervlakkig gedroogd met absorberend papier en opnieuw gewogen om het turgorgewicht (VM) te bepalen.

Daarna worden de monsters gedroogd in een droogstoof bij 65–80 °C tot een constant gewicht wordt bereikt, om het drooggewicht (DM) te bepalen.

Het relatieve watergehalte wordt berekend volgens:

$$RWC(\%) = \frac{VM - DM}{TM - DM} \times 100$$

waarbij:

- FM = versgewicht;
- TM = gewicht bij maximale turgor;
- DM = drooggewicht.

e. Specifiek bladoppervlak (*Specific Leaf Area, SLA*)

Het specifiek bladoppervlak wordt berekend als de verhouding tussen het bladoppervlak en de overeenkomstige droge biomassa:

$$SLA = \frac{\text{Bladoppervlak}}{\text{Droge bladmassa}}$$

De resultaten worden uitgedrukt in cm²/g of m²/kg en vormen een indicator van de morfologische aanpassingen van de plant aan watertekort.

f. Bodembedekking (*Canopy Cover*)

De bodembedekking komt overeen met het percentage bodemoppervlak dat door vegetatie wordt bedekt.

Deze parameter wordt bepaald aan de hand van verticale foto's, dronebeelden of vegetatiesensoren. De metingen moeten worden uitgevoerd onder gestandaardiseerde omstandigheden wat betreft hoogte, kijkhoek en lichtomstandigheden, zodat de resultaten vergelijkbaar zijn.

De resultaten worden uitgedrukt als percentage (%) van het bodemoppervlak dat door vegetatie wordt bedekt.

g. Verwelking van de planten (*Plant Wilting*)

De intensiteit van de verwelking wordt visueel beoordeeld aan de hand van een scoreschaal van 1 tot 9:

- 1: geen verwelking;
- 3: lichte bladkrulling;
- 5: matige verwelking;
- 7: ernstige verwelking;
- 9: extreme verwelking of vergevorderde veroudering.

De waarnemingen worden bij voorkeur uitgevoerd aan het einde van de voormiddag of in het begin van de namiddag, wanneer de verdampingsbehoefte hoog is.

h. Chlorofylgehalte

Het relatieve chlorofylgehalte wordt gemeten met een draagbare chlorofylmeter van het type SPAD/HNT. Er worden drie metingen uitgevoerd op drie deelblaadjes van het derde volledig ontwikkelde blad van elke beoordeelde plant. Eén meting wordt uitgevoerd vóór de droogtestress en vervolgens minstens twee metingen tijdens de stressperiode. De resultaten worden uitgedrukt in SPAD/HNT-eenheden.

i. Genormaliseerde Vegetatie-Index (*Normalized Difference Vegetation Index, NDVI*)

De NDVI wordt gemeten met behulp van een draagbare sensor (bijvoorbeeld GreenSeeker) of via multispectrale dronebeelden.

De index wordt berekend volgens de formule:

$$NDVI = (R_{800} - R_{650}) / (R_{800} + R_{650})$$

waarbij:

- R_{800} = reflectantie in het nabij-infrarood;
- R_{650} = reflectantie in het rode spectrum.

De NDVI vormt een indicator voor de ontwikkeling en de vitaliteit van het gewasdek.

j. Temperatuurverschil door het bladerdek (*Canopy Temperature Depression, CTD*)

De temperatuursverlaging door het bladerdek wordt bepaald met behulp van een thermische camera of een infraroodthermometer.

Ze wordt berekend volgens:

$$CTD = T_a - T_c$$

waarbij:

- T_a = luchttemperatuur;
- T_c = temperatuur van het gewasdek.

De metingen worden uitgevoerd tussen 9.30 uur en 15.30 uur bij zonnig weer, zonder sterke wind, en met een emissiecoëfficiënt ingesteld op 0,97. Een positieve waarde wijst erop dat het gewasdek koeler is dan de omgevingslucht en duidt doorgaans op een betere koeling door transpiratie.

2.5. Evaluatie bij de oogst

a. Aantal geoogste planten

Tel het aantal planten dat daadwerkelijk in elk perceel is geoogst. Aan de hand van deze gegevens kunnen de resultaten per plant worden weergegeven en kunnen proefplots met verliezen worden gecorrigeerd.

b. Aantal knollen per plant en versgewicht van de knollen

Alle knollen worden geteld per plant of per proefplot. Een knol wordt mee geteld wanneer de diameter minstens tweemaal groter is dan die van de stolon waaraan hij vastzit.

Vervolgens worden de knollen gewogen met een geijkte digitale weegschaal. De resultaten worden uitgedrukt in gram of kilogram per plant of per plot.

c. Verse biomassa

De geoogste planten worden opgesplitst in twee fracties:

- bovengrondse delen (bladeren en stengels);
- ondergrondse delen (wortels en uitlopers/stolonen).

Elke fractie wordt afzonderlijk in een gelabelde zak geplaatst en gewogen om de verse biomassa te bepalen.

d. Kenmerken van de knollen

De knollen worden beoordeeld op basis van:

- vorm;
- grootte;
- aanwezigheid van vervormingen;
- scheuren;
- fysiologische gebreken;
- eventuele symptomen van ziekten.

De sorteringsklassen moeten vóór de start van de proef worden vastgelegd.

2.6. Evaluatie na de oogst

a. Droge biomassa

De bladeren, stengels, wortels en stolonen worden gedroogd in een droogstoof bij 80 °C gedurende 48 uur of bij 65 °C gedurende 96 uur, totdat een constant gewicht wordt bereikt. De monsters worden onmiddellijk na het uitnemen uit de droogstoof gewogen om heropname van vocht te vermijden.

b. Drogestofgehalte van de knollen

Voor elke proefplot of ras wordt een representatief monster van ongeveer 200 g knollen genomen. Het monster wordt in stukken gesneden en gewogen om de verse massa (vM) te bepalen.

Na droging gedurende vier dagen bij 80 °C wordt de droge massa (DM) bepaald.

Het drogestofgehalte wordt berekend volgens:

$$\text{DS-gehalte (\%)} = (\text{DM} / \text{VM}) \times 100$$

waarbij:

- VM = verse massa van het knolmonster;
- DM = droge massa van het knolmonster.

c. Totale droge massa van de knollen

De totale droge massa van de knollen wordt berekend volgens:

$$\text{TDM} = \text{TVM} \times \text{DM} / 100$$

waarbij:

- TVM = totaal versgewicht van de knollen;
- DM = drogestofgehalte van de knollen.

2.7. Berekening van droogtetolerantie-indices

a. Totale droge biomassa (*Total Biomass*)

De totale droge biomassa wordt berekend volgens:

$$\text{DMplant} = \text{DMknol} + \text{DMloof} + \text{DMwortel}$$

waarbij:

- DMknol = totale droge massa van de knollen;
- DMloof = droge massa van de bovengrondse delen;
- DMwortel = droge massa van wortels en stolonen.

b. Oogstindex (*Harvest Index*)

De droge oogstindex wordt berekend volgens:

$$\text{HI (DS\%)} = (\text{DMknol} / \text{DMplant}) \times 100$$

Deze index vertegenwoordigt het aandeel van de totale biomassa dat wordt toegewezen aan de productie van knollen.

c. Droogtegevoeligheidsindex (*Drought Susceptibility Index, DSI*)

De droogtegevoeligheidsindex wordt berekend volgens:

$$\text{DSI} = [1 - (Y_s / Y_p)] / [1 - (Y_{ms} / Y_{mp})]$$

waarbij:

- Y_s = opbrengst van het ras onder droogtestress;
- Y_p = opbrengst van het ras onder niet-stressomstandigheden;
- Y_{ms} = gemiddelde opbrengst van alle rassen onder droogtestress;
- Y_{mp} = gemiddelde opbrengst van alle rassen onder niet-stressomstandigheden.

Een waarde van **DSI < 1** wijst op een relatief betere tolerantie voor watertekort.

d. Droogtetolerantie-index (*Drought Tolerance Index, DTI*)

De droogtetolerantie-index wordt berekend volgens:

$$DTI = (Y_p \times Y_s) / Y_{mp}^2$$

Een hoge DTI-waarde wijst op een ras dat een goede productie kan handhaven onder zowel optimale omstandigheden als onder droogtestress.

e. Tolerantie (*Tolerance, TOL*)

De tolerantie-index wordt berekend volgens:

$$TOL = Y_p - Y_s$$

Een lage TOL-waarde wijst op een beperkte opbrengstvermindering onder droogtestress.

f. Gemiddelde productiviteit (*Mean Productivity, MP*)

De gemiddelde productiviteit wordt berekend volgens:

$$MP = (Y_p + Y_s) / 2$$

Deze index maakt het mogelijk rassen te identificeren die zowel onder stressomstandigheden als onder gunstige omstandigheden goede prestaties leveren.

g. Eindrangschikking van de rassen

De uiteindelijke rangschikking van de rassen is gebaseerd op een multicriteria-benadering die rekening houdt met:

- de opbrengst onder droogtestress;
- de opbrengst onder niet-beperkende vochtomstandigheden;
- de indices DSI, DTI, TOL en MP;
- de stabiliteit over jaren of locaties heen;
- de groeikracht en het behoud van de bodembedekking;
- fysiologische variabelen (RWC, SPAD, NDVI en CTD);
- het drogestofgehalte;
- de kwaliteit en geschiktheid van de knollen voor hun gebruikscategorie.

Een ras wordt als veelbelovend beschouwd wanneer het een hoge opbrengst onder droogtestress combineert met een hoge droogtetolerantie (lage DSI en Hoge DTI) en een knolkwaliteit die geschikt is voor zijn gebruikscategorie.

3. Statistische analyse

De gegevens worden geanalyseerd met statistische modellen die aangepast zijn aan het gebruikte experimentele ontwerp. De keuze van het model hangt af van de proefopzet, de onderzochte factoren en het aantal geëvalueerde omgevingen.

Voor proeven uitgevoerd volgens een gerandomiseerd blokkenontwerp (Randomized Complete Block Design, RCBD) kan een variantieanalyse (ANOVA) worden gebruikt om de effecten van de rassen, behandelingen en hun interacties te evalueren.

Wanneer een split-plot-ontwerp wordt toegepast, moet de analyse rekening houden met de hiërarchische structuur van de proef door de effecten van de hoofdplots en de subplots, evenals hun respectieve fouttermen, afzonderlijk te modelleren.

Voor de proeven Rassen × irrigatieniveaus (Geval 1) en proeven met tunnels of regenschermen (Geval 2) richt de analyse zich voornamelijk op de effecten van het ras, het waterregime en de interactie ras × waterregime. Deze interactie is bijzonder belangrijk omdat zij verschillen in rasreactie op watertekort zichtbaar maakt.

Voor de proefopzet Plantdatum × ras (Geval 3) worden de effecten van plantdatum, ras en hun interactie geanalyseerd. De resultaten moeten echter met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd, aangezien de waargenomen verschillen zowel kunnen voortkomen uit watertekort als uit andere omgevingsfactoren die samenhangen met de plantdatum (temperatuur, straling, lengte van de groeicyclus enz.).

Voor meerjarige proeven (Geval 4) worden gemengde modellen aanbevolen om de effecten van rassen, jaren, omgevingen en rassen × omgeving-interacties te schatten. Gegevens van meerdere jaren kunnen eveneens worden geanalyseerd met methoden zoals:

- AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction);
- GGE-biplot (Ras + Ras × Environment).

Deze methoden maken het mogelijk de stabiliteit en aanpassing van rassen aan contrasterende omgevingen te beoordelen.

Vergelijkingen van gemiddelden kunnen worden uitgevoerd met geschikte multiple vergelijkingstoetsen zoals Tukey, Fisher LSD of gelijkaardige methoden bij een significantieniveau van 5 %.

Indien relevant kunnen ook correlatie-, regressie- en multivariate analyses worden toegepast om relaties tussen de gemeten morfologische, fysiologische en agronomische variabelen te onderzoeken.

4. Aanbevelingen

In het kader van het project Robuuste Aardappelrassen moet de evaluatie van droogtetolerantie gebaseerd zijn op geharmoniseerde methoden, zodat resultaten afkomstig uit de verschillende productiegebieden van België en Noord-Frankrijk onderling kunnen worden vergeleken.

Gezien de variabiliteit van de regionale meteorologische omstandigheden wordt aanbevolen om voor elke proeflocatie de omgevingsomstandigheden nauwkeurig te karakteriseren, met inbegrip van:

- bodemeigenschappen;
- meteorologische gegevens;
- bodemvocht;
- neerslag.

Onder de bodem- en meteorologische omstandigheden van de grensoverschrijdende regio kan zomerse neerslag de regelmatige ontwikkeling van droogterstress beperken. Daarom wordt het gebruik van tunnels of regenschermen, gecombineerd met een gecontroleerd irrigatiesysteem en bodemvochtmetingen via sensoren, sterk aanbevolen om een vergelijkbaar stressniveau tussen locaties en tussen jaren te garanderen.

Wanneer de droogtestress op natuurlijke wijze wordt gegenereerd, dienen de proeven gedurende meerdere jaren en, indien mogelijk, op meerdere representatieve locaties binnen de Interreg-regio te worden herhaald. Deze aanpak maakt een betere karakterisering mogelijk van de stabiliteit van de rasprestaties en van de ras × omgeving-interacties.

Om vertekeningen als gevolg van verschillen in de lengte van de groeicyclus te beperken, moeten de rassen worden gegroepeerd volgens hun rijpingsklasse en worden vergeleken bij vergelijkbare fysiologische ontwikkelingsstadia.

Het opnemen van referentierassen die bekend staan als gevoelig of tolerant voor watertekort wordt eveneens aanbevolen om de interpretatie van de resultaten te vergemakkelijken.

Referenties

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
- Cabello, R.; Cevallos, D.; De Souza, J.; Gutiérrez, R.; Farfán, E.; Lozano, F.; Eyzaguirre, R.; Khan, A.; Schafleitner, R.; Bonierbale, M. 2020. Procedures for Standard Evaluation and Data Management of Advanced Potato Clones. Practical Guide to Assessing Potato Clones for Drought Tolerance under Field Conditions. International Cooperators' Guide. International Potato Center, Lima, Peru. DOI: 10.4160/9789290604716.
- Cabello, R.; Monneveux, P.; Bonierbale, M.; Khan, M.A. 2014. Heritability of yield components under irrigated and drought conditions in andigenum potatoes. American Journal of Potato Research.
- Chairi, F., Lateur, M., & Muhovski, Y. (2025). *Genotypic variation in agronomic and physiological responses of potato cultivars to water stress under greenhouse conditions*. **Frontiers in Plant Science**, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1692962>
- Deblonde, P.M.K.; Ledent, J.F. 2001. Effects of moderate drought conditions on green leaf number, stem height, leaf length and tuber yield of potato cultivars. European Journal of Agronomy, 14, 31–41.
- Easlon, H.M.; Bloom, A.J. 2014. Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. Applications in Plant Sciences, 2, 1400033.
- Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. Tainan, Taiwan.
- Fischer, R.A.; Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, 29, 897–912.
- Farooq, M.; Wahid, A.; Kobayashi, N.; Fujita, D.; Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, 29, 185–212.
- Guttieri, M.J.; Stark, J.C.; Brien, K.; Souza, E. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Science, 41, 327–335.
- Hassanpanah, D. 2010. Evaluation of Potato Cultivars for Resistance Against Water Deficit Stress Under In Vivo Conditions. Potato Research, 53, 383–392. DOI: 10.1007/s11540-010-9179-5.
- Hijmans, R.J. 2003. The effect of climate change on global potato production. American Journal of Potato Research, 80, 271–279.
- Khan, M. A., Saravia, D., Munive, S., Lozano, F., Farfan, E., Eyzaguirre, R., & Bonierbale, M. 2015. Multiple QTLs linked to agro-morphological and physiological traits related to drought tolerance in potato. Plant Molecular Biology Reporter, 33(5), 1286–1298. <https://doi.org/10.1007/s11105-014-0824-z>

Monneveux, P.; Ramírez, D.A.; Pino, M.T. 2013. Drought tolerance in potato: can we learn from drought tolerance research in cereals? *Plant Science*, 205, 76–86.

Rosielle, A.A.; Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21, 943–946.

Zlatev, Z.; Lidon, F.C. 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24, 57–72.