

Algemene artikel

Voedselproduksie in ontwikkelende lande - die rol van plantbiotegnologie

D.I. Ferreira

Departement Plantproduksie en Grondkunde, Universiteit van Pretoria, Pretoria, 0002

Ontvang 18 November 1994; aanvaar 30 Januarie 1995

UITTREKSEL

Die stelselmatige agteruitgang van die wêreld se landbougrond met 'n gepaardgaande snelle bevolkingsgroei in veral die ontwikkelende lande lei tot besorgdheid oor voedselproduksie. Dit blyk ook dat die sogenaamde "Groen Rewolusie" nie die antwoorde bied nie en hoë verwagtings word van plantbiotegnologie gekoester om voldoende voedselproduksie te verseker. Uitstekende vordering is inderdaad reeds met sowel selbiologie (weefselkultuur) as molekulêre biologie (genetiese boukunde) gemaak. Hierdie vordering en suksesse word onder die loep geneem. Aangesien die tegnologie in 'n tradisionele vorm, naamlik die saad of voortplantingsmateriaal aan die produsent beskikbaar gestel word, is dit duidelik dat landbou in die ontwikkelende lande ook by die ontwikkelings sal baat.

ABSTRACT

Food production in developing countries - the role of plant biotechnology

The world is facing major problems with regard to food production. Agricultural land suffers from various conditions which make it less efficient for crop production while the rapid population growth, especially in developing countries, raises concern for sustainable food production. The Green Revolution has failed to secure sustainable food production and it is hoped that biotechnology will facilitate the transition to more sustainable agriculture. Excellent progress has been made with both Cell Biology (tissue culture) and Molecular Biology (genetic engineering). The progress and success and its possible application in crop improvement are reviewed. It is concluded that agriculture in developing countries will also benefit from these developments, as the technology is transferred in a very traditional package, namely the seed or propagation material.

INLEIDING

Dit word algemeen aanvaar dat die wêreld reuseprobleme ten opsigte van voedselproduksie in die gesig staar. Bykans 70% van die landbougrond is onderhewig aan verbrakking, aluminiumtoksisiteit, of ander probleme wat dit minder geskik vir produksie maak. Woestynindringing en ontbossing is aan die toeneem, terwyl die menslike bevolking ook vermeerder. Die toename in landbouproduksie in ontwikkelende lande in die tweede helfte van hierdie eeu, kan grootliks aan die inproduksiestelling van braak en marginale gronde toegeskryf word. Die gevolg was dat bykans alle grond wat vir landboudoeleindes geskik is, reeds in die vroeë 1960's benut is.¹ Die snelle bevolkingsgroei wat tegelykertyd in veral die ontwikkelende lande van Asië, Latyns-Amerika en Afrika plaasgevind het, het hongersnood en verwante probleme as 'n sporadiese verskynsel meegebring.

Deurdaadwerklike optrede van landbouwetenskaplikes wêreldwyd is grootskaalse hongersnood egter beperk. Alhoewel die insette van kunsmisstowwe, plaag- en

siektebeheermiddels en verbeterde produksietegnologie in die algemeen 'n betekenisvolle rol gespeel het, was dit plantteeling wat die groot verskil gemaak het. In Suidoos-Asië is daar byvoorbeeld hoëproduserende semi-dwergvariëteite van koring en rys ontwikkel wat 'n betekenisvolle toename in graanproduksie tot gevolg gehad het.² 'n Land soos Indië wat voorheen groot tekorte ondervind het, is nou 'n uitvoerder van graan. Dit was die tydperk van die sogenaamde "Groen Rewolusie" en het byvoorbeeld tussen 1972 en 1982 'n wêreldwye toename van 25% in landbou-uitsette tot gevolg gehad. In die ontwikkelende lande was die toename 18%, terwyl landbouproduksie in ontwikkelde lande met 33% toegenem het. Ten spyte van 'n toename in die wêreldbevolking van 1,8 biljoen kon voldoende voedsel steeds geproduseer word.⁴

Sedert die aanvang van die vorige dekade het daar 'n afplatting in die toename van voedselproduksie ingetree. In die periode 1984 tot 1990 het voedselproduksie jaarliks met 1% toegenem, terwyl die bevolking met 2% gegroei het.¹ Die tegnologiepakkette van die Groen Rewolusie is nie meer voldoende om in die stygende vraag na voedsel te

voorsien nie. Die huidige wêreldbevolking van 5,2 biljoen sal na verwagting aangroeи tot 6 biljoen teen die jaar 2000 en tot bykans 11 biljoen teen die jaar 2050, wat gewis tot 'n reusevoedselvoorsieningsprobleem kan lei!⁵ Die verwagting is dat 90% van hierdie mense in die ontwikkelende lande sal woon² - 'n feit wat die potensielle krisis in die ontwikkelende wêreld versterk.

Daar is egter ook 'n ander probleem wat vrae laat ontstaan oor die vermoë van die tegnologie van die Groen Rewolusie om volgehoud voedselproduksie te verseker. Die swaar toediening van landbouchemikaliele het in verskeie lande 'n ernstige besoedeling van die gronde en waterbronne tot gevolg gehad. Voorts het organismes weerstand teen die stowwe opgebou en terselfdertyd is natuurlike predatoure uitgewis wat die beheer van siektes en plae toenemend bemoeilik. Die grootse probleem is egter dat die genetiese basis van die wêreld se belangrikste voedselgewasse soos mielies, koring, sorghum, sojabone ens. baie uniform is en ook toenemend nou raak. Die gevolg hiervan is dat die onvoorspelbare uitbreek van 'n siekte of plaag tot 'n katastrofe kan lei.

Hoë verwagtinge word van plantbiotecnologie gekoester om hierdie dreigende krisis die hoof te bied. 'n Menigte vooruitskatting is tydens die laaste dekade gemaak om die potensiaal van plantbiotecnologie in plantproduksie - en plantteling in die besonder - te bewys.⁶ Die tyd het egter aangebreek dat hierdie beloftes moet realiseer. In sommige kringe is reeds beweer dat die "biotecnologierewolusie" gefaal het. In hierdie oorsig sal daar kortlik geskryf word na die rol wat plantteling kan speel om in die behoeftes aan voedselproduksie in ontwikkelende lande te voorsien. Verder sal die sukses van plantbiotecnologie wêreldwyd in oënskou geneem word en in perspektief geplaas word met betrekking tot voedselproduksie in ontwikkelende lande. Daar sal meermale na die Suid-Afrikaanse situasie verwys word.

DIE ROL VAN PLANTTELING IN VERHOOGDE VOEDSELPRODUKSIE

Plantteling kan 'n belangrike bydrae lewer in die pogings om voedselsekuriteit en volgehoud landbouproduksie te verseker. Volgens Bosemark¹ is daar bepaalde uitdagings wat aan planttelers gestel word: (1) verhoog gewasproduksie en produkgehalte; (2) ontwikkel variëteite met 'n wye aanpassingsvermoë asook variëteite vir lokale, spesifieke omgewings; (3) produseer variëteite wat oor 'n verbeterde vermoë beskik om abiotiese stremmingstoestande te weerstaan en wat gewasinsette beter benut; (4) ontwikkel variëteite met 'n beter bestandheid teen siektes en plae en daarmee saam dus minder afhanklik is van landbouchemiese middels; (5) voorsien gewasse en variëteite met 'n wyer verskeidenheid van eindgebruike.

Die potensiaal vir toename in produksie is meer as 'n dekade gelede deur Boyer⁷ uitgewys. Hy het afg van die belangrikste gewasse in die Verenigde State van Amerika bestudeer en bevind dat gemiddeld slegs 22% van die geskatte opbrengspotensiaal van gewasse realiseer en dat meer as 70% verlore gaan vanweé ongeïdentifiseerde omgewingstremmingsfaktore. Alhoewel hierdie situasie nie noodwendig na gewasproduksie in ontwikkelende

lande geékstrapoleer kan word nie, word aanvaar dat potensielle oesverliese selfs nog hoër in genoemde lande is. Die oplossing van die probleem is egter nie so eenvoudig in ontwikkelende lande nie vanweé die verbouingspraktyke van die groot aantal kleinboere. In hierdie verband is landbou-ontwikkeling in Suidelike Afrika uniek. Aan die een kant is daar ongeveer 62 000 vooruitstrewende boere in die kommersiële boeregemeenskap en aan die ander kant 'n geskatte 1,27 miljoen kleinboere wat in baie gevalle nie eens voldoende voedsel vir hulle eie behoeftes produseer nie.⁸ Daar bestaan 'n persepsie dat die behoeftes van hierdie twee groepe boerderygemeenskappe verskil en dat dit afsonderlik aandag moet kry. Met die tegnologiepakkette van die Groen Rewolusie in gedagte, steek daar baie waarheid in hierdie persepsie. Die vraag is dus of plantbiotecnologie vir sowel klein- as kommersiële boere 'n oplossing kan bied. Alhoewel daar nie 'n eenvoudige antwoord op hierdie vraag is nie, is daar tog 'n uiters belangrike aspek wat sou impliseer dat plantbiotecnologie vir beide groepe van groot waarde kan wees. Dit is naamlik die feit dat alhoewel plantbiotecnologie 'n gesofistikeerde tegnologie is, dit 'n baie tradisionele produk aan boere lewer - en dit is saad of vegetatiewe voortplantingsmateriaal! Die enigste onderskeid wat in die behoeftes van genoemde groepe boere getref kan word, is dat kleinboere 'n aantal tradisionele of inheemse gewasse produseer wat nie deur kommersiële boere geproduseer word nie en afsonderlike strategieë sal dus vir hierdie groep gewasse ontwikkel moet word.

SUKSESSE VAN PLANTBIOTECNOLOGIE

Teen die voorafgaande agtergrond kan daar tereg gevra word watter bydrae plantbiotecnologie reeds in die oplossing van die potensielle krisis gemaak het. Die bydrae van plantbiotecnologie sal onder twee breë terreine van selbiologie (weefselkultuur) en molekulêre biologie (genetiese boukunde) aangebied word.

Selbiologie (Weefselkultuur)

Selbiologie of weefselkultuur is 'n versamelnaam vir 'n aantal tegnieke wat die kweek van selle, weefsel of plantorgane op 'n gedefinieerde kweekmedium onder beheerde en aseptiese toestande behels. In menige gevalle word hierdie tegnologie reeds suksesvol op kommersiële skaal toegepas en 'n beknopte beskrywing hiervan word vervolgens aangebied.

Vinnige vermeerdering in vitro - 'n Groot verskeidenheid plante word reeds deur weefselkultuur vermeerder. Daar word na raming jaarliks meer as 30 miljoen plante in sowel die Europese lande as die Verenigde State van Amerika geproduseer.⁹ Dit is ook reeds standaardpraktyk in talle ander lande, insluitende die ontwikkelende lande.

Uitskakeling van siektes - Meristeemkulture is 'n baie handige metode om virus- en ander siektes in waardevolle genetiese materiaal uit skakel. Dit is veral van toepassing op plante wat vegetatief deur middel van steggies, knolle of bolle vermeerder word. Hierdie tegnieke is goed ge-

vestig in die meeste ontwikkelde lande en ook in meer as 30 van die arm lande van die wêreld, insluitend 'n aantal in Afrika.¹⁰ In Kenia het die toepassing van die tegnologie byvoorbeeld 'n verdubbeling in die produksie van aartappels tot gevolg gehad¹⁰ en in Suid-Afrika word plantverbeteringskemas van patats, aartappels, ornamentale bolplante en verskeie vrugtegewasse deur die tegnologie gerugsteun.

Opbergung en verspreiding van kiemplasma - Effektiewe bewaring en benutting van genetiese hulpbronne is 'n voorvereiste vir 'n voedselvoorsieningstrategie. Genetiese materiaal van 'n groot verskeidenheid gewasse - veral die wat vegetatief voortgeplant word, word in verskeie lande *in vitro* bewaar en ook *in vitro* versprei.¹¹

Embrio-redning - In plantteling word wye kruisings dikwels gebruik om nuwe genetiese eienskappe in 'n bepaalde gewas in te dra. Die probleem is egter dat die kruisings dikwels misluk vanweë die abortering van die embryo's. Met die *in vitro*-kweking van die embryo's word 'n vrugbare nageslag egter wel verkry. Talle voorbeeld van suksesse in gewasse soos grondbone, sojabone, katoen, sonneblomme, boontjies, lusern en ander is gerapporteer.¹²

Stuifmeel- of helmknopkulture - Die gebruik van haploïde plante (plante met slegs een stel chromosome) is 'n algemene benadering in moderne plant-telingsprogramme. Die optimalisering van die tegnologie het byvoorbeeld daar toe geleid dat die produksiekoste van 'n haploïde garslyn vanaf VSA \$ 100 000 in 1973 tot slegs VSA \$ 2 in 1990 afgeneem het.¹³ Hierdie tegnologie het die vrystelling van talle kultivars en teellyne van gewasse soos onder andere mielies, tabak, koring, rys en gars tot gevolg gehad.¹⁴ Teen 1992 is daar byvoorbeeld in Sjina verskeie verbeterde ryskultivars met hoër opbrengste en verbeterde verdraagsaamheid teen ongunstige omgewingstoestande op 0,65 miljoen hektaar gekweek.¹⁵

Protoplassamesmelting - In hoë plante word die vermenging van sitoplasmies-gedraagde eienskappe in geslagtelike kruisings beperk deurdat die chloroplas en mitochondriale genome vroulik oorgeërf word. Geïnduseerde versmelting van protoplaste van twee genetiese verskillende indiwidue en die regenerasie van plante daaruit, skep die geleenthed om vermenging van sitoplasmies-gedraagde eienskappe (dit is eienskappe waarvoor daar in chloroplaste en mitochondria gekodeer word) te bewerkstellig. Hierdie teorie is inderwaarheid in die praktyk beproef en suksesse met die benadering word toenemend gerapporteer. Daar is reeds te veel om almal op te noem, maar sommige van die belangrikste deurbrike sluit in die oordraging van onkruiddoderbestandheid na oliesaadraap,¹⁶ die samesmelting van verskillende aartappelspesies^{17,18} en die versmelting van 'n aartappelspesie (*Solanum rickii*) met 'n tamatiespesie (*Lycopersicon esculentum*),¹⁹ die versmelting van verskillende sitrussoorte met mekaar,²⁰ en die versmelting van verskillende tabakspesies.^{21,22}

Kallus en selsuspensiekulture - 'n Onverwagte verskynsel het in plantweefselkulture voorgekom, naamlik dat genetiese variasie dikwels waargeneem is tussen plante wat vanuit dieselfde moedermateriaal geregenereer is. Hierdie variasie is somaklonale variasie genoem en kon in sommige gevalle nuttig gebruik word om nuwe teellyne en kultivars te skep.¹⁴ Mielies, tamaties, tabak, lusern, sor-

ghum en oliesaadraap is almal gewasse waar hierdie tegnologie suksesvol toegepas is.

Molekulêre Biologie (Genetiese Boukunde)

Die ontwikkelings in molekulêre biologie het sy toepassing in twee hoofstrome gevind, naamlik die benutting van genetiese merkers (en daarmee saam die diagnostiese toepassings) en die direkte oordraging van gene van agronomiese belang.

Genetiese merkers - In konvensionele plantteling het planttellers vir dekades lank beter gewasse geselekteer, hoofsaaklik op grond van die fenotipiese eienskappe van die plante. Dit het eienskappe soos opbrengs, siekte- en plaagbestandheid, voorkoms, smaak en dies meer ingesluit. Belangrike eienskappe soos opbrengs en kwaliteit staan onder komplekse genetiese beheer (multigeniese eienskappe) en aangesien die omgewing 'n belangrike rol in die uitdrukking van 'n plant se genetiese eienskappe speel, kon die plante se werklike genetiese potensiaal nie altyd bepaal word nie. Telers het mettertyd chromosoomkaarte saamgestel op grond van sekere morfologiese merkers. Hierdie morfologiese merkers kon direk teruggelei word na 'n spesifieke eienskap en alhoewel dit 'n handige hulpmiddel was, het dit steeds nie die genotipiese eienskappe van die plante geopenbaar nie. Biotecnologiese tegnieke stel telers egter nou in staat om werklik die genotipes te ontleen en hierdie nuwe generasie merkers staan kollektief as molekulêre merkers bekend. Aanvanklik is daar van merkers gebruik gemaak wat totale proteïen- of spesifieke proteïen (isoënsiem) profiele verskaf het. Hierdie profiele is gebruik om tussen verskillende genetiese lyne van 'n spesifieke gewas te onderskei, maar in sommige gevalle was dit ook gekoppel aan 'n spesifieke geen van ekonomiese belang. So is die suurfosfatase-profiel in tamaties 'n aanduiding van die teenwoordigheid van die *Mi*-geen vir aalwurm-bestandheid.²³ Tans vind die gebruik van isoënsiem-profiële egter sy grootste ekonomiese toepassing in die bepaling van saadlotsuiwerheid wat óf deur die groot saadmaatskappy self gedoen word, óf deur biotecnologiese maatskappy wat in hierdie dienste spesialiseer.

Die gebruik van sogenaamde DNS-merkers het reeds 'n revolusie in plantteling tot gevolg. Die algemeenste merkers staan as Restriksiefragmentlengte-polimorfismes (RFLP's) en Ewerkansig Versterkte Polimorfiese DNS'e ("Randomly Amplified Polymorphic DNA's") (RAPD's) bekend en beide word op groot skaal gebruik om plantgenome te karakteriseer. Die merkers word gebruik om die genoom van 'n organisme te karteer en merkers wat digby 'n geen op die genoom voorkom, kan dan gebruik word as 'n merker vir die spesifieke geen. RFLP-koppelingskaarte is reeds vir 'n groot aantal organismes gegenereer.²⁴ Hoëdigtheid-RFLP-koppelingskaarte is dus veral nuttig in die klonering van 'n gewenste geen en vir merkergebaseerde seleksie van gewenste eienskappe in konvensionele plantteelt-programme. Die hoëdigtheid-RFLP-koppelingskaarte maak dit nou vir die eerste keer moontlik om loci betrokke by kwantitatiewe eienskappe op te spoor en te karakteriseer.²⁵

Ter illustrasie van die toepassing van die moontlikhede

waarna in die voorafgaande paragraaf verwys is, word die werk van Tanksley en sy medewerkers²⁶ op tamaties en aartappels voorgehou. Nie minder nie as 1030 molekulêre merkers is reeds in tamaties gekarteer - gemiddeld elke 1,2 cM (eenheid vir afstand op 'n chromosoomkaart) en dit is dus die gewas met die hoogste digtheid molekulêre kaart. Hierdie digtheid maak dit waarskynlik dat enige geen van belang slegs 'n paar kaartenehede vanaf ten minste een merker sal wees. Gene van ekonomiese belang kan dus met nougekoppelde merkers geassosieer word en sodoende kan daar vir die eienskappe met behulp van molekulêre merkers in teelprogramme geselekteer word. Daar is reeds 15 ekonomiese belangrike gene op hierdie wyse met merkers in tamaties geassosieer.²⁶ Dieselfde situasie geld ook reeds vir aartappels. 'n Verdere 300 RFLP-merkers is ook nog deur Gebhardt en haar medewerkers²⁷ op die aartappelgenoomkaart aangebring. Daar is min twyfel dat hierdie ontwikkeling in die toekoms sal lei tot die versnelling van konvensionele teelprogramme en die isolasie en oordraging van ekonomiese belangrike gene.

Geenoordraging - Die ontwikkelings op die gebied van die transformasie van plante en die oordraging van gene het teen 'n verstommende tempo geskied. Die eerste transgeniese plante is in 1983 in laboratoriums in België en die Verenigde State van Amerika verkry. Dit was tabakplante waarin 'n geen wat vir Kanamisien kodeer,

TABEL 1 Lys van sommige bekende plantspesies waarin die oordraging van gene reeds suksesvol gedemonstreer is			
Aarbeie	Grondbone	Murgpampoen	Rooibosbessie
Aartappel	Hawer	Okkerneut	Rys
Appel	Kakaoboon	Oliepalm	Selery
Aspersie	Katoen	Oliesaadraap	Sigorei
Berkehout	Kiwivrug	Papaja	Sojaboon
Blomkool	Koffie	Patats	Sonneblom
Brokkoli	Komkommer	Peper	Spanspek
Druwe	Kopkool	Peperwortel	Sparden
Duferte	Koring	Petunia	Suikerbeet
Eiervrug	Krisante	Piesang	Suikerriet
Ertjies	Kropslaai	Populierhout	Tabak
Framboos	Lensies	Pruim	Tamatie
Geelwortels	Lusern	Rog	Tee
Groenbone	Mielies	Rose	Vlas
		31 spesies	Totaal = 675

ingevoer is en veldproewe op hierdie plante het in 1986 begin. Aanvanklik het navorsers op die tegnieke vir geenoordraging gekonsentreer en dit was veral die eensaadlobbige plante wat probleme gelewer het. Tans word gene hoofsaaklik met behulp van *Agrobacterium tumefaciens* na tweesaadlobbige plante oorgedra, terwyl die sogenaaarde biolistiese tegnieke vir eensaadlobbige gebruik word. Tegnieke vir geenoordraging is nou reeds vir 'n groot verskeidenheid plante ontwikkel, insluitende die meeste van die belangrike voedselgewasse van die wêreld (tabel 1). Die grootste beperking op plantbiotecnologie is nou om die regte gene vir oordraging te bekom. Aanvanklik is meesal van gene uit bakterieë gebruik gemaak, maar gene vir meer komplekse eienskappe moet nou gevind word.

TABEL 2 Aantal goedgekeurde veldproewe vir transgeniese plante - einde-1992-opname ²⁹		
Gewas	Getal vrystellings	Eerste jaar
Lusern	23	88
Apel	1	91
Aspersies	1	88
Berkehout	3	90
Blomkool	2	90
Brassica sp	1	91
Sigorei	2	91
Krisante	2	91
Katoen	30	89
Komkommer	3	89
Vlas	10	88
Gerbera	2	92
Kiwivrug	1	91
Kopslaai	3	89
Mielies	63	90
Spanspek	9	90
Oliesaadraap	122	87
Papaja	1	92
Petunia	3	90
Pruim	1	92
Populierhout	10	88
Aartappel	134	87
Rys	5	90
Rooibosbessie	1	92
Sojaboon	27	89
Murgpampoen	5	90
Suikerbeet	34	89
Sonneblom	2	91
Tabak	96	86
Tamatie	76	87
Okkerneut	2	90

Alhoewel meer as 50 plantspesies reeds geneties getransformeer is, is transgeniese plante van slegs 31 spesies onder veldtoestande getoets.^{28,29} 'n Snelle toename in die getal transgeniese veldproewe kan waargeneem word met nege veldproewe in 1987 teenoor die 675 aan die einde van 1992. Dit is te betwyfel of hierdie opnames al die proewe insluit. Goy en sy medewerkers²⁹ lys proewe in 28 lande terwyl Beck en Ulrich³⁰ slegs 14 lande lys. Nie een van die opnames het die proewe in Suid-Afrika gemeld nie en sodanige proewe het reeds in 1990 in Suid-Afrika begin. Voorts blyk dit dat die kommersialisering van transgeniese plante reeds ver gevorder het in 'n land soos Sjina. Transgeniese tabak bestand teen tabakmosaïekvirus (TMV) word reeds op 500 hektaar grond geplant.³¹ Alhoewel die opnames nie ooreenkom nie bly die tendense dieselfde. Die resultate van die omvattendste opname word in tabel 2 opgesom. Hieruit blyk duidelik dat dit die meeste proewe op gewasse soos aartappels, oliesaadraap, tabak, tamaties en mielies uitgevoer word.

Die gene wat na die gewasse oorgedra is, kan hoofsaaklik in vyf groepe ingedeel word, naamlik virusbestandheid,

TABEL 3 Samevatting van die algemeenste eienskappe wat na transgeniese plante oorgedra is en vanaf 1986-1992 in die veld getoets is²⁹			
Aard van die geen	Teikengroep	Getal gewasse	Getal veld-proewe
Onkruiddoderbestandheid	Glufosinaat	11	121
Onkruiddoderbestandheid	Glufosaat	9	63
Onkruiddoderbestandheid	Sulfonielureas	10	28
Insekbestandheid	Bt-toksien	10	75
Virusbestandheid	Aartappelvirusse	1	40
Virusbestandheid	Tamatievirusse	1	15
Produkgehalteverbetering	Manlike sterilitet	6	39
Produkgehalteverbetering	Saadbergingsproteiene	5	15
Merkergene	Kanamisien-bestandheid	9	43

onkruiddoderbestandheid, insekbestandheid, gehalteverbetering en merkergene. 'n Samevatting van die algemeenste transgeniese eienskappe word in tabel 3 gegee. Die eerste transgeniese plante wat kommersieel beskikbaar gestel gaan word, is die sogenaamde FLAVR SAVR® tamaties van Calgene wat oor die eienskap van 'n verlengde raklewe beskik.³² Na verwagting sal dit spoedig gevvolg word deur onkruiddoderbestande katoen (Calsgene), virusbestande murgpampoen (Asgrow/Upjohn) en onkruiddoderbestande sojabone (Monsanto).³²

Veldproewe op transgeniese plante word reeds sedert 1990 in Suid-Afrika uitgevoer. Die proewe word deur buitelandse maatskappye soos Calgene, Delta & Pinelands en Hoechst op katoen (bolwurm- en onkruiddoderbestandheid), oliesaadraap, lusern en mielies (onkruiddoderbestandheid) gedoen terwyl die Landbounavorsingsraad onkruiddoderbestande aarbeie toets. Verskeie nuwe aansoeke vir transgeniese veldproewe van plaaslike instellings, veral die Landbounavorsingsraad, word in 1995 verwag.

GEVOLGTREKKING

Uit die voorafgaande bespreking blyk dit duidelik dat uitstekende vordering met die toepassing van plantbiotecnologie in die gewasproduksie gemaak is. Hierdie ontwikkelings sal landbou in die ontwikkelde lande asook in ontwikkelende lande bevorder. Bo en behalwe die verwagte toename in produksie kan die tegnologie 'n daadwerklike bydrae lewer tot die verlaging in insetkostes, veral in gevalle waar die gebruik van landbou chemiese middels minder nodig sou word. Die werklike waarde van plantbiotecnologie vir landbou in die ontwikkelende lande sal egter eers teen die einde van die eeu bepaal kan word.

SUMMARY

The world is facing major problems with regard to food production. Agricultural land suffers from various conditions which make it less efficient for crop production while the rapid population growth, especially in developing countries, raises concern for sustainable food production.

Agricultural scientist have succeeded in curbing a world wide famine. Although the use of fertilizers, pest and disease control chemicals and improved production technology contributed to this, it was plant breeding which made the greatest impact. This was the period of the Green Revolution and resulted, for instance, in a 25% increase in agricultural production from 1972 to 1982. In developing countries this growth amounted to 18% while the agricultural production increased by 33% for the same period in industrial countries.³

It is expected that the current world population of 5,2 billion will increase to 6 billion in the year 2000 and 11 billion in the year 2050. The technology of the Green Revolution will no longer be able to sustain the level of food production needed to feed these billions.⁵ It is furthermore expected that 90% of these people will be living in developing countries.²

The Green Revolution has failed to secure sustainable food production, partly because of the pollution problems that accompanied it and the narrow genetic basis of the major food crops of the world. It is hoped that biotechnology will facilitate the transition to more sustainable agriculture.

Plant breeding can play a major role in efforts to bring about food stability and sustainable agricultural production. The potential increase in production was pointed out by Boyer⁷ more than a decade ago. A study of the eight most important crops in the United States of America indicated that on average only 22% of the estimated yield potential was realised and that more than 70% was lost due to unidentified environmental stress factors.

Agriculture in South Africa is characterised by 62 000 commercial farmers on the one hand and 1,27 million small and resource-poor farmers on the other hand.⁸ There is an awareness that the needs of these two groups of farmers differ. This may well be true with regard to the availability of the technologies of the Green Revolution. The question is therefore whether plant biotechnology can solve the problems of commercial and small farmers alike. An important advantage of plant biotechnology is that the sophisticated technology is supplied to the farmer in a very traditional package - and that is the seed!

Excellent progress has been made with both Cell Biology (tissue culture) and Molecular Biology (genetic engineering). Rapid in vitro propagation and disease elimination through meristem culture has become common practice, even in many developing countries. In Kenya, for example, it brought about a doubling of the potato crop.¹⁰ Other techniques such as germplasm storage and conservation, embryo rescue, the production of haploid plants through pollen and anther culture, protoplast fusion and callus and cell suspension cultures are currently all being applied with varying measures of success. The progress which has been made is remarkable. Optimisation of the technology has decreased the production cost of a single haploid barley line from US\$ 100 000 in 1973 to a mere US\$ 2 in 1990.¹³

Developments in molecular biology followed two main routes, which were the development of genetic markers and direct gene transfer. Various approaches to genetic markers have been developed and isozymes, Randomly

Amplified Polymorphic Markers (RAPD'S), Restriction Fragment Length Polymorphisms (RFLP's) and others are all being used in commercial plant breeding programmes with considerable success. At the same time the creation of high density RFLP linkage maps make it possible to associate genes of economic interest with closely linked markers on the chromosome.^{26,27} There is little doubt that these developments will enhance conventional plant breeding programmes in future.

The first transgenic plants (plants with foreign genes inserted through molecular biology techniques) were developed in 1983 and a little more than a decade later, hundreds of field trials are being conducted with various transgenic crops boasting a variety of inserted genes. More than 50 plant species have been transformed of which 31 were in field trials by the end of 1992. The genes that were transferred were mainly those which conferred resistance to viral diseases, herbicide resistance, insect resistance, improved quality and marker genes. In South Africa field trials of transgenic plants have been conducted since 1990 on insect resistant cotton, herbicide tolerant cotton, oil seed rape, maize, alfalfa and strawberries.

In conclusion excellent progress has been made with the application of plant biotechnology in agricultural development. The developments will benefit farmers in both developed and developing countries. Apart from the expected increase in production the technology can also contribute to a decrease in input costs through savings on pest and disease control measures.

LITERATUURVERWYSINGS

1. Bosemark, N.O. (1993). The need for a comprehensive plant breeding strategy. In *Plant Breeding: Principles and prospects*, Hayward, M.D., Bosemark, M.O. & Romagosa, I. eds. (Chapman & Hall, London) p. 525-533.
2. Barfoot, P.D. (1993). Plant molecular biology for developing countries: a project to develop insect resistant potatoes and sweet potatoes, *AgBiotech News and Information*, 5(11), 397N-402N.
3. Avery, D. (1985). U.S. farm dilemma: the global bad news is wrong, *Science*, 230, 408-412.
4. FAO. (1988). *World Agriculture : Toward 2000*. An FAO Study. Alexandratos, N. ed. (New York University Press, New York).
5. Freeman, O.L. (1990). Meeting the food needs of the coming decade, *The Futurist*, Nov.-Dec. 1990, 15-20.
6. Ferreira, D.I. (1991). Biotecnologie - 'n Nuwe benadering in planteteling, *S.A. Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie*, 10(1), 18-25.
7. Boyer, J.S. (1982). Plant productivity and environment, *Science*, 218, 443-448.
8. Bembridge, T.J. (1990). Agricultural development in the developing areas of Southern Africa, *Africa Insight*, 20(1), 17-24.
9. Rice, R.D., Alderson, P.G., Hall, J.F. & Ranchod, A. (1992). Micropropagation: Principles and Commercial Practice. In *Plant Biotechnology: Comprehensive Biotechnology Second Supplement*, Moo-Young, M., Fowler, M.W. & Warren, G.S. eds. (Pergamon Press, Oxford) p. 129-149.
10. Ahmed, I. (1991). Will biotechnology alleviate poverty? In *Sustainable Agricultural Development: The role on International Cooperation*, Peters, G.H. & Stanton, B.F. eds. (Dartmouth, University of Oxford) p. 573-588.
11. Grout, B.W.W. (1990). Genetic preservation *in vitro*. In *Progress in Plant Cellular and Molecular Biology*. Nijkamp, H.J.J., Van der Plas, L.H.W. & Van Aartrijk, J. eds. Proceedings of the VII th International Congress on Plant Tissue and Cell Culture, Amsterdam (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht) p. 13-22.
12. Bajaj, Y.P.S. (1990). Wide hybridization in legumes and oilseed crops through embryo, ovule and ovary culture. In *Biotechnology in Agriculture and Forestry, vol. 10. Legumes and Oilseed Crops I*. Bajaj, Y.P.S. ed. (Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg) p. 3-37.
13. Wenzel, G., Graner, A., Fadel, F., Zitzlsperger, F. & Foroughi-Wehr, B. (1992). Production and use of haploids in crop improvement. In *Biotechnology and Crop Improvement in Asia*. Moss, J.P. ed. (ICRISAT, Pantancheru, India) p. 169-179.
14. Tomes, D.T. (1990). Current research in Biotechnology with application to plant breeding. In *Progress in Plant Cellular and Molecular Biology*. Proceedings of the VII th International Congress on Plant Tissue and Cell Culture. Nijkamp, H.J.J., Van der Plas, L.H.W. & Van Aartrijk, J. eds. (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht) p. 23-32.
15. Jia, S.-R. (1992). Proposed priority areas of plant biotechnology research and development in China. In *Biotechnology and Crop Improvement in Asia*, Moss, J.P. ed. (ICRISAT, Pantancheru, India) p. 35 - 40.
16. Beversdorf, W.D., Weiss-Lerman, J., Erickson, L.R. & Souza-Machado, V. (1980). Transfer of cytoplasmically inherited triazine resistance from birds-rape to cultivated oilseed rape (*B.campestris* and *B.napus*), *Can. J. Genet. Cytol*, 22, 167-172.
17. Kemble, R.J., Barsby, T.L., Wong, R.S.C. & Shepard, J.F. (1986). Mitochondrial DNA arrangements in somatic hybrids of *Solanum tuberosum* with *Solanum brevidens*, *Theor. Appl. Genet.*, 72, 787-793
18. Binding, H., Jain, S.M., Finger, J., Mordhorst, G., Nehls, R. & Gressel, J. (1982). Somatic hybridization of an atrazine biotype of *Solanum nigrum* with *Solanum tuberosum*. Part 1. Clonal variation in morphology and atrazine sensitivity, *Theor. Appl. Genet.*, 63, 273-277.
19. O'Connell, M.A. & Hanson, M.R. (1986). Regeneration of somatic hybrid plants formed between *Lycopersicon esculentum* and *Solanum rickii*, *Theor. Appl. Genet.*, 72, 59-65.
20. Grmitter, F.G., Grosser, J.W. & Moore, G.A. (1992). Citrus. In *Biotechnology of Perennial Fruit Crops*. Hammerschlag, F.A. & Litz, R.E. eds. (CAB International, Wallingford) p. 335-369.
21. Kumashiro, T., Asahi, T. & Komari, T. (1988). A new source of cytoplasmic male-sterile tobacco obtained by fusion between *N. tabacum* and X-irradiated *N. africana* protoplasts, *Plant Sci.*, 55, 247-254.
22. Kumashiro, T., Asahi, T. & Nakakido, F. (1989). Transfer of cytoplasmic factors by asymmetric fusion from cross-incompatible species *Nicotiana repanda* to *N. tabacum* and characterization of cytoplasmic genomes, *Plant Sci.*, 61, 137-144.
23. Tanksley, S.D., Young, N.D., Paterson, A.H. & Bonierbale, M.W. (1989). RFLP mapping in plant breeding: new tools for an old science, *BioTechnology*, 7, 257-264.
24. O'Brien, S.J. (1990). *Genetic Maps: Locus Maps of Complex Genomes* (Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor).
25. Lander, E.S. & Botstein, D. (1989). Mapping Mendelian factors underlying quantitative traits using RFLP linkage maps, *Genetics*, 121, 185-199.
26. Tanksley, S.D., Ganal, M.W., Prince, J.P., De Vicente, M.C., Bonierbale, M.W., Broun, P., Fulton, T.M., Giovannoni, J.J., Grandillo, S., Martin, G.B., Messeguer, R., Miller, J.C., Miller, L., Paterson, A.H., Pineda, O., Roeder, M.S., Wing, R.A., Wu, W. & Young, N.D. (1992). High Density Molecular Linkage Maps of the Tomato and Potato Genomes, *Genetics*, 132, 1141-1160.
27. Gebhardt, C., Ritter, E., Barone, A., Debener, T., Walkemeier, B., Schachtschabel, U., Kaufman, H., Thompson, R.D., Bonierbale, M.W., Ganal, M.W., Tanksley, S.D. & Salamini, F. (1991). RFLP maps of potato and their alignment with the homoeologous tomato genome, *Theor. Appl. Genet.*, 83, 49-57.
28. Chassery, E. & Duesing, J. (1992). Field trials of transgenic plants: an overview, *Agro Food Industry Hi-Tech*, 3, 5-10.
29. Goy, P.A., Chassery, E. & Duesing, J. (1994). Field trials of transgenic plants: an overview, *Agro Food Industry Hi-Tech*, 5, 10-15.
30. Beck, C.I. & Ulrich, T.H. (1993). Environmental Release Permits. Valuable tools for predicting food crop developments, *BioTechnology*, 11, 1524-1528.
31. Chen, Z. & Gu, H. (1993). Plant biotechnology in China, *Science*, 262, 377-378.
32. Van Wert, S. (1993). Risk assessment of transgenic maize and tobacco in the United States. In *Proceedings of the African Regional Conference on Safety in Biotechnology*, Van der Meer, P.J., Schenkelaars, P., Visser, B. & Zwangobani, E. eds. (MEBO Environmental Consultancy, Voorschoten, The Netherlands) p. 93-96.