



高通量植物表型-基因型育种平台

建设方案



建设单位: 上海泽泉科技股份有限公司

日期: 2016年7月11日(第一稿)

销售经理: xxx 电子邮件: xxx@zealquest.com 手机:

项目主管: xxx 电子邮件: xxx@zealquest.com 手机:

公司总部地址:

上海市 金沙江路 1038 号 华东师大科技园 2 号楼 8 层 (邮编: 200062)

电话: 021-3255 5118 传真: 021-3255 5117

目录

1	前言	3
1.1	关于泽泉.....	3
1.2	植物表型-基因型平台方案概述	4
1.3	国际植物表型-基因型育种平台	7
1.4	代表用户信息.....	13
2	全自动高通量植物表型平台.....	21
2.1	植物表型组学与作物育种.....	21
2.2	高通量植物表型平台的应用实例.....	24
	植物表型平台总体介绍.....	35
2.3	植物表型平台建设的基本要求.....	42
2.4	植物表型平台的硬件设计	61
2.5	植物表型平台的信息管理系统.....	95
2.6	植物表型平台的软件设计.....	97
2.7	高通量植物表型平台的定制化设计	111
3	高通量采样平台	139
3.1	高通量植物样品智能采集系统 SAS	139
3.2	田间高通量采样平台.....	140
3.3	室内高通量采样平台.....	142
4	高通量基因测序平台.....	143
4.1	高通量测序平台介绍.....	144
4.2	高通量分子标记平台.....	145
4.3	测序平台的应用.....	147
4.4	生物信息学在高通量测序中的应用.....	153
5	表型组-转录组-基因组数据分析平台.....	155
5.1	基因组重测序分析.....	155
5.2	从头测序 (De novo sequencing)	156
5.3	转录组测序 (RNA-Seq)	157
5.4	外显子捕获测序 (exon-capture sequencing)	158
5.5	基因组重测序数据及表型关联分析.....	160
6	人工气候室平台	165
6.1	进口成套植物生长室.....	165
7	植物生理生态平台.....	167
7.1	平台建设框架.....	167
7.2	平台建设所需设备一览表.....	176

1 前言

1.1 关于泽泉

上海泽泉科技股份有限公司（Zealquest Scientific Technology Co., Ltd.）成立于 2000 年，是一家专注于高端科研设备研发、系统集成、技术推广、咨询、销售和服务的高新技术企业。公司注册资金 3500 万元人民币，具有进出口贸易权。

公司总部位于上海，在北京设有分公司，在广州、成都分别设有代表处。公司群体员工均具有高等教育背景，其中 80% 的技术研发、技术支持和销售人员具有硕士和博士学位，参加过很多

国家和省部级重大科研项目，具有丰富的科研工作经验。上海泽泉科技股份有限公司是上海市高新技术企业、上海市普陀区科技小巨人企业、上海市科技型企业、中华全国工商联合会/上海市工商联合会/上海市商会会员单位，还是上海市专业技术服务平台——生理生态测量与分析平台的依托单位和上海市高新技术成果转化项目承担单位，上海市生态学会常务理事单位。公司通过了 ISO9001: 2008 质量管理体系认证，并具有 AAA 级信用资质等级。

公司非常注重自主知识产权的申报和保护，截止 2015 年底已获得授权专利和软件著作权 43 项，并在国内外发表科研论文 20 多篇。公司还参与承担了国家自然科学基金重点项目(41030529)和水利部 948 项目（200907）。

公司秉承推进中国生态环境改善、农业兴国的理念，服务涉及植物表型组学和基因组学、植物生理生态、土壤、环境气象、水文水利等领域的科研和技术支持，服务对象主要为各级科研单位、高校和政府机构。公司先后为科技部“973”项目和“863”项目、国家科技重大专项、国家科技支撑计划、国家“211”工程和“985”工程、中科院知识创新工程、农业部“948”项目、水利部“948”项目等提供技术咨询、仪器设备、系统解决方案和系统集成服务，为项目的顺利完成提供了有力支持。

多年来，公司积极参与相关领域的学术会议，并定期举办相关仪器设备的技术讲座和培训班，在科研和监测领域产生了积极的反响，获得了良好的口碑。截止 2015 年底，泽泉科技举办公开



技术讲座 173 场，参会人员超过 6600 人次；同时在国内外应邀参加学术会议和展会 110 次，与相关领域的客户有非常密切的交流合作。

2014 年 3 月，上海泽泉科技股份有限公司在浦东孙桥现代农业园区投资建设了 AgriPheno™ 开放式科研平台，是国内第一家为植物科研和育种提供高通量植物基因型-表型分析服务的平台，全面提供植物生长、生理生态、基因型与表型分析服务。曾成功主持了上海张江国家自主创新示范区专项发展资金重点项目“泽泉科技高通量植物基因型-表型-育种服务平台”，作为主持单位或合作单位参与了上海市农委的多个科研项目，如科技兴农种业发展项目“农作物分子育种的技术创新研究”和“青菜高通量表型图谱标准的建立及主要性状分析”、科技兴农重点攻关项目“基于图像分析及三维建模技术的黄瓜长势快速评价方法研究”等。

1.2 植物表型-基因型平台方案概述

在现代农业生物技术领域，发现并利用作物间的遗传差异一直是作物育种的重要手段。过去，人们依靠传统育种方法获取作物新品种，其根据选择的特性确定植物亲本，然后通过杂交、回交或者直系筛选程序来完成。传统育种方法存在着极大的盲目性、经验性、不确定因素和长周期的问题。目前，全世界的遗传育种趋向以分子标记作为作物种质资源或育种系中发现遗传差异的新手法。过去 30 年中，科学家们已经在若干重要农作物中发现了许多分子标记，并将这些分子标记应用在构建高密度永久分子遗传物理图谱，以及标记辅助选育（marker-assisted）新基因或 QTL 识别的工作。

我国现有的作物育种方式主要有系统育种、杂交育种、诱变育种、分子标记辅助育种等。在系统育种中品系的比较，杂交育种中亲本和杂交方式的选择，以及诱变育种中突变体的筛选，都需要依据作物的农艺性状来人工进行选择。而现在发展飞速的分子标记辅助育种中，关于数量性状 QTL 的标定，也是要依托大量的植物表型性状数据来处理分析的。在作物生产种植当中，株型以及群体表型性状的分析能够指导作物种植，是作物高产的保障。由此可知，作物表型在育种工作中不可或缺，它和基因组学将整合并共同服务于作物育种工作也是大势所趋。

青稞，为大麦的一个变种，是青藏高原农牧民的主要粮食和牲畜饲料。在青藏高原长期的自然选择和人工驯化下，行程了对高原复杂地理、气候环境良好的适应性，是作物改良的重要遗传资源。目前其基因组草图已由西藏农牧科学院、中国科学院成都生物研究所和华大基因共同绘制完毕。通过对来自青藏高原的 5 份野生大麦和 5 份栽培品种进行重测序，也发现了大量的 SNP 位点和插入缺失突变。如何利用该基因组图谱为青稞基因挖掘、重要性状分子模块解析、品种改

良，也是下一步的研究重点。

此外，转录组，也就是细胞中基因转录的情况以及转录调控规律，直接影响到植物的外在表型。一般认为植物的表型组数据属于可观察的外表型，植物转录组数据可以理解为内表型。决定外表型和内表型特征的主要是基因组背景、表观遗传学特征、生理生长环境等等综合因素。结合基因组的数据、转录组的数据以及表型组数据，能系统化的研究导致植物生理生长特性的各个因素，从而为分子育种提供理论依据，数据基础。

因此本方案的目的：

通过建立高通量植物表型-基因型平台，高通量的获取作物表型组学、基因组学和转录组学数据，结合代谢组学和蛋白组学的的数据，进行关联分析，从而达到现代遗传育种之目的（图 1-1）。

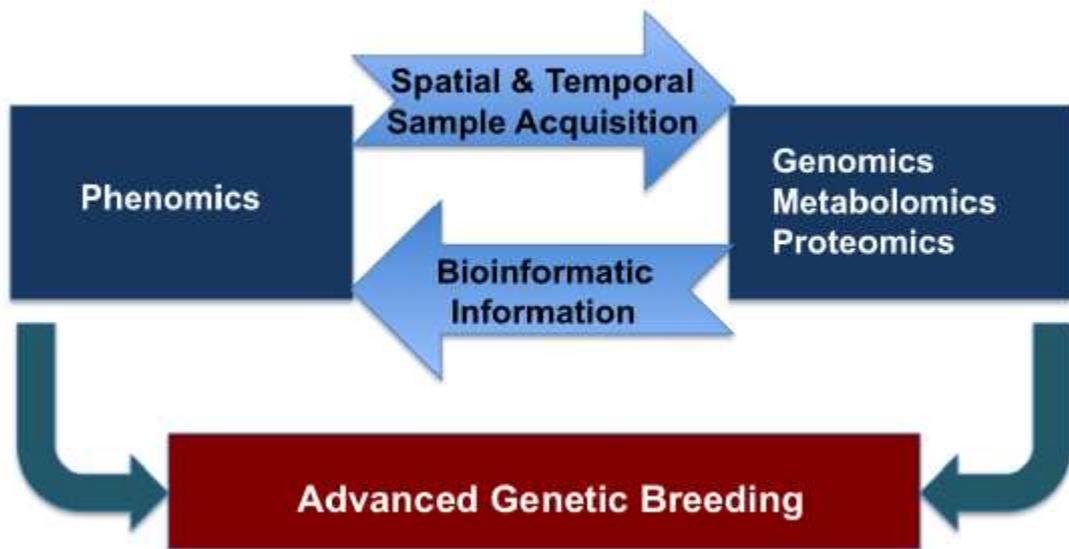


图 1-1 现代平台型育种系统的架构

为实现本方案之目的，我们提供如下产品和服务：

- **全自动高通量植物表型平台**，用于全自动、高通量获取植物三维形态学信息和部分生理学信息；
- **高通量采样平台**，田间或实验室内高通量采集植物叶圆片。
- **高通量测序平台**，用于快速获取植物基因组学和转录组学信息；
- **基因组-转录组-表型组数据关联分析平台**，用于对获取的基因组、转录组和表型组数据

进行分析，指导遗传育种；

- **全自动人工气候室平台**，用于精确控制各种环境条件（模拟自然正常条件和胁迫条件），提供植物正常生长或胁迫处理所需的各种环境因素，特别是提供全自动高通量植物表型平台的安装空间；
- **植物生理生态测量平台**，用于测量培育出的新品种在田间和温室/气候室中的各种生理生态指标，进行品质鉴定和品种审定。

1.3 国际植物表型-基因型育种平台

1.3.1 高通量植物表型-基因型育种平台 AgriPheno

AgriPheno 平台是由上海泽泉科技股份有限公司投资建设的开放式高通量植物基因型-表型-育种服务平台 (High Throughput Plant Genotyping-Phenotyping-Breeding Service Platform)。

AgriPheno 平台位于上海市浦东新区孙桥现代农业园区，是国内第一家定位于为植物科研和育种提供高通量植物基因型测试、高通量植物表型测试和植物基因型-表型数据分析等服务平台。

拥有占地面积 4400m² 的荷兰现代化温室，建有智能化人工气候室以及 Conviron 大型步入式培养箱，以保证客户样品的栽培条件。同时建有 400m² 分子生物学实验室、国际上最先进的德国 LemnaTec 高通量 Scanalyzer 3D、HTS、PL 植物表型平台、植物生理生态测量平台、荷兰 Priva 温室精准灌溉系统和专业的数据库平台，以全面提供植物生长、生理生态、基因型与表型分析服务。曾成功参与了上海市农委的“小青菜高通量表型图谱标准的建立及主要性状分析”、上海市科委的“泽泉科技高通量植物基因型-表型-育种服务平台”等重点科研项目。

特别是自 2015 年 5 月自贸区挂牌成立以来，国家农业发展战略上旨在将孙桥农业示范区打造为“国家现代农业科技创新中心”，将在未来农业政策引导，项目资金上给予极大的支持。“国家现代农业科创中心”将充分发挥上海在资金、人才、技术、区位、市场等方面的优势和特色，以国际标准引进和培育国内外农业龙头企业，迅速形成现代农业技术和经济高地。我们作为园区内，也是上海市唯一的高科技农业育种服务公司，有着巨大的发展空间和潜力，并受到了园区在工作上的极大肯定和支持。



图 1-2 高通量植物基因型-表型-育种服务平台 AgriPheno



图 1-3 在研杨树项目



图 1-4 在研番茄项目

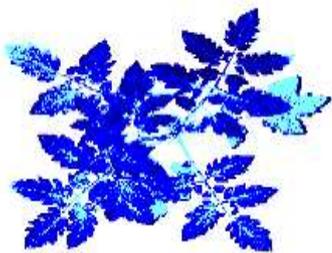


图 1-5 在研番茄项目



图 1-6 在研番茄项目

同时，AgriPheno™ 以 SPAC 系统（土壤-植物-大气连续体）为研究对象，研发了同时适用于田间和温室的物联网监测平台 AgriPheno™ Cloud，首次提出了农业云物联网监测平台的概念，该平台的物联网系统，综合考虑了植物在温室和田间的生态环境因素，将应用于植物生长建模、现

代遗传育种，以及精准农业的研究等。

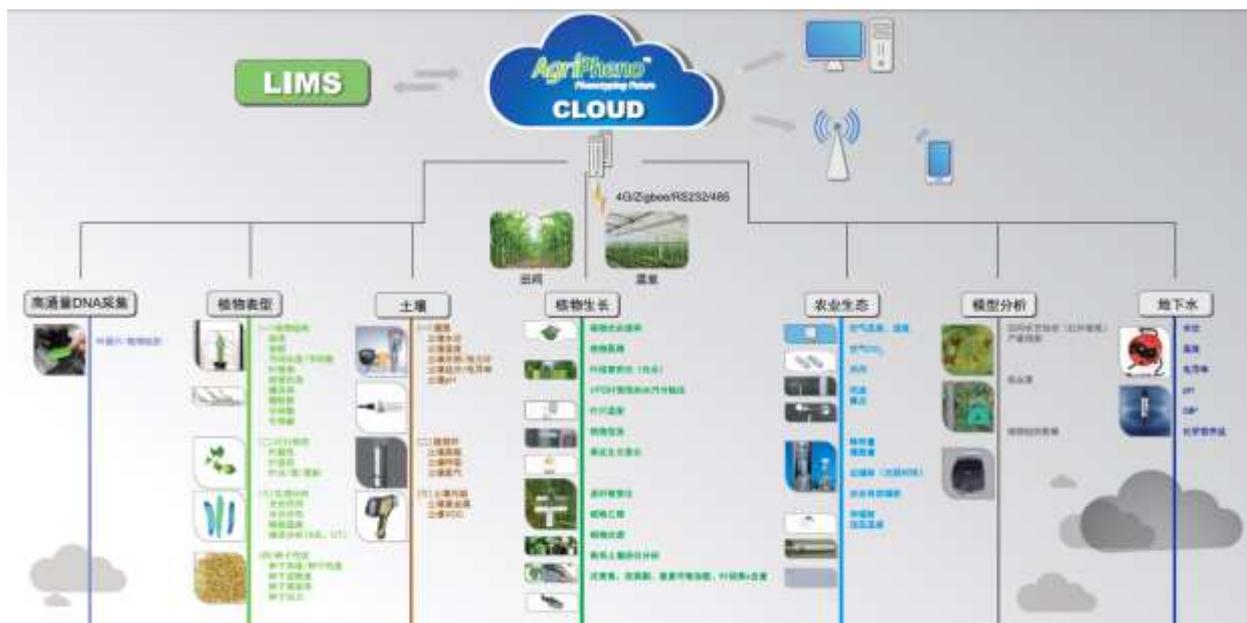


图 1-7 农业云物联网监测平台 AgriPheno™ Cloud

1.3.2 KeyGene 的植物表型-基因型平台

位于荷兰瓦赫宁根的 KeyGene 公司，是一家专注于分子遗传改良的农业公司，也是欧盟最大的农业生物科技公司，其提出的 6F 作物改良（Food, Feed, Fiber, Fuel, Flowers & Fun crops）在国际育种界产生了广泛影响。KeyGene 有 140 多位全职科学家，在国际遗传学界提出了许多开创性的技术。从 2008 年开始采用 Scanalyzer 3D 表型平台。在此基础上，KeyGene 与 LemnaTec 合作，共同建立了欧洲第一个公开的高通量植物表型平台 PhenoFab。

目前 KeyGene 的植物表型平台的工作流程如图 1-8 所示，将经过突变处理或分子改良的植株放到植物表型平台 PhenoFab 上进行培养和表型测量，找到具有显著性状改良的植株，进一步进行研究，并逐步培育出新品种进行商业推广。

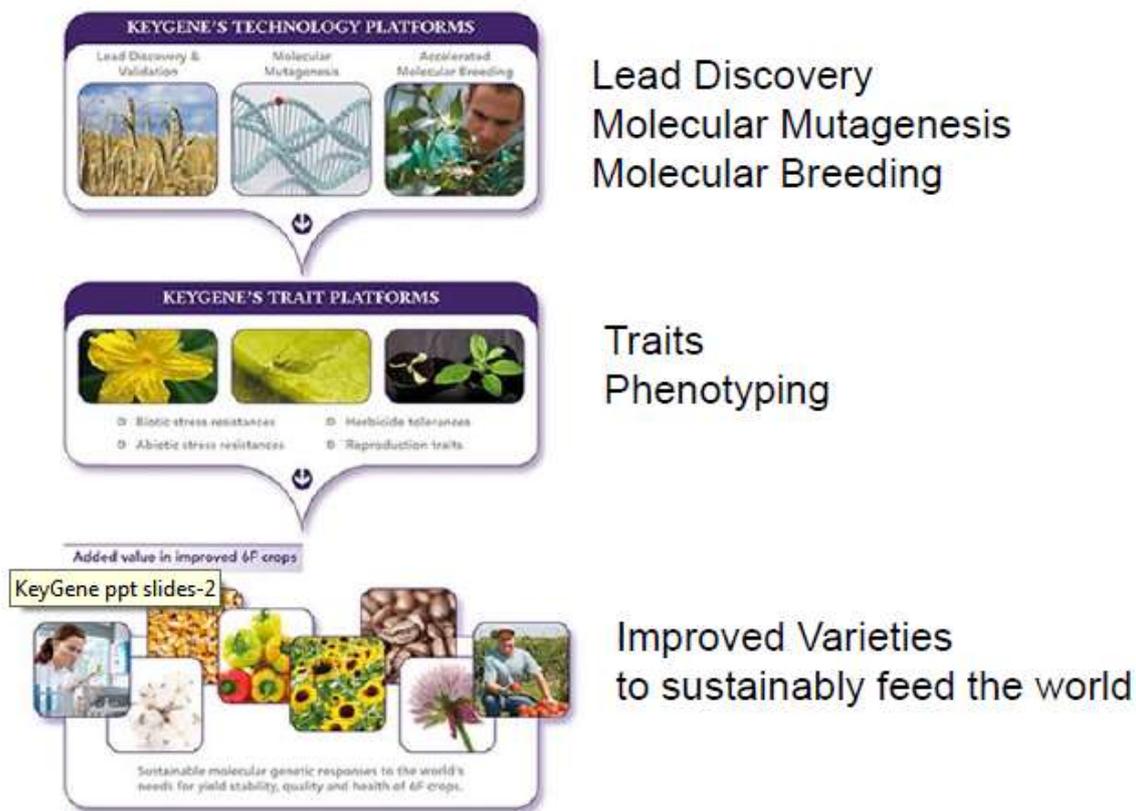


图 1-8 KeyGene 植物表型平台的工作流程

图 1-9 进一步示出了 KeyGene 植物表型-基因型平台的相信工作流程,可以看出将基因组学、转录组学、蛋白组学、代谢组学和表型组学密切偶联在一起,是 KeyGene 这家国际顶级农业生物技术公司认为的未来农业育种发展方向。

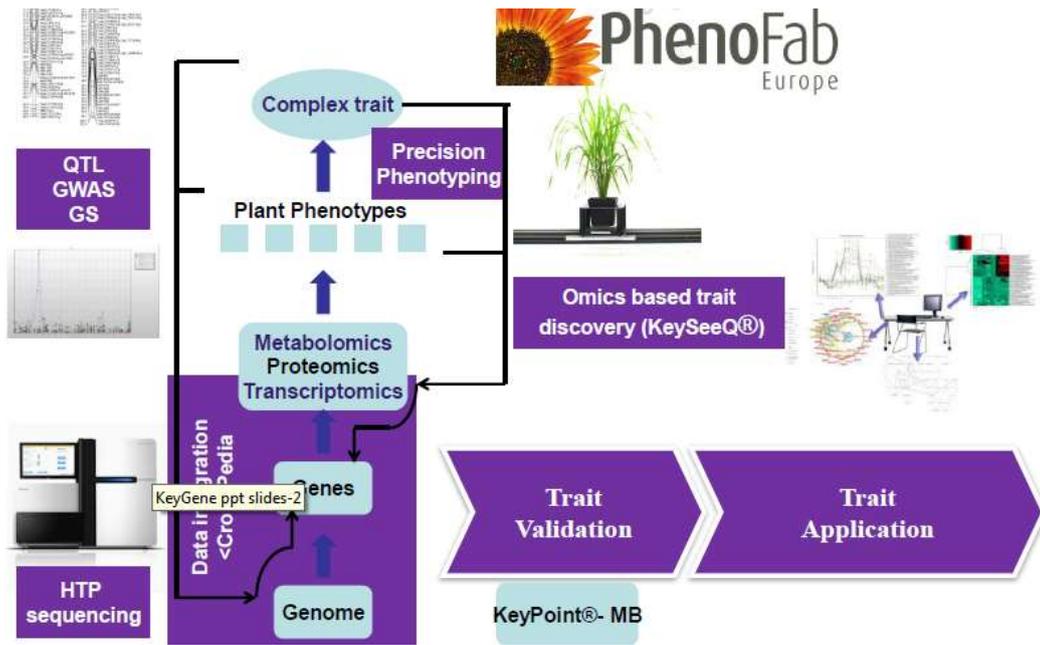


图 1-9 KeyGene 植物表型-基因型平台的工作流程

1.3.3 孟山都的植物表型-基因型平台

作物全球最大的农业育种公司，孟山都的科研实力毋庸置疑，其每天的科研开支达 300 万美元。孟山都的现代农业育种共分五个阶段（图 1-10），其中前两个阶段主要依赖植物表型-基因型平台的工作（图 1-11）。首先是基因挖掘阶段，此时要进行大量的基因测序工作，测量的基因可能达数十万个，一般耗时 24-28 个月；然后进入 Phase I 阶段，此时的重点就是高通量对植物表型进行分析，并与基因组数据偶联对植物进行改良，此时涉及的基因已经降到几千个，耗时需 12-24 个月；然后就是后面的 Phase II-IV 阶段，逐步从实验室/温室走向大田，并完成市场推广工作。

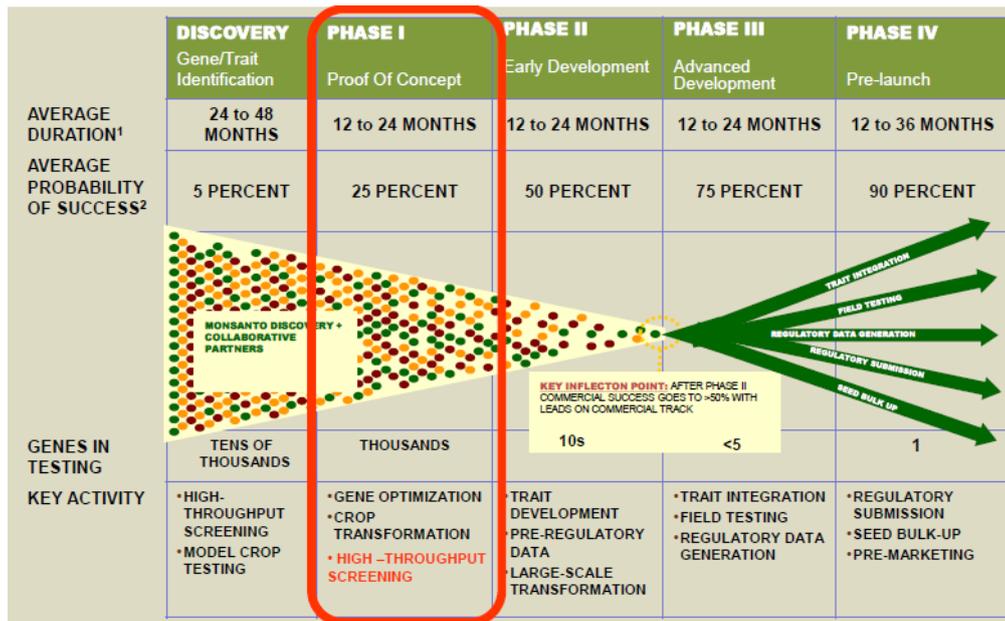


图 1-10 孟山都的现代农业育种流程

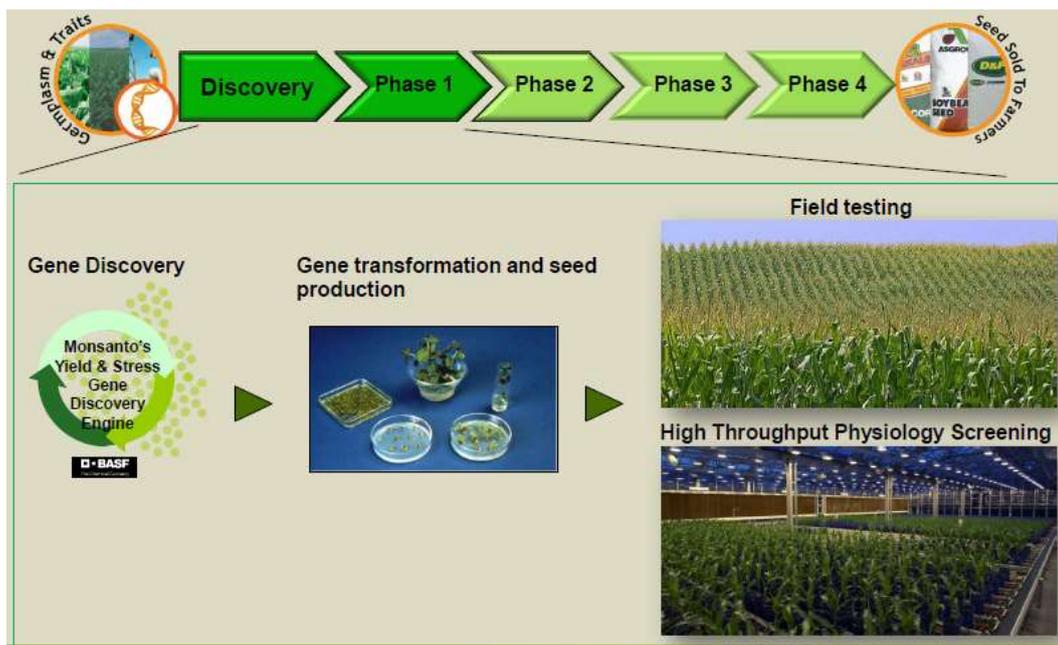


图 1-11 孟山都植物表型-基因型平台的工作流程

在育种前两个阶段,也就是植物表型-基因型平台的工作中,孟山都开创了一种新的分析流程。例如针对大豆而言,在播种前首先利用机器从大豆上刮下一些碎片(图 1-12),将这些碎片研磨后提取 DNA 进行基因测序。刮下这些碎片并不会影响大豆的正常生长,因此它们可以继续播种,并放到植物表型平台上进行表型测量分析。针对每一颗大豆,在实验开始都制作一个电子标签,所有的基因组数据和表型组数据都通过这个电子标签偶联起来。这样大大提高了平台的工作效率,

极大促进了新品种的选育。但这种方法目前并不适合包括玉米、水稻、小麦、大麦在内的所有农作物，例如在刮取基因样本时容易损坏种子的胚，从而影响种子的萌发。



图 1-12 被采集用于基因测序的材料后剩余的还可以种植的大豆

1.4 代表用户信息

1.4.1 本方案高通量植物表型平台部分代表用户

用户	备注
	<p>法国农业科学院 (INRA)</p> <p>欧洲排名第一、全球排名第二的农业研究机构。在 Montpellier (蒙彼利埃) 和 Dijon (第戎) 各有一套大型 Scanalyzer 3D 表型平台，合计通量 2800 盆，用于多种农作物的育种。</p>
	<p>澳大利亚植物功能基因组中心</p> <p>由澳大利亚政府和几个高校联合成立，主要关注于利用功能基因组学技术提高小麦和大麦的环境抗逆性，包括抗旱、抗盐、抗热、抗冷、抗营养盐缺乏等。拥有一套小型 Scanalyzer 3D 表型平台。</p>



澳大利亚植物表型组设施

著名的“植物加速器”（Plant Accelerator）就在这里。致力于解决从基因型到表型研究的瓶颈（bottleneck）问题。由澳大利亚政府投资，依托阿德莱德大学，面向全球的科研人员和育种企业提供收费服务。有两套大型 Scanalyzer 3D 表型平台，合计通量 2400 盆。



杜邦农业

提高作物产量、提供更健康的食品，满足全球的营养需求，同时致力于开发能源解决方案，帮助满足全球的能源需求。杜邦农业从 2005 年开始运转 2 套 Scanalyzer HTS 系统。



先锋

先锋良种国际有限公司是杜邦集团的子公司，是国际玉米育种巨头！先锋采用的 FAST (Functional Analysis System for Traits) Corn technology 就是 Scanalyzer 3D 技术。先锋从 2005 年开始运转一套能传送 1500 盆植物的 Scanalyzer 3D 植物表型平台。2012 年印度先锋建成一套小型 Scanalyzer 3D 平台。



巴斯夫

国际化工巨头，从 1998 年开始介入植物科学研究，兼并了比利时 CropDesign 公司，并与孟山都有密切合作，在玉米、土豆、甜菜、苜蓿等的遗传育种方面取得了丰硕成果。2004 年和 2006 年，

BASF Germany 和 BASF USA 分别购置 3 套和 1 套 Scanalyzer HTS 系统。2006 年, BASF USA 和 BASF Germany 分别建立了一套能传送 800 盆和 300 盆植物的 Scanalyzer 3D 系统。



拜耳作物

拜耳作物科学公司是拜耳集团三大业务子集团之一、全球领先的创新型作物科学公司。拜耳作物科学公司的销售额（2009 年）为 65.10 亿欧元, 约占拜耳集团销售额的 20.8%。拜耳作物科学公司在水稻、油菜以及蔬菜育种方面占有很大市场份额。Bayer CropScience Germany 从 2002 年开始运转 2 套 Scanalyzer HTS 系统。2010 年, Bayer CropScience Belgium 建成一套可传输 600 盆植物的 Scanalyzer 3D 系统, Bayer CropScience Germany 建成一套可传输 1200 盆植物的 Scanalyzer 3D 系统。



先正达

先正达是全球领先的农业科技公司, 全球 500 强企业、世界第一大植保公司、第三大种子公司。涉及领域包括基因组、生物信息、作物转化、合成化学、分子毒理学, 以及环境科学、高通量筛选、标记辅助育种和先进的制剂加工技术。先正达 2009 年销售收入达 110 亿美元。英国先正达从 2003 年开始运转 1 套 Scanalyzer HTS 系统。瑞士先正达从 2005 年开始运转 1 套 Scanalyzer HTS 系统。



KeyGene（科因公司）

位于荷兰瓦赫宁根的 KeyGene 公司，是一家专注于分子遗传改良的农业公司，也是欧盟最大的农业生物科技公司，其提出的 6F 作物改良（Food, Feed, Fiber, Fuel, Flowers & Fun crops）在国际育种界产生了广泛影响。KeyGene 有 140 多位全职科学家，在国际遗传学界提出了许多开创性的技术。从 2008 年开始采用 Scanalyzer 3D 表型平台。

欧洲植物表型平台 PhenoFab

PhenoFab 是由 LemnaTec 和 KeyGene 共同投资组建的植物表型平台，通量 1100 盆，面向全球农业领域进行收费服务。



德国莱布尼茨（Leibniz）植物遗传和作物研究所

德国一家大型的国际著名的公立植物科学研究机构，在大麦育种方面领导全球。拥有 4 套大型高通量植物表型平台（3 套 Scanalyzer 3D，1 套定制化 Scanalyzer HTS），用于大麦、玉米、拟南芥等的研究。其中 3D 系统合计通量 2000 盆。



意大利麦塔庞特（Metapontum）植物生物技术研究所

1985 年建立，归政府所有，但以企业化运作，特点在于小麦、西红柿等的基因改良，特别是抗病性和品质改良，具有非常大的名气。2009 年开始运转一套能传送 500 盆植物的 Scanalyzer 3D

系统。



英国 Aberystwyth 大学

作为英国的国家植物表型组学平台建立,有一套通量 800 盆的 Scanalyzer 3D 系统,重点关注能源植物(草本)的研究。



英美烟草

成立于 1902 年总部设于英国伦敦的英美烟草集团(British American Tobacco, 简称 BAT)是世界上第二大的烟草上市企业。作为世界领先的国际性烟草企业,该集团的业务遍及全球 180 多个市场,在 64 个国家拥有 80 多家工厂,有 24 个烟叶种植项目以及 21 家烟叶复烤厂,在 50 多个市场处于领先地位。该集团有一套大型植物表型平台 Scanalyzer 3D 用于烟草育种。



日本理化学研究所(RIKEN)

RIKEN 是日本最大的综合性研究所,也是日本唯一的自然科学研究所,有 3000 名烟酒人员,年预算约 62 亿人民币。RIKEN 的植物科学研究中心有一套大型 Scanalyzer 3D 系统,用于烟草研究。



日本住友化学

日本住友集团的三大核心企业之一,国际化学巨头之一。拥有一套大型 Scanalyzer 3D 系统,用于农药测试。



印度农业研究理事会

印度农业研究理事会（India Council of Agricultural Research, ICAR）是全国性的农业科研协调机构，成立于 1929 年。现隶属于联邦政府农业部的研究和教育局，职责是：对全国农业研发项目以及农业科技与教育资源进行协调管理，建立广泛的国内与国际合作，促进全印农业科研、教育和农业技术推广事业的发展，提升农业生产水平和农民生活质量。理事会下属旱作农业中央研究所（Central Research Institute for Dryland Agriculture）拥有一套通量 500 盆的 Scanalyzer 3D 植物表型平台，在班加罗尔（Bangalore）。



印度园艺研究所

印度园艺研究所（India Institute of Horticulture Research）是印度农业研究理事会下属研究机构。该所的 Div. of Plant Physiology and Biochemistry 拥有一套通量 500 盆的 Scanalyzer 3D 植物表型平台。



National Initiative on Climate Resilient Agriculture

这是印度农业研究理事会于 2011 年 2 月推出的一个网络项目，旨在通过战略研究和技术示范项目，提高印度农业应对气候变化的能力。针对该项目，印度政府购买了一套通量 500 盆的 Scanalyzer 3D 表型平台，作为技术示范和研究。该系统安装在海得拉巴（Hyderabad）。



印度农业研究所

印度农业研究所 (Indian Agricultural Research Institute, IARI) 是印度最古老的农业研究机构, 在过去 100 年中为印度农业做出了卓越贡献。该所拥有一套通量 100 盆的小型 Scanalyzer 3D 表型平台。



唐纳德丹佛植物科学中心

唐纳德丹佛植物科学中心 (Donald Danforth Plant Science Center) 是一家著名的非盈利植物科研结构, 该中心于 2012 年购置一套大型植物表型平台 Scanalyzer 3D。



内布拉斯加大学林肯分校

University of Nebraska - Lincoln, 于 2012 年购置一套大型植物表型平台 Scanalyzer 3D。



英国洛桑研究所

野外型高通量植物表型平台 Field Scanalyzer, 配置高光谱成像模块、荧光成像模块和激光 3D 模块, 可全天候对田间植物的表型进行研究



中国农业科学院生物技术研究所

该所购置一套通量 456 盆的植物表型平台系统, 用于玉米改良育种, 于 2013 年上半年开始运转。



中科院遗传与发育生物学研究所

该所配置了可见光模块、近红外成像、荧光成像、根系近红外成像模块, 预计于 2016 年 9 月交付运行。



垦丰种业

配置了一套通量为 680 盆的植物表型平台系统，用于水稻、玉米改良育种，配置了可见光模块、近红外成像、荧光成像、根系近红外成像模块。



AgriPheno 上海乾菲诺农业科技有限公司 投资一套 252 盆通量 3D Scanlyzer 平台系统，配置可见光 RGB、近红外 NIR 模块；平台同时拥有 HTS Scanlyzer 实验室高通量植物表型系统（配置可见光、红外、近红外模块）。

中国战略合作单位



上海生物信息技术研究中心

上海乾菲诺农业科技有限公司

上海慧算生物技术有限公司

充分发挥甲方生命科学研究、生物信息研究和数据库建设、生物信息软件开发、国家人口与健康领域相关技术；乙方现代化温室、植物表型、生理生态研究，丙方生物信息数据分析技术、生物信息数据库技术、生物信息软件开发、大数据技术等优势，成立“精准农业联合研究中心”。为国内客户提供全面基因型-表型-育种服务。

1.4.2 本方案植物生理生态平台部分代表用户（略，如有需要请与泽泉科技各公司分区销售经理联系）

2 本方案植物生理生态平台涉及用户很多，初步估计国内用户在 1000 家以上，基本涵盖高校系统、中科院系统、农科院系统和部分企业单位。例如 WALZ 的产品在国内有 600 多套，CID 的产品在国内有 1000 多套，均得到了非常广泛而成功的应用。

全自动高通量植物表型平台

2.1 植物表型组学与作物育种

2.1.1 什么是表型组学（Phenomics）

自 20 世纪 90 年代初以来，“组学”（omics）成为生命科学领域最引人注目的新概念和新学科，如基因组学（genomics）、转录组学（transcriptomics）、蛋白质组学（proteomics）和代谢组学（metabolomics）等。伴随各种组学的不断兴起和发展，90 年代末，人们提出了表型组（phenome）和表型组学（phenomics）的概念。表型组（phenome）是指某一生物的全部性状特征；表型组学（phenomics）是一门在基因组水平上系统研究某一生物或细胞在各种不同环境条件下所有表型的学科。表型组学借助高通量的表型分析技术和平台与基因组学、转录组学、蛋白质组学、代谢组学结合在一起，已成为系统生物学的主要技术平台，应用于复杂的生命系统的研究。近十几年来，原先主要应用于动物及生物医学研究的表型组及表型组学研究平台也已经渗入到植物表型及相关组学的研究中毫无疑问，表型组学作为一个与表型鉴定相关的研究领域，是联系生物体基因型和表现型的桥梁；同时，表型组学利用目标群体详细的表型信息将为功能基因组学研究提供遗传基础。

2.1.2 表型组学和作物育种的相关性

在拟南芥、水稻等植物的全基因组测序之后，众多的研究发现植物的基因组具有高度的可塑性，很小的遗传变异如单核苷酸多态性（SNPs）就可导致表型的改变，从而产生多种表型。植物

的表型除了受基因型的影响外，还受到复杂多变的环境因子的影响。即使完全相同的拟南芥品系，在不同的土壤环境中生长，可以得到完全不同的表型（图 0-1）。



图 0-1 基因和环境对拟南芥表型的影响

植物功能基因组的研究进入了高通量分析的阶段。新的分子技术促进了植物生物信息在相关领域的发展，为基因组、蛋白组、代谢组及表型组数据进一步整合起来研究提供了新的挑战和可行性。在对植物突变体表型描述的基础上，植物表型组学已经逐渐发展起来，通过高通量的分析表型、构建表型数据库，并与植物的生长发育及遗传变异环境相互作用结合在一起的系统研究，将最有可能联系到作物生产利用上来；因此表型组学的兴起在作物株型改良、促进生产方面提供了很好的挑战和机遇。

我国现有的作物育种方式主要有系统育种、杂交育种、诱变育种、分子标记辅助育种等。在系统育种中品系的比较，杂交育种中亲本和杂交方式的选择，以及诱变育种中突变体的筛选，都需要依据作物的农艺性状来人工进行选择。而现在发展飞速的分子标记辅助育种中，关于数量性状 QTL 的标定，也是要依托大量的植物表型性状数据来处理分析的。在作物生产种植当中，株型以及群体表型性状的分析能够指导作物种植，是作物高产的保障。由此可知，作物表型在育种工作中不可或缺，它和基因组学将整合并共同服务于作物育种工作也是大势所趋。

2.1.3 传统表型鉴定存在的问题

传统的表型数据的获取主要是通过手工测量和照相后软件分析进行。手工测量可以获得植物直径、叶长、叶片数目等指标，照相后软件分析或通过叶面积仪可以获得植物的叶长、叶宽、叶面积、叶角等指标。但所有这些测量都需要花费大量时间，测量结果准确性较低，工作繁琐，工作量大，这些缺点大大限制了大规模遗传育种筛选的效率。此外，国内目前采用的这些传统方法

都只能获得植物表型的部分指标，优良株型的选择等也只能依靠科研人员经验选择，而每个人的选择标准不同，甚至差异很大，造成没有办法统计，我们必须依托准确科学的工作平台去完成工作。

表型组学是一个与表型鉴定研究相关的领域，并结合基因（基因组）或蛋白（蛋白组）的研究来探究表型的本质及它们之间的相互作用关系的学科。表型组又是指某一生物的全部性状特征，不仅仅局限于农艺性状，还应更加关注植株所表现出来的生理状态。在现阶段基因组学已发展到后基因组学时代——功能基因组学（Functional genomics），它利用结构基因组所提供的信息和产物，发展和应用新的实验手段，通过在基因组或系统水平上全面分析基因的功能，使得生物学研究从对单一基因或蛋白质的研究转向多个基因或蛋白质同时进行系统的研究。植物功能基因组学一项重要的内容是反映基因在不同植株、不同时期、不同组织、不同生理状态以及体外培养的细胞中 mRNA 或蛋白质表达的差异等的转录水平，进而特异性地反映基因的表达水平和抗性、组织器官形成、系统发育、光合作用等的关系，通过基因表达的研究可望调节与抗性、品质、产量等对人类有价值基因的表达，从而达到对生物的定向调控。大量的表型组学数据，表型信息的联用对功能基因组学的研究意义巨大，但介于国内没有大型高通量的自动装置，有关这方面的工作一直难以找到突破。

2.1.4 表型组学发展的趋势

表型组学的概念自 20 世纪 90 年代末陆续出现在各类出版刊物以来，虽然一直缺乏一个普遍认可的定义，但是在概念上及实际研究中却得到了广泛的运用。表型组学在植物研究中的运用，也是近些年来才逐渐被研究者们重视起来。植物表型组学的研究可以从小至核苷酸序列细胞，大至组织、器官种属群体的表型来研究分析，并且可以进一步整合到基因组学研究中；而从系统生物学角度来看，从基因组到转录组、蛋白质组、代谢组以及表型组，表型组是各种组的表现形式。因此，植物表型组学的研究将是涉及各个方面的研究领域。随着植物表型组学相关研究机构的建立，研究设施硬件及软件的开发，科研论文的发表和成果专利的逐渐增多，尤其是植物表型组学国际学术会议的召开和相关学术团体的成立，预示着植物表型组学研究的新时代已经来临。中国是一个农业大国，近年来，在植物科学研究领域取得了不少进步，尤其是在重要农作物的研究上，在国际上具有重要的学术地位因此，面对一个新的领域的迅速发展，整合有效资源，建立相关的研究设施和研究平台已是当务之急。

2.2 高通量植物表型平台的应用实例

2.2.1 早期表型帮助鉴定耐受缺氮胁迫的基因

氮元素是组成蛋白质、核酸、叶绿素、酶等有机化合物的重要组分，因此它有“生命元素”的美称。氮元素无论对于人还是对于植物都非常重要。在所有必需营养元素中，氮是限制植物生长和形成产量的首要因素。如果植物缺氮，这些重要的化合物会无法正常合成。那么，我们如何才能判断植物是不是缺氮了呢？这就需要我们细心的观察植物的外部特征有什么变化。当植物缺氮时我们就会发现植物生长矮小、分枝很少、叶片小而薄、花果少且容易脱落；枝叶变黄、叶片早衰甚至干枯、产量降低。这些外部特征都属于植物表型数据，通过高通量植物表型平台可以量化，有助于鉴别相关基因，并进行分子改良。

如图 0-2 所示的孟山都的研究实例中，对某玉米品种导入外源基因（处理组）后，通过高通量植物表型平台对植物出苗后的表型数据信息了分析，发现在所有的环境条件处理（培养条件一致、统一的氮素缺乏处理）都一致的情况下，处理组的生物量、冠层面积和叶绿素含量从玉米出苗 2 周后到 1 个月，显著高于对照组，而植株高度、含水量和花青素含量没有显著区别。我们知道生物量、冠层面积和叶绿素含量受氮元素影响很大，由此推知这个导入的外源基因有助于植物更好的耐受缺氮胁迫。

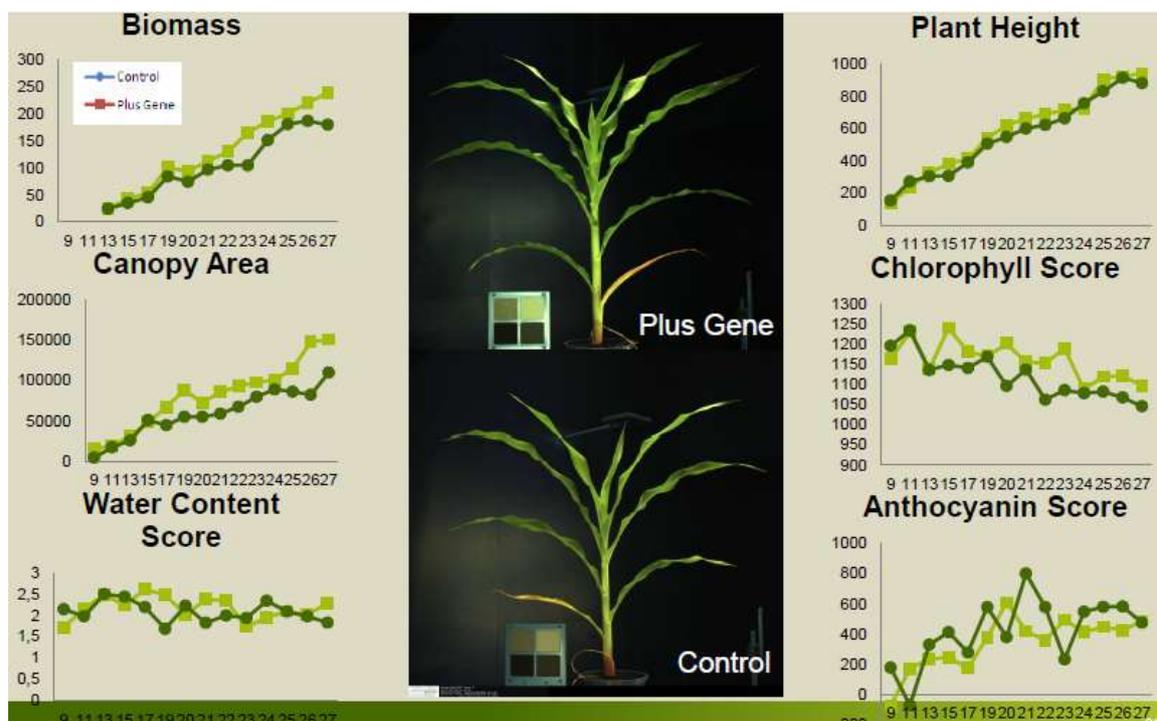


图 0-2 早期表型帮助鉴定耐受缺氮胁迫的基因

2.2.2 利用“指纹雷达图”快速筛选具有优良性状的新品种

利用高通量植物表型平台可以快速获取大量植株的各种形态学和生理学性状 (Trait) 信息。现代农业育种的一个主要方向就是性状改良, 例如我们希望获得更大的果实/种子, 我们希望获得更高的含油量 (油料作物), 更发达的根系等等。通过高通量植物表型平台可以快速获取大量性状信息, 但是如何利用这些性状信息进行快速筛选是一个难题。

利用“雷达图”绘制表型性状的“指纹图谱”进行筛选是一个很好的方法。雷达图是在从同一点出发的多个坐标轴上表型三个或更多的表型参数而形成的两维图 (图 0-3)。各个坐标轴的相对位置与角度并不具备特殊的意义, 只要看起来美观即可。雷达图主要用于在同一组坐标轴上比较不同参数的高低, 当将多个关键表型参数 (性状) 绘制如雷达图时, 就能够一目了然的看到筛选出的不同品种或品系的性状变化 (增加还是减少), 因此这是农业育种上非常好用的一种“指纹雷达图”。

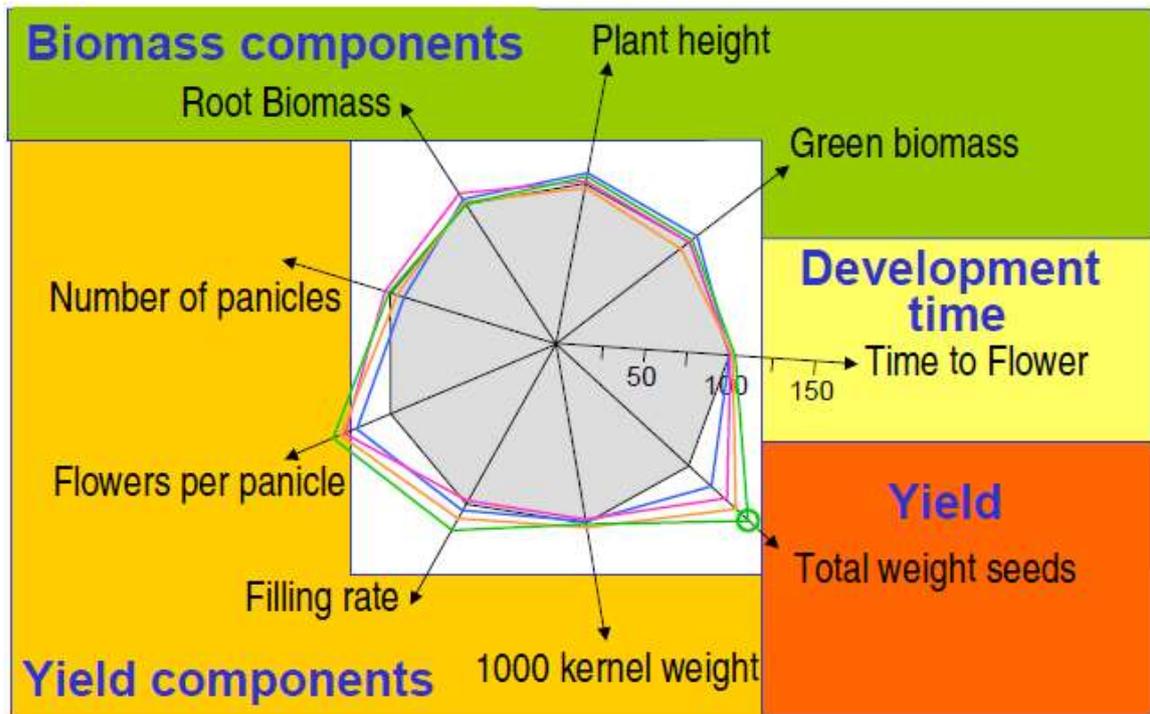


图 0-3 指纹雷达图示例

种业巨头巴斯夫公司下属 CropDesign 公司在利用“指纹雷达图”育种上取得了显著的成果。他们先用高通量植物表型平台快速获取大量的表型参数（性状），然后绘制“指纹雷达图”，并对每个性状的变化分别标注笑脸和哭脸，这样我们就可以马上看出针对这个品种的改良工作是否取得了成果（图 0-4）：是多数性状都有改良还是多数性状都变差？是轻微改良还是显著改良？还是多数性状无变化但有一两个性状显著改良？

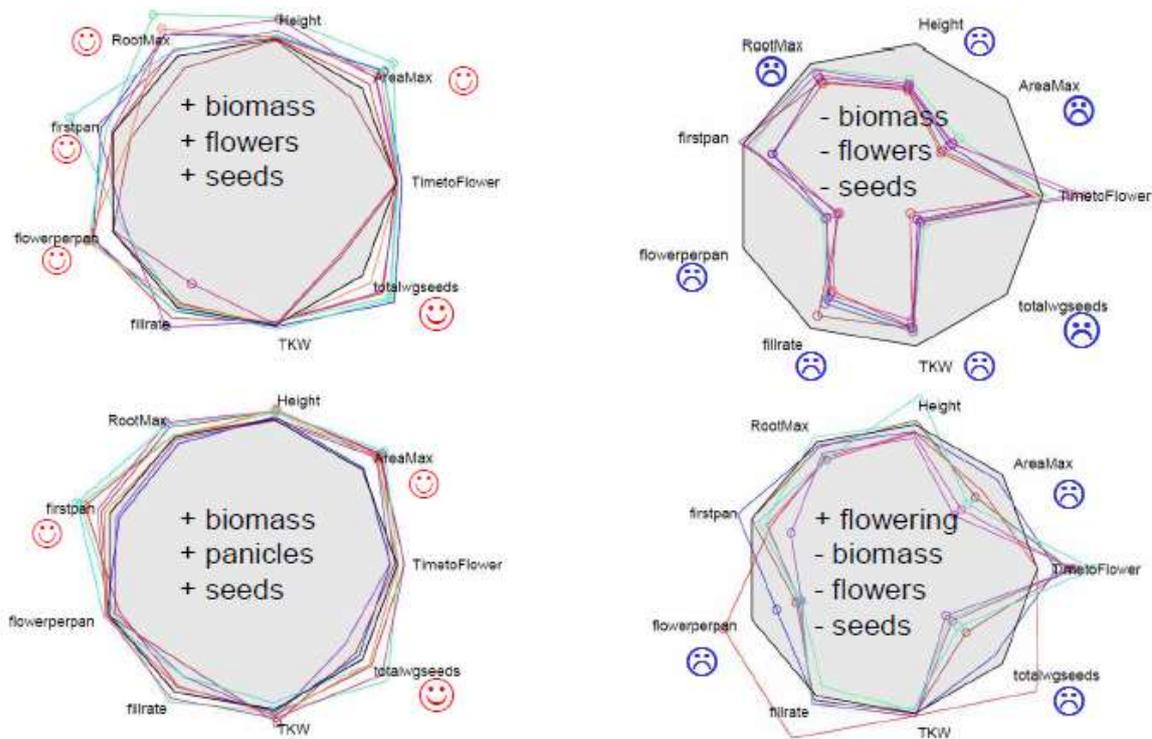


图 0-4 “指纹雷达图”筛选结果示例一

2.2.3 植株骨架分析与株型育种

在世界以及我国的杂交玉米研究史上，真正促进玉米亩产取得极大突破的是“紧凑型”玉米的出现。紧凑型玉米育种是我国玉米育种发展史上的一个重要阶段，经过广大育种工作者的多年努力，从理论到实践都获得了巨大的成功。

紧凑型玉米的育成，对玉米育种产生了巨大的影响。首先是影响到育种目标。传统的玉米育种目标是单株大穗。换句话说，人们关心的是单株生产力的高低，希望在 3000 株 / 亩左右的密度下以单株大穗来获取高产。紧凑型品种则是以株型紧凑，增加种植密度，靠群体产量来获取高产。因而紧凑型育种不太注重单株产量，而注重群体产量。许多紧凑型品种的果穗虽属中小穗，但在高密度条件下果穗减小并不明显，表现均匀，因而产量得以提高。到目前为止，育种工作者已经充分认识到紧凑株型的优点。其次，紧凑型品种的育成影响到选系密度。选系密度与大田种植密度有关。长期以来，玉米的种植密度在 3000 株/亩左右，近几年虽略有增加，也不过在 4000 株/亩左右，因而至今许多单位的选系密度也在 3000~4000 株/亩左右。一般紧凑型品种最适密度在 5000~6000 株/亩左右，但因肥水条件限制，一般种植密度在 5000 株/亩左右。玉米耐密性与遗传有关。要使杂交种耐受高的密度自交系也应有相应的耐密性。特别是在选系材料的早代，必须利用高密选择以增加选择压力。因而许多育种者主张选系密度在 5000 株/亩左右。

高通量植物表型平台可以快速获取植株的形态学指标，是株型育种特别是紧凑型育种的有力助手。以植物骨架分析为例，通过骨架分析可以量化如下参数：

- 植物三维图像的最大高度和宽度；
- 节间距；
- 叶片与茎秆之间的夹角；
- 节点叶片的数目；
- 节点到叶尖的最大叶长（从较宽面图像观察）；
- 茎秆面积
- 开花鉴定

为了更好的说明植物骨架分析的方法和结果，这里选择一株具有代表性的玉米单株加以说明。下图为该玉米单株的侧视图（较宽一面的图像），它是进行后续深入分析的基础。经过进一步的图像处理，画出其原始图像的主要几何结构构架，并在此图像的基础上，确定不同的构架参数。



图 0-5 玉米植株的原始图像和骨架分析图像

1) 茎秆鉴定

通常情况下，所有的植株都是直立生长并成像的，但是高通量植物表型平台的软件甚至能够在植株倾斜的情况下准确鉴定茎秆，并可以自动消除较长且垂直悬挂的叶片的干扰，因此能够准确的鉴定节点、角度以及茎秆面积。



图 0-6 玉米植株的茎秆分析（蓝色）

2) 节点鉴定

茎秆上的每一个交叉和分支都是一个潜在的节点。为了更好的定义节点，首先要确定分支结构的参数化最小长度，同时去除节点附近的干扰结构，并区别于花和叶片的结构。如下图所示，红点表示被定义的节点。

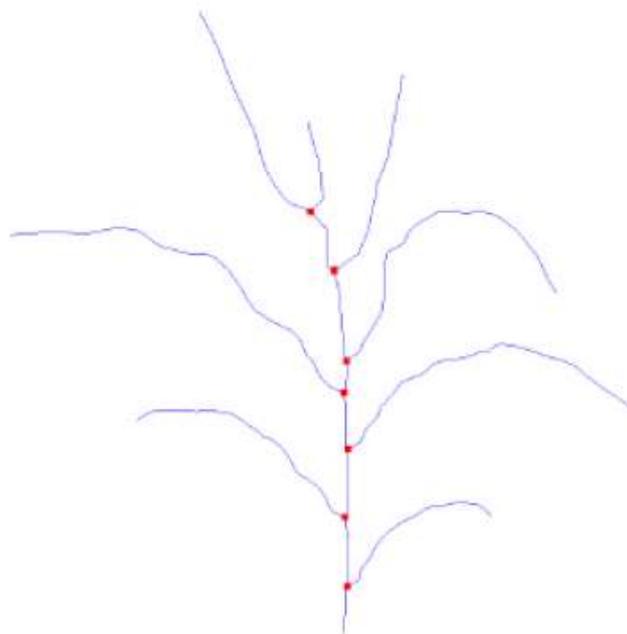


图 0-7 带有节点（红色）的玉米骨架分析图像

3) 叶片长度

所有叶片的长度均始于节点（红色），延伸至叶尖或者下一个分支（绿色），如下图所示：

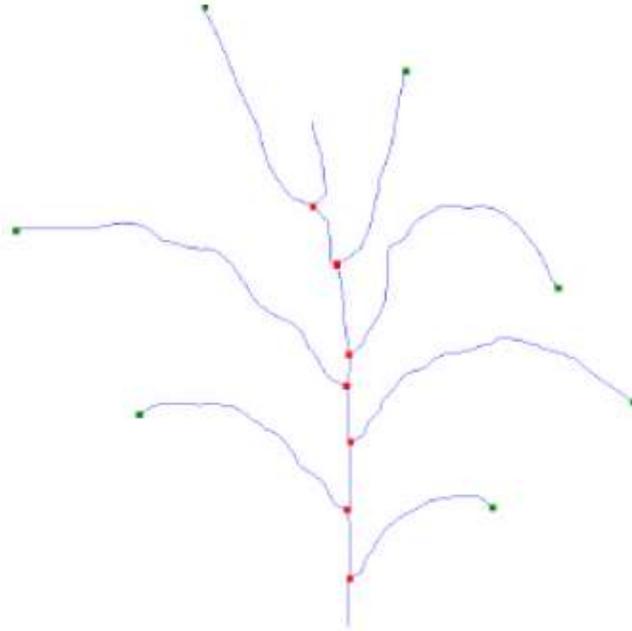


图 0-8 带有叶片长度（红点到绿点）分析的玉米骨架图像

4) 节间距

节间距定义为识别出来的节点之间的垂直距离，如下图所示：

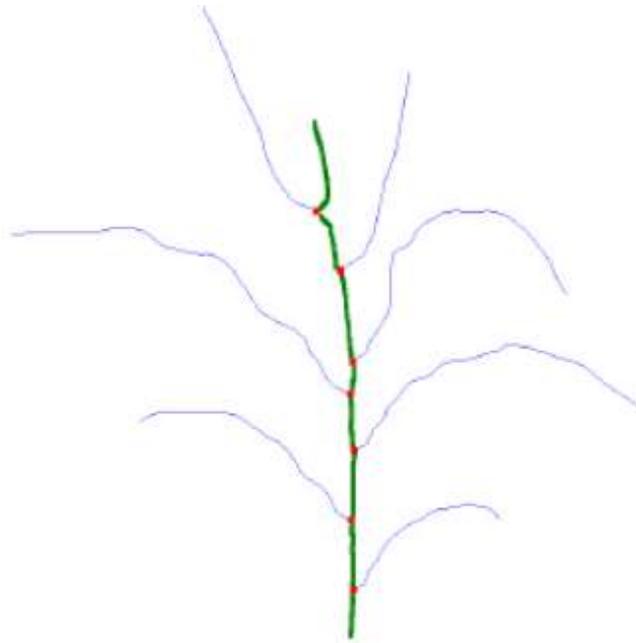


图 0-9 带有节间距（绿色）分析的玉米骨架图像

5) 叶片与节点夹角

节点处叶片的角度被认为是所选叶片部分与茎秆之间的平均角度。由于大部分叶片是弯曲的，

用户必须定义两个参数，它们能够描述从节点到叶尖的距离，从而计算叶片夹角。如下图所示：

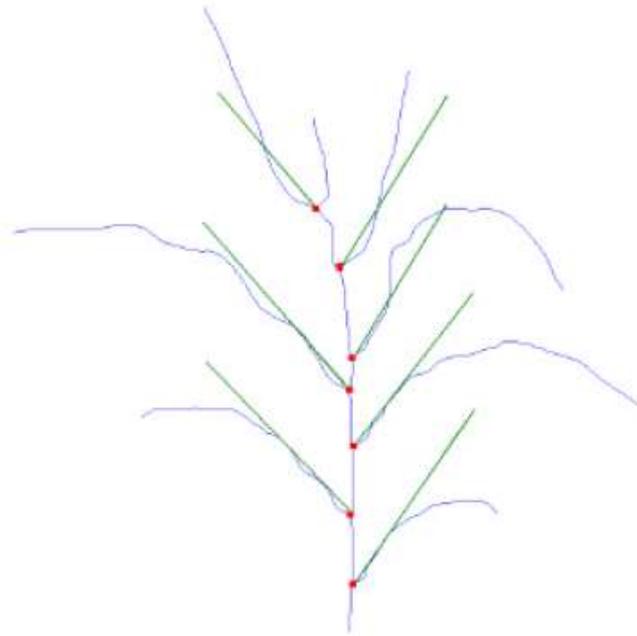


图 0-50 带有叶片夹角（绿色）分析的玉米骨架图像

6) 植株最大高度和宽度

植株的最大高度和宽度主要由植株沿各个方向的最大伸展程度决定的，如下图所示：

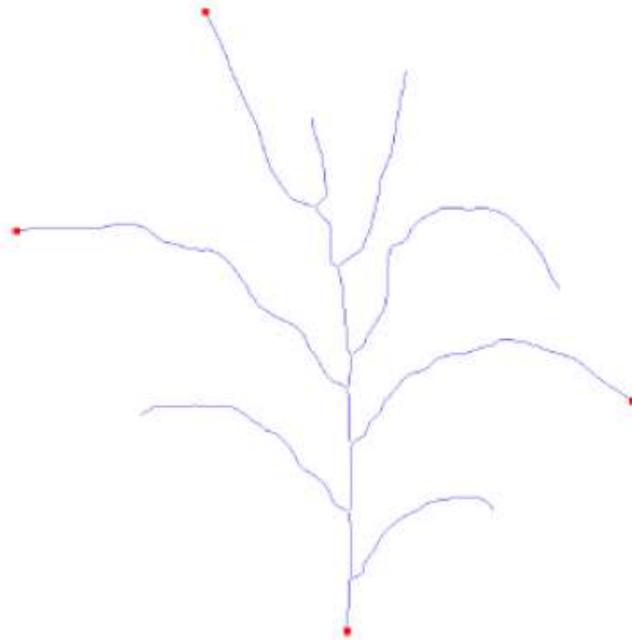


图 0-61 带有最大高度和宽度分析的玉米骨架图像

7) 指纹图谱

综上所述所有参数集合在一起，便能够为每一个单株绘制一个生长模型。如下图所示，这些图谱

非常好的显示了每一个单株的生长和形态模型。为了方便我们做进一步的研究，可以把高通量表型平台的分析数据保存到服务器的数据库中，用于数据挖掘和模型识别程序。

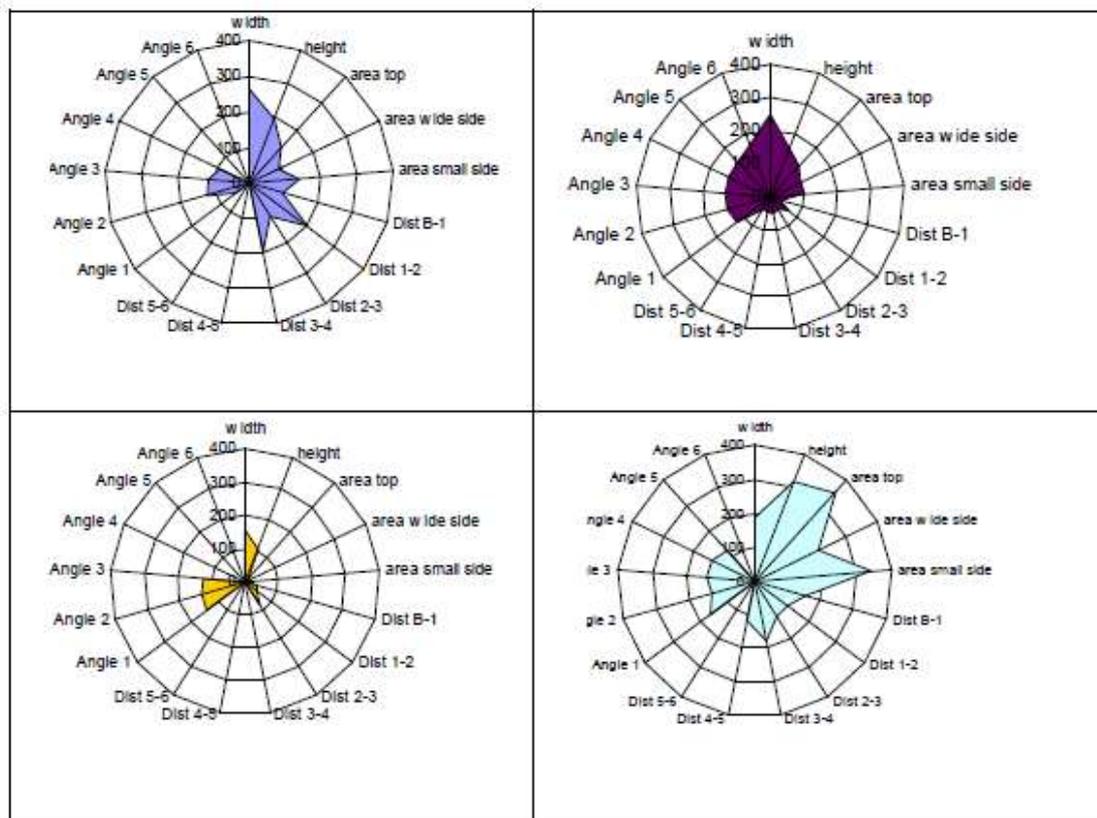


图 0-72 不同株型玉米的指纹图谱

与侧面成像后的骨架分析类似，通过顶部成像也可进行类似的冠层分析。结合骨架分析和冠层分析的数据，可以找出判断“紧凑型”植株的关键指标，利用表型平台的筛选功能进行快速筛选。

2.2.4 利用表型平台分析不同处理下大麦的表型动态变化

随着工农业的发展和用水需求的增加,水资源供需矛盾已日益突出,农业用水更加紧缺。干旱是所有自然灾害中最为严重自然灾害之一。因此,发掘和利用对干旱胁迫的耐性和适应性的优良农作物,对于充分利用土地与自然资源、稳定与发展农业生产具有重要的意义。灌浆成熟期是农作物需水量最大的时期,此生育期如果遇到干旱,将严重影响作物产量。利用高通量的表型平台，对干旱和复水处理的大麦进行表型成像分析，可以得出不同生长时期的大麦在株高、分蘖数等表型参数上的动态变化（图 2-13 左图）。

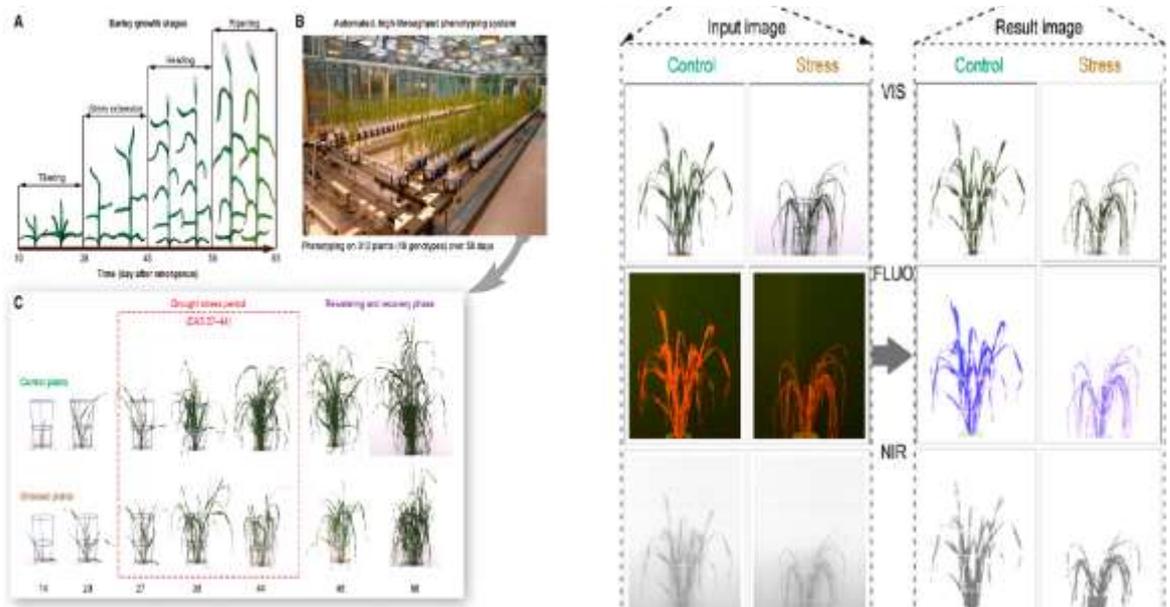


图 0-83 干旱和复水处理下不同时期大麦的表型变化(Dijun Chen, Christian Klukasa *et al.*, The Plant Cell,2014)

除此之外，利用荧光成像和近红外成像模块，可以分析植物体内的光合生理和水分分布情况（图 2-13 右图）。利用表型平台得到的数据，与其他方法测量得到数据相比，相关性在科学合理的范围之内，例如测量正常和盐胁迫下大麦的干重变化（图 2-14），发现成像分析得出的结果与实际称重结果相关性非常的高。

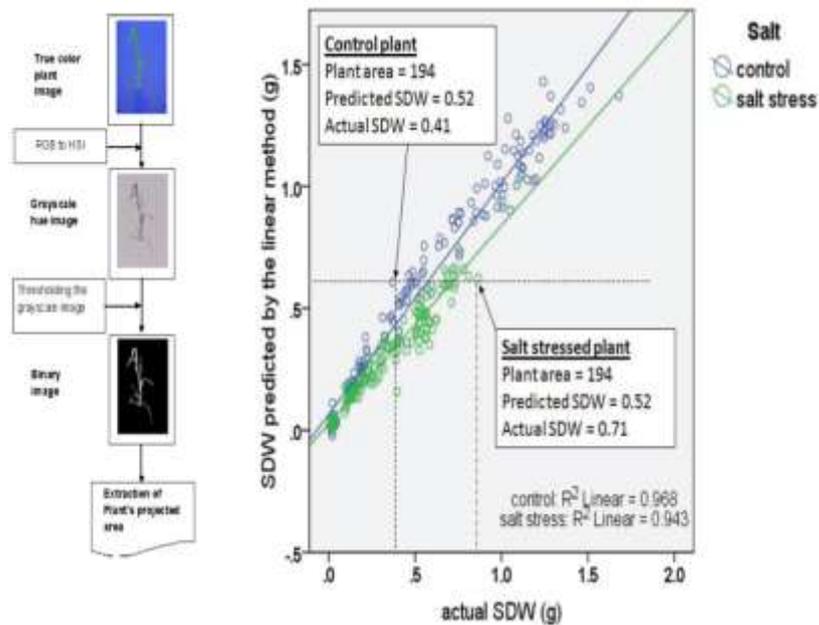


图 0-94 大麦生物量相关性分析(Mahmood R Golzarian, Desmond S Lun *et al.*, Plant Methods,2011)

2.2.5 盐分胁迫下不同品种小麦表型与基因型分析

盐分胁迫对植物生物量以及产量有很大的影响，收到多种基因表达系统的复杂调控。利用澳大利亚的植物加速器平台，科学家们对不同品种的小麦进行的表型分析，得到盐分胁迫下小麦植株投影面积等表型参数的变化，并进一步利用转录组分析方法，揭示了在叶鞘中可能存在的植株生物量与耐盐性相关的一些基因功能。（图 2-15）

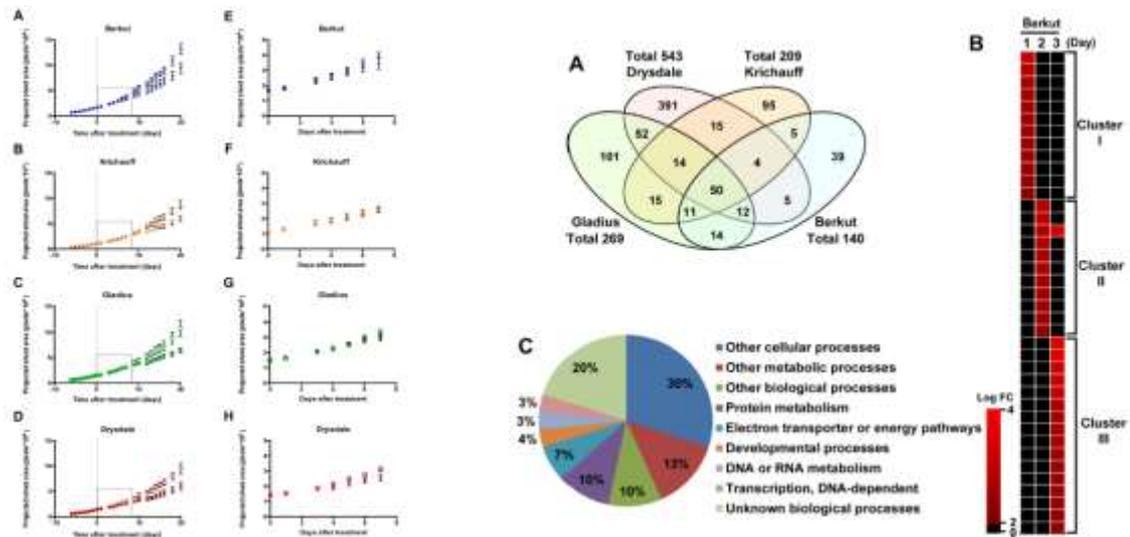


图 0-105 小麦表型与基因型分析(Takahashi, F. *et al.*, PLoS One,2015)

2.2.6 不同品种扁豆干旱和盐分胁迫处理下表型分析

利用 LemnaTec 表型平台可以分析豆科植物的表型，不同品种的扁豆在干旱和盐分胁迫处理下，其植株高度会发生不同程度的变化（图 2-16）。其软件可以完成表型图像处理、分析，可以自动化的分析扁豆的表型变化。

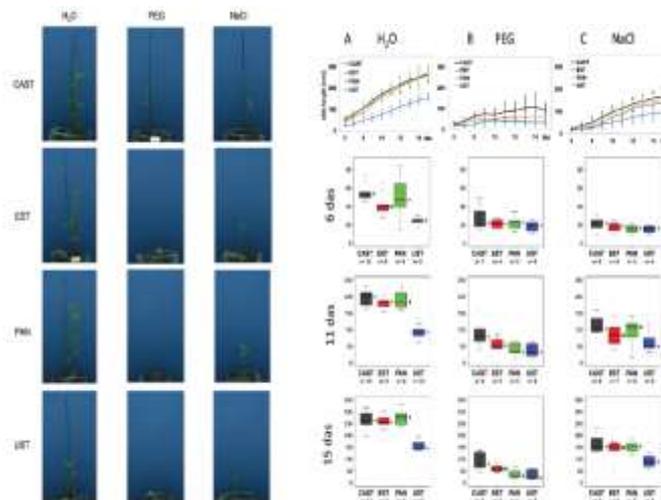


图 0-116 不同品种扁豆干旱和盐分胁迫处理下表型分析(A. Muscolo *et al.*, Journal of Experimental

干旱和盐分胁迫会影响植株高度，表型平台可以进一步将这种动态变化，利用图形图像、数据分析的方法更精确的分析出来。

植物表型平台总体介绍

2.2.7 植物表型平台的多种类型

全自动高通量植物表型平台是植物表型组学、植物功能基因组学、现代遗传育种研究的强大工具。根据系统构造、成像功能、使用环境的不同，可以分为四种类型：实验室基础型 PL、实验室高通量型 HTS、温室型 3D Scanlyzer 和野外型 Field Scanlyzer。

2016 年底，即将推出 PL-II 型，即 PhenoBOX，相当于 3D Scanlyzer 实验室版，可从顶部和侧面分别成像，建立植物 3D 分析图像进行分析，根据客户实验需求，可配置可见光（VIS）成像、近红外（NIR）成像、红外（IR）成像，高光谱（Hyperspectra）以及针对不同植物大小的成像暗房。

此外，2016 年底即将推出的 HS Gantry 系统，可安装与温室或田间，移动型的传感器对植物进行大通量的扫描分析，实现育种材料表型研究，建立植物生长模型。

2.2.7.1 实验室型高通量植物表型平台

实验室型全自动高通量植物表型平台——Scanalyzer HTS 是一套可以全自动、高通量对大量小植株进行成像的系统，可以选择配置可见光（VIS）成像、近红外（NIR）成像、红外（IR）成像、荧光成像或激光扫描 3D 成像（只适合高度 12 cm 以下的小植株）中的一种或多种。成像系统带程控移动装置，可以在 X 轴和 Y 轴上进行移动，并配有射频或条形码读取器。Scanalyzer HTS 系统通过软件控制摄像头移动到样品上方（多孔板或小盆）进行拍照，照片数据与该样品的电子标记（射频或条形码）一起存储。软件也可控制摄像头对多孔板上的每个孔进行单独成像，每个孔的数据分布存储（告诉软件多孔板类型，然后自动编码，如 A01、A02.....）。

软件可以控制系统每天自动对样品进行成像，获得样品成像的时间动力学变化。只要点击样品的编码，就可以获得样品的图像及分析数据的时间动力学变化，并可进行复杂的统计学分析和图表分析。



图 0-12 实验室型高通量植物表型平台示例

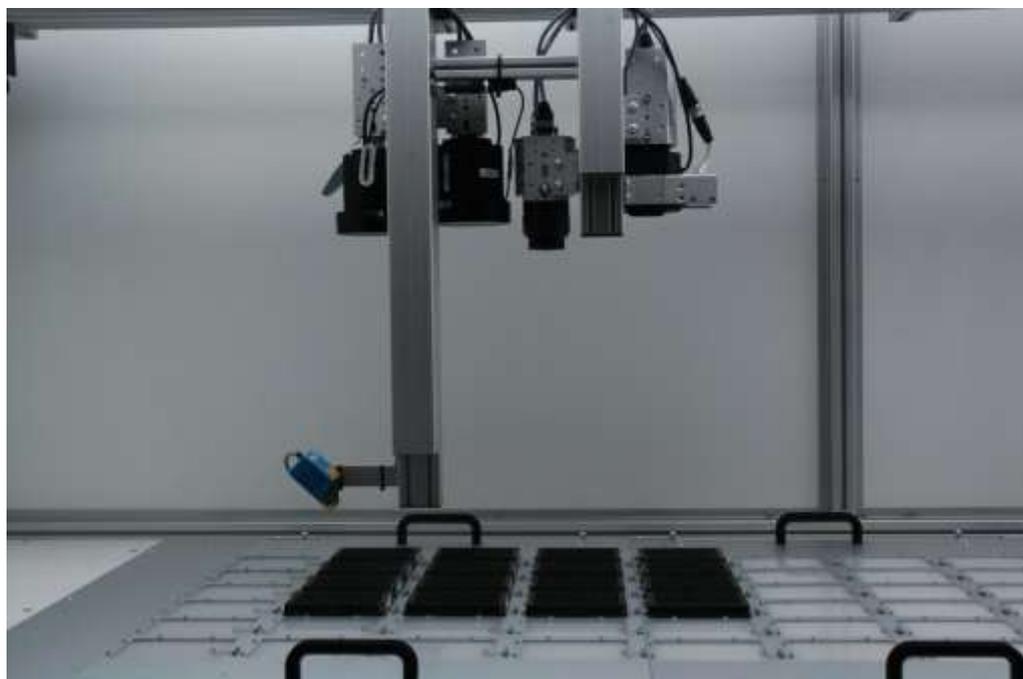


图 0-13 带有四种成像模块的实验室型高通量植物表型平台

系统提供顶部光源和底部光源，并可通过软件控制光强变化。根据测量样品数目的多少，可以选择配置不同多孔板的版本，不同版本的外观尺寸差别很大。如有特殊需要，可以定制更大版

本。

由于全自动、高通量测量获得的数据非常庞大，本系统必须配置服务器来存储数据。选购 PHP 远程数据库软件，还可以对系统进行远程原理、控制和分析。

Scanalyzer HTS 只需要安装在实验室内即可运转，只需要 220 V 供电，不需要空气压缩机系统带动。该系统非常适合安装在环境条件精确控制的人工气候室中工作。

2.2.7.2 温室型高通量植物表型平台

温室型全自动高通量植物表型平台——Scanalyzer 3D 是一套可以全自动、高通量对大量植株（从幼苗到成熟植株即可）进行成像的系统，可以选择配置可见光（VIS）成像、近红外（NIR）成像、红外（IR）成像、荧光成像、根系近红外成像、高光谱成像中的一种或多种，每个成像模块包括顶部和侧面两个摄像头，结合样品旋转装置，就可以对植株进行 3D 形态学分析。如果做小植株（12cm 以下），也可选配激光扫描 3D 成像。每一种成像模块都有单独的成像区域（“暗房”），依次进行成像分析。

该系统通过可见光成像可以测量植物的结构、宽度、密度、对称性、叶长、叶宽、叶面积、叶角度、叶颜色、叶病斑、种子颜色、种子颜色面积等参数；通过近红外成像可以分析植物的水分分布状态、水力学研究、胁迫生理学研究等；通过根系近红外成像分析植物根系和土柱中的水分分布情况；通过红外成像可以进行植物干旱胁迫研究、蒸腾研究等；通过荧光成像可以分析植物的生理状态。由于所有植物都通过条形码或射频标记，其整个生活史的不同阶段所有的表型数据都可定期进行测量。



图 0-14 温室型高通量植物表型平台成像区示例

整套系统包括传送带、成像模块、“暗房”、运输车、浇水和称重装置、控制系统等。其中传送带、运输车和植物在温室中运转，所有的植物可以由软件控制在传送带上进行动态分布，以避免由于温室中的光、温、湿分布不均匀造成的影响；成像模块、“暗房”、浇水和称重装置安装在独立的空调房中，并通过传送带与温室相连。



图 0-15 温室型高通量植物表型平台温室传送区示例

分析模式有两种：一种是软件控制温室中的植物定期传送到“暗房”进行成像分析；另一种是人工携带生长在其他温室中的植物放到“暗房”前的传送带上，进行成像分析。

软件通过成像分析的结果，根据表型数据可以对植株进行高通量筛选。

通过对成像结果的分析，可以进行表型组学研究。目前我国对于作物的研究主要是利用传统的遗传育种方法以及基因组学的方法进行研究，然而仅停留在基因组学研究水平上显然是不够的，并不能全面、彻底地阐明作物的生理功能，特别是作物表型与其产量、生理状态之间的相互关系，以及不同的环境条件对作物生长状况、产量、种质质量等的影响。这就需要对作物进行表型组学的研究，通过研究不同的表型性状来确定作物的遗传性状，并且寻找不同环境因子对作物各种指标影响的阈值，从而能够更加科学地阐明作物生长机理，指导作物生产。

Scanalyzer 3D 是目前国际上构建植物表型-基因型平台时最常采用的系统，也是本方案的核心内容。**如无特别说明，本方案中的多数环境要求和技术参数都是为 Scanalyzer 3D 系统设计的。**

温室型高通量植物表型平台属于定制化设计系统，其功能、配置、规模都根据客户的实际需求和预算进行设计。就系统规模而言，可以是很小的单个成像模块在室内工作，也可以是很大的高通量表型平台（图 0-16）。

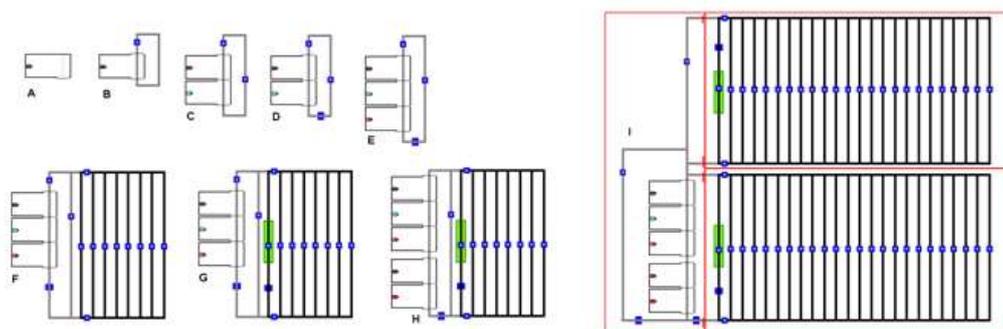


图 0-16 温室型植物表型平台的定制化设计示意图

2.2.7.3 野外型高通量植物表型平台

野外型全自动高通量植物表型平台——Scanalyzer Field 是一套可以全自动、高通量对大田中的农作物进行自动表型成像的系统。它可以在长 40 m、宽 10 m、高 6 m 的范围内对植物进行表型分析。该系统可以配置可见光（VIS）成像、近红外（NIR）成像、红外（IR）成像和高光谱成像，在田间对植物进行三维形态学分析。



图 0-17 野外型高通量植物表型平台示例

2.2.8 植物表型平台的功能模块

本节已国际上构建高通量植物表型-基因型平台最常使用的“温室型高通量植物表型平台 Scanalyzer 3D”为例，对各功能模块做一下简要介绍。

2.2.8.1 三维表型成像模块

成像模块是高通量植物表型平台的核心之一，没有它们就无法获得各种表型图像。目前已经商业化并得到成功应用的成像模块包括：

- 可见光成像系统
- 近红外成像系统
- 红外（热）成像系统
- 根系近红外成像系统
- 荧光成像系统（GFP）
- 光合荧光（ $\Delta F/F_m'$ ）成像系统
- 高光谱成像系统
- 激光 3D 成像系统

除了可见光成像系统是必配外，其它都是选配，可以根据客户的实际需求和经费预算进行选择。除了激光 3D 和根系近红外成像外，其它都配置两套分别用于顶部成像和侧面成像。

2.2.8.2 传送模块

传送模块是高通量植物表型平台的另一大核心，没有传送模块就无法做到“高通量”。一个完整的大型植物高通量表型平台，一般包括三个不同功能的传送模块：

- 温室传送培养系统。安装在温室中，植物放置其上进行培养。其大小直接决定表型平台的通量
- 温室加载传送系统。将植物从温室培养区域传送至表型成像区域。
- 内围传送系统。接收来自温室加载传送系统的植物，依次传送进入成像模块进行测量，然后送回温室加载传送系统。呈循环式运转。

2.2.8.3 辅助模块

辅助模块是高通量植物表型平台建设的重要配套单元，主要包括：

- 自动灌溉和称重系统
- 营养盐添加系统
- 喷淋系统
- 气动推拉门
- 空压机系统
- 高性能电脑和服务器
- 其它辅助模块

2.2.8.4 控制和数据服务模块

控制和数据服务模块是整个高通量植物表型平台运转、数据获取、数据存储、数据分析的控制核心，包括高性能电脑和服务器、控制软件分析软件等。

2.3 植物表型平台建设的基本要求

2.3.1 基本要求

- 1) 供电：
 - a. 传送系统：
 - * 通过电缆供给，95 mm² 电缆，3x400V/N/PE
 - * 160 A
 - b. 电脑：230 V / 16 A
 - c. 服务器：230 V / 20 A
- 2) 压缩空气：约 120 m³/h，品质需求：5 / 4 / 2 ISO 8573-1
- 3) 供水：所需压力小于自来水压力
- 4) IT：传输速率至少 100 Mb/sec，最好 1 Gb/sec

2.3.2 Scanalyzer 3D 温室型植物表型平台对地面的要求

对于 Scanalyzer 3D 型高通量植物表型平台而言，多数情况下一般安装在阳光温室、阳光型人工气候室或人工光型人工气候室中。为了保障植物表型平台的正常安装和运转，上述空间的地面**必须满足**如下要求：

- 1) 除了在计划中有特殊安装需求，在安装系统的最终规划阶段**之前**，地面必须完全空出，没有任何的管路、沟渠等的存在，并保持整洁。如有特殊要求，必须在植物表型平台进行设计前将特殊的安装需求提供给我们。
- 2) 如果有其它设备基础实施需要建在植物表型平台下方，我们强烈建议在植物表型平台安装完成**之后**，再进行其它设备或基础设施的安装，否则将会大大提高植物表型平台的安装成本。
- 3) 如果您还打算在传送系统附件或下方有其它安装，必须遵循以下要求：
 - 安装区域要保证传送带电机外侧有至少 1 m 的空间用于维护
 - 所有线缆周围留出 30 cm 的空间
 - 支撑腿周围留出 20 cm 的空间
 - 传送带下方 10 cm 必须留空
 - 传送带支撑框架的位置和高度的确定必须依照泽泉提供的设计方案。
 - 计划书与实际安装中可能出现偏离。为安装其它组件而作出的调整由计划书起草人

负责。如果由于在系统安装前计划书变化而导致安装需要更改，泽泉无需负责。

- 4) **整个植物表型平台安装地面的最大高度差**（最高处和最低处的高度差异）不得超过 40 mm，并且在系统支撑脚附近空出 300 mm 空间（见图 1）。无论系统安装在一个房间或分割成几个房间安装，整套设备地面都须遵守不超过 40 mm 的最大高度差。这一规则必须遵守，除非明确指出其它绝对偏差及在植物表型平台系统机械设计阶段最终定稿前明确更改成文。在机械设计书的传送系统部分定稿前，客户需提供详细的房间空间规格及地面高度，包括传送带装置周围 300 mm 的空间。我们强烈推荐至少在自动灌溉和称重系统处，以及在需要排水或蓄水的走道处，建造高度差不超过 400 mm 坡度地面（图 0-18），以方便排水。

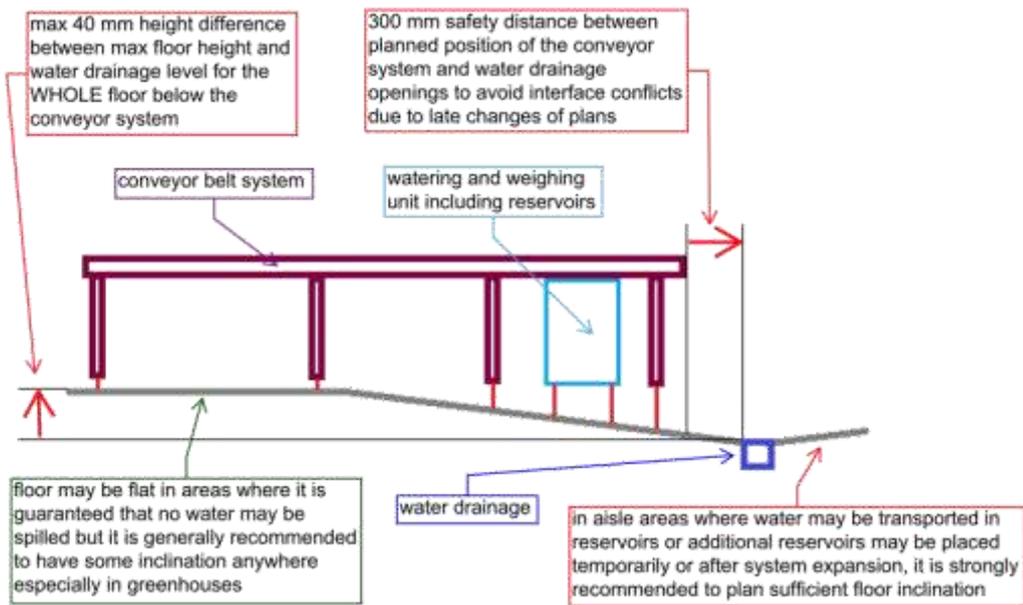


图 0-18 植物表型平台传送系统安装地面要求示意图

- 5) 为了避免排水口和传送装置支撑腿之间的相互干扰，我们强烈建议将所有排水口安装在支撑腿固定装置外侧至少 300 mm 以外的过道中。300 mm 这一距离是为了确保即便安装规划在最后阶段还被更改，也能够保证系统安装结束后排水方便、通畅。
- 6) 要求所有地面区域（包括排水系统区域的地面）的承重不低于 2 000 kg/m²，以便于系统的安装、正常使用及维护。如果地面承重无法满足要求，必须立即通知我们。
- 7) **货物托盘（Pallets）**

需要指出的是，在安装时经常遇到占地 1m² 面积（标准 800x1200 mm）的货物托盘上承受 1000 kg 的重量。针对不同的系统而言，有的托盘加传送系统的重量可能达到数吨，

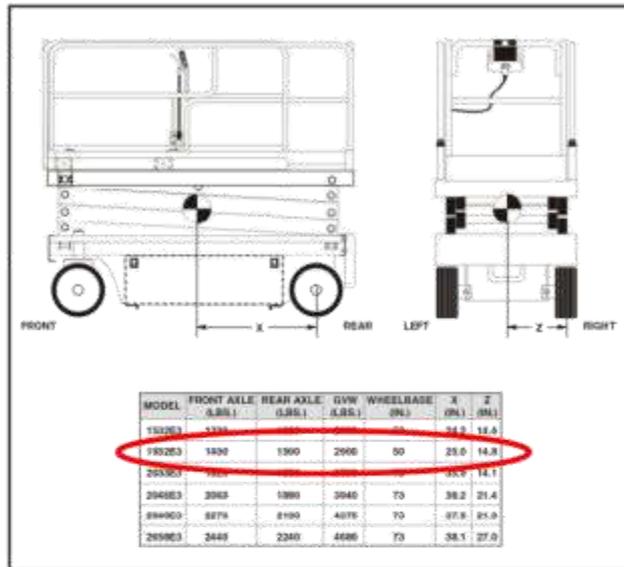
所以必须通过叉车移动。

8) 叉车

用于运输（装有传送系统的）货物托盘的叉车必须要能够达到载重 1500 kg/m^2 。举个简单的例子：一个载重 600 kg （全重 2500 kg ）的叉车需要地面能提供 1000 kg/m^2 的交通载荷。所以当叉车携带重 2.5 吨的传送系统进入温室区域时，通常需要地面能够提供 1500 kg/m^2 的交通载荷。

9) 剪式升降机

植物表型平台安装过程中需要使用剪式升降机来完成升降工作。为了安装成像单元，正常安装条件下剪式升降机最小的交通负荷为 1500 kg/m^2 。我们要求剪式升降机装载容量不低于 225 kg ，因此不能选择小型的剪式升降机。同时，剪式升降机必须能够通过所有房间的入口，大多数情况下尺寸 800 mm 宽 x 2 m 高的门足够通过。有时候需要剪式升降机运载能力超过 2000 kg/m^2 。地面的单点承重能力非常重要，特别是当地面不是混凝土时尤为重要。下图例子中剪式升降机需要地面承受压力为 $7.5\text{-}8 \text{ kg/cm}^2$ （相当于 $75\text{-}80 \text{ t/m}^2$ ）。下例图中显示的是最常见的剪式升降机。请确认您的剪式升降机是否适合植物表型平台的安装。



Scissor Lift 1932E3

Model	1932E3			
GVW	2900 lbs	=>	1315 kg	
X	29,0 inch	=>	0,635 m	
Z	14,8 inch	=>	0,376 m	
Area	= 2*X + 2*Z	=>	1480 inch ²	
Load	= GVW / Area	=>	1,959 lbs/inch ²	
Force	= Load * Gravity	=>	8,716 lbf/inch ²	
			=>	13515 N/m ²

3120761

- JLG Sizzor -

4-7

图 0-19 剪式升降机示例

为了寻求具有足够荷载能力的机器用于植物表型平台的安装，荷载及力学参数同样需要向我们提供。由于计算方法可能因需求而异，因此 1378 kg/m² 只是根据制造商提供的参数计算的。

- 10) 地面必须足够坚硬，并且能够承受各个单点荷载。每个传送带支撑腿（直径 8 cm）的单点负载能达到 1 000 kg。对于个别系统的特殊净荷载，如果有必要的话，可以单独进行计算。

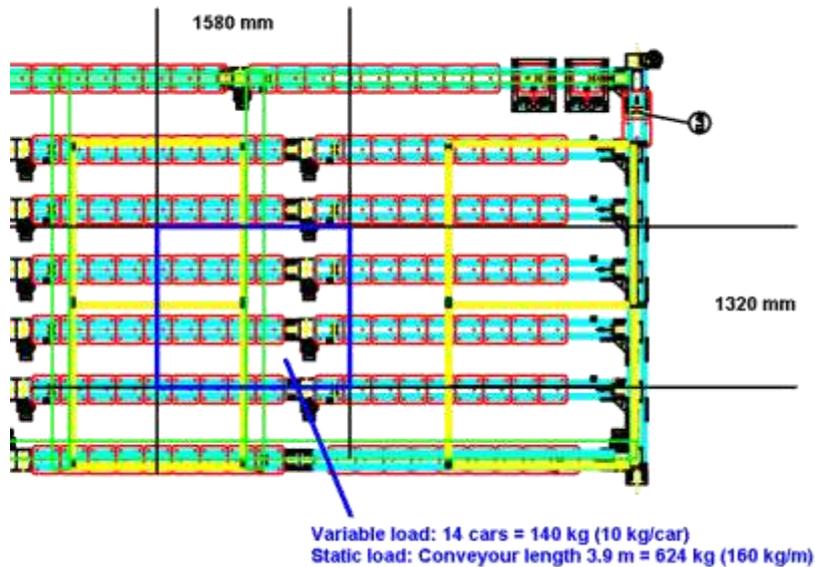


图 0-20 传送系统支撑腿的载荷距离

上图显示了一个典型的传送装置的一部分。蓝色方框内的区域为计算了中间绿色支撑腿荷载的区域。此区域的传送带长度及盆数积累并乘以计算得到的重量。这种方法表明，任何支撑腿只承受其区域的荷载。这样，荷载总数为静荷载 624 kg + 动态荷载 140 kg（传送车在或不在系统中）。由此，得到每条支撑腿的荷载为 764 kg。上面所说的假设每条支撑腿只承受其自身的荷载并不包括特殊情况。同样，一些中心区域支撑腿需要更多负载以保持设备的最优构造，其每支撑腿需要承受 1000 kg 荷载。对于标准支撑腿，其直径为 8 cm，地面承压为 1000 kg/50cm² 或 20 kg/cm²。如果地面承载无法达到该压力，必须告知我们相关特殊参数，我们好做相应的设计改变，包括重量扩展项或更多的支撑腿数目、费用以及建筑材料等。

- 11) 地面必须在承载负荷时不塌陷或出现裂缝。传送系统是一套排列在地面的高精度设备，当有植物在传送时，其单个传送带支撑腿负载能变化至超过 200 kg。
- 12) 如果地面不是混凝土结构，所有地面结构计划必须在较早时通知我们，以便确定地面由于温度变化而导致的耐久性和膨胀性变化不会损害植物表型系统的正常运转。我们强烈推荐无损的、无膨胀性的混凝土地面，但其他符合要求的设计也可采纳。如果室内温度高于 30℃ 时，非混凝土地面的热膨胀是比较严重的问题。
- 13) 我们要求将传送带框架与地面牢牢固定。这种连接必须保证能够适应在垂直和水平方向上长时间震动以及荷载的变化。通常用聚合物密封螺栓（直径 10~16 mm，长度 60~

160 mm，取决于螺栓。通常地面厚度要达到螺栓洞深度的 2 倍以上，即 **120-320 mm**）将其固定在水泥或混凝土地面上。这种方法是否可用必须预先与客户进行沟通。如果不能使用上述方法，必须提前告知我们。当客户确认此方法可行并没有其他障碍（金属棒、地热装置、供电线、楼层厚度不够及其他不正常的障碍）时，我们将执行钻孔及安装固定附件。如果存在任何问题，所有施工必须重新设计并找到合适的解决方案。这样的话，我们建议客户提供钻好的螺栓孔或停止传送带安装以确保安全。这种情况下，我们将在安装完五金硬件后提供固定安装要点。客户需提供关于地面设计和上述可能存在的限制安装要素的足够和综合的信息。

- 14) 为了将传送装置固定在人工气候室的不锈钢地板上，人工气候室厂家需在传送带装置放置在适当位置后再将带有螺纹的板材焊接在箱体内部。传送带框架即可固定在地面。
- 15) 如果地面在动态负载下存在弯曲或沉降风险，客户需要提供如何稳定固定传送装置的方法，甚至这可能需要穿过几层隔离材料。
- 16) 植物表型平台的传送系统下方留出了 200 mm 的空隙以方便清洁地面。当然，系统支撑腿、成像单元、灌溉单元、称重单元或配电箱（包括二级配电箱）等下方无空隙。可使用小型吸尘器甚至擦拭机器人清理系统底部地板。

2.3.3 供电相关要求

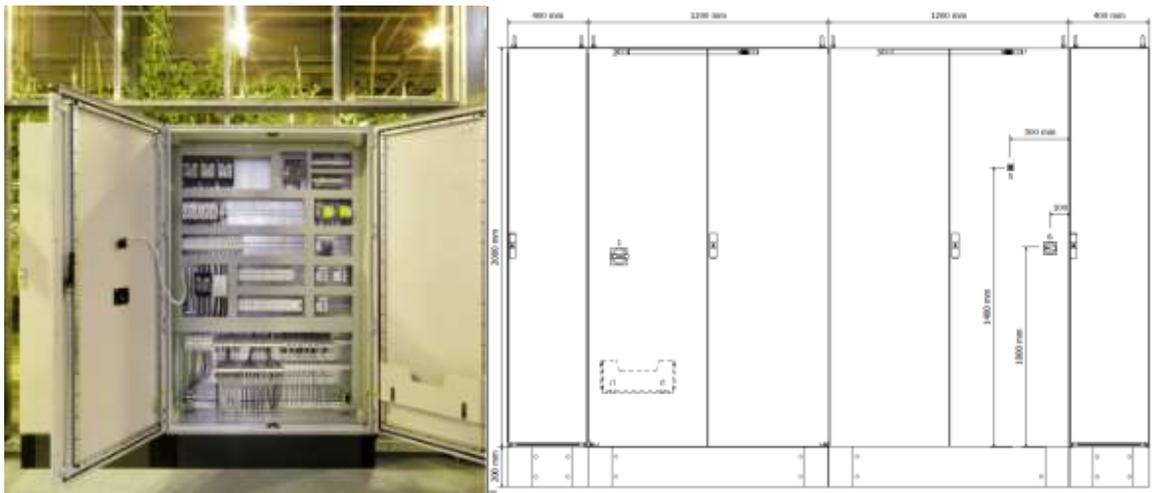


图 0-21 植物表型平台配电箱实物图和设计图

2.3.3.1 总配电箱的连接

- 1 路 400 V（三相电），提供 45KW 电能，给表型平台

- 3 路独立的 (16-20A) 230V 电, 给电脑和服务器

2.3.3.2 服务器电源供应

服务器电源供应	120 V 模式	208 V 模式	230 V 模式
额定电压	120 V	208 V	230 V
电压范围	82-144 V 自动侦测	155-255 V 自动侦测	160-286 V 自动侦测
额定频率	50-60 Hz 自动侦测, ± 3 Hz		
效率 (正常模式)	>95%	>95%	>95%
噪音过滤		全职 EMI/RFI 过滤	
连接	2 m, L5-30P 连接电源线	IEC 320-C20 输入连接器, 16 A	IEC 320-C20 输入连接器, 16 A
电力负荷	2700 W	2700 W	2700 W
输出插座	L5-20R, 20 A	L6-20R, 20 A	IEC 320-C13, 10 A
	5-20R, 20 A	L6-30R, 30 A	IEC 320-C19, 16 A
	IEC320-C13, 15 A		IEC 320-C13, 10 A

2.3.3.3 以防断电的选择和考虑

为了防止停电, 通常会为服务器配置一个 UPS, 或者将服务器连接至本地 UPS。控制电脑通常会配置一个小型 UPS, 保证电脑至少可以工作 20 min 以上, 保证可以通过一个控制端结束当前所有程序。

默认状态下, 除了电脑以外, 传送系统所有的电子元件在断电时立即停止工作, 空压机也停止运转。此时, 所有传送车都停在最后确定的位置, 并由控制电脑记录位置信息, 但系统某些区域的机械状态是不清楚的, 尤其对于成像暗房中的自动升降旋转装置、摄像头拍摄图像以及气动推拉门等等。也就是说, 系统并没有到达预设的安全中断位置, 该位置是电力恢复后系统立即重启的保证。基于以上原因, 对于较为复杂的机械系统, 需要一定程度的人为控制, 并且有激活的重启程序, 这样便可以最大程度降低实验材料伤害的潜在风险。LemnaSweeper 软件可以初始化每一条传送带、推拉门、旋转升降平台等装置, 能够有效地将植物运送到指定区域, 以保证整个系统的安全初始化和重新启动。例如, 在系统重启过程中成像暗房内必须没有植物, 用于保证自动旋转升降平台的初始化过程不会对植物造成损伤。系统只有经过了初始化过程, 才能保证所有模块功能正常, 这对于系统本身、植物以及人身安全来说都是必需的。

由于控制电脑有独立的 UPS 系统, 因此在断电情况下依然可以迅速保存所有错误信息, 并发送给相关收件人。这个程序属于植物表型平台的一个标准程序, 已经应用到了所有植物表型平

台当中，并且受到了用户的好评。

断电情况下，为整套系统提供一段时间的持续电力供应，保证所有组件都返回到预设的安全中断位置，这个过程本身比定义一个电源要复杂的多。因此，对于如此复杂的系统而言，我们需要与当地供应商共同计划、互换信息，如下：

- 1、必须提供绝对连续的电力供应；
- 2、必须明确是否能够提供三相电；
- 3、正常工作状态下，实际所需的电能远远低于连接电源，因为只有很小一部分组件同时工作，然而至少保证功率不能低于 15 kW（三相电）；
- 4、大功率组件（如近红外光源）在断电时可以立即关闭，但是需要一个几秒钟反应时间内最大负荷的详细分析结果。

如果想要在系统中加入以上功能，一定要对系统启动时所有电子组件的显著变化进行明确、分析和确定，这些都需要我们与当地 UPS 供应商的紧密沟通。

2.3.3.4 工作站电源供应

工作站电源供应	DT (EPA)	SFF (EPA)
电源功率	300W 高功率	280W 高功率
输入电压范围	100 到 240Vac	100 到 240Vac
交流电输入（低交流电范围/高交流电范围）	6.0A / 3.0A	5.0A / 2.5A
输入电压频率	50HZ / 60HZ	50HZ / 60HZ
交流滞留时间（80%负载）	16MSEC	16MSEC
平均效率（能源之星 5.0 兼容）	88%	88%

2.3.4 自动灌溉装置和供水相关要求

2.3.4.1 自动灌溉装置

灌溉装置是植物表型平台的自动灌溉和称重系统的一部分。它有一个容量为 3 L 的小型水箱（图 0-22），用于降低水压至环境压力。这一能够自动注满的水箱非常重要，因为随后的精密蠕动泵需要非加压水。这是一个自由流通水箱。由此，不需要向我们提供每盆植物的用水量或者植物的大小。水箱容量为 3 L 是一个技术尺寸以便于其能够自动装满。蠕动泵从自由流通的水箱中取水并浇灌植物。

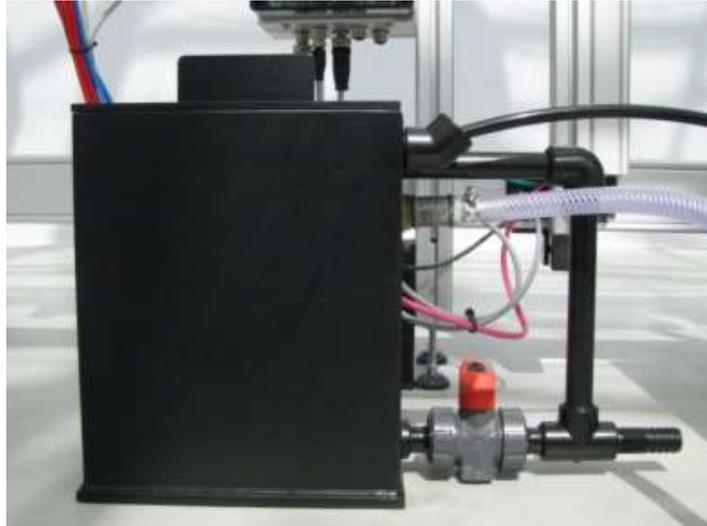


图 0-22 灌溉装置的水箱实物图

除另有规定外，每个灌溉站都有其特定的从水箱中接出的供水管。如果使用双联灌溉站，两个泵需要从同一个水箱中连接出各自的供水管。大多数情况下，如果两个泵使用同一种水的话，可从一个自由流通水箱中取水。通常，一个灌溉装置也包含施肥装置，只有供水泵连接着管道系统，经过自由流通水箱。所有其他泵（相当于施肥加上其他选择）从各自水箱中获得水，这些水箱由客户提供（除另有规定）。关于其他用于施肥的附加泵蓄水池，图 0-23 显示了可能的连接布局。

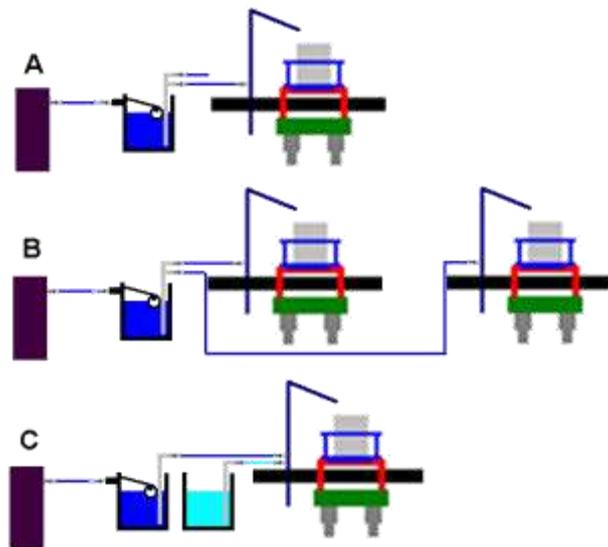


图 0-23 灌溉装置供水系统连接示意图

A：一个自由流通水箱对应于一个供水单元及软管泵

B: 一个水箱对应于一个双联供水站，合用一个自由流通水箱

C: 一个水站的不同类型的供水系统。浅蓝色蓄水池代表一个经常移动的储水单元，由用户提供，
用于施肥附加泵

2.3.4.2 供水相关要求

连接

在温室或人工气候室中，需要有一根管路连接到自由流通水箱，通过这根管路为植物表型平台的灌溉装置提供供水。

位置和长度

需要由客户提供供水连接直到自由流通水箱中。这种安装必须满足所有技术和法律要求。根据安装的要点，可能需要有协同安装。总体设计图用于客户在传送装置安装结束及自由流通水箱安放到位后立即安装管道。

大多数水管用刚硬水管，最后连接到供水装置（自由流通水箱）的 2 米管道需要用易弯曲、能承压及耐 UV 管道。请额外提供一段长度约 2 米的管子以备用。

螺纹

在易弯曲管道末端，灌溉装置需要一个内径/母螺纹 3/8”的螺纹以将管道装配到自由流通水箱，因为水箱具有一个外径 3/8”的螺纹。需要记住的是，3/8”只是螺纹类型的名称，不要与其真实的直径混淆。

供水

水压不能高于 5 bar。水流速必须满足 10 L/min，且无重大的水压突降，这一需求远小于正常水管供水标准。在两个泵同时连接到一个流通水箱中时，最小流速应该高于 20 L/min。请确认是否有其它用水管路连接到此管道中，因为这会造成流速的积累。

大多数情况下由一根管道供给多个自由流通水箱，但这必须确保有合适的流速。

如果没有自来水供给而使用其它供水时（反渗透、离子交换、雨水等），仔细确认流速更为重要。

请告知我们您需要的管道参数、压力说明以及您想用何种方法将水导致最终地点。

供水安全须知

当自由流通水箱中的水流停止或堵塞时，植物表型平台系统不提供报警装置。为此，客户需要注意是否管路中有充足的水。

水质要求

灌溉水需没有沉淀物和大颗粒，因为这些可能堵塞自由流通水箱或破坏软管。由于大约 3 L 水存留在自由流通水箱中，而其他水将始终在管子中流动，因此请采取措施将水中的细菌含量控制到最低以避免污染。自来水和地下水基本没有这个问题，而对于储蓄水，需要对其进行预过滤。

如果地下水含有大量铁离子，长时间后将会有沉降物，而沉降物会在水系统中产生薄膜和沉淀物。如果发生了这一情况，请经常除去水箱和管道内的铁离子沉降物。否则泵的精度将会出现偏差。

材料

植物表型平台供水装置的所有直接与水接触的部件均为非金属部件，这是出于避免金属污染或者由于肥料或盐溶液导致的腐蚀现象的产生。

供水计算须知

测量系统的最大需水量的步骤：

- 1) 将一些几乎最大尺寸的植物放置在温室或人工气候室并控制环境条件测量高耗水量。记录不同物种间的耗水差或者用一种物种与一种已知高耗水量进行比较，记录差别。2 或 3 组在不同位置的重复就能够进行估算。
- 2) 浇水后称量所有植物的重量，包括托盘。
- 3) 按照设计好的时间间隔（例如 1 天）重复称重。如果我们认为这将可能对结果有重大影响，这一过程可能执行几天，也可能用于不同的泥土类型、花盆尺寸或灌溉间隔。
- 4) 计算每株植物的最大耗水量以及浇水间隔。
- 5) 将此数据乘以所有或部分灌溉站点的每圈需要被灌溉的植物数量。
- 6) 由于这是每株植物的最大需水量，进一步的灌溉量通常不要求，因为如果先前的储水罐

不适宜估算的需水量，我们可以更换更大的储水罐。

使用其它植物表型平台传送系统的数据时可能导致偏差，因为耗水量与植物的许多培养条件相关，例如温度、太阳光辐射强度、日照角度、植物密度、空气湿度、风速、泥土类型、花盆大小、植物种类、植物大小以及由于生长面积导致的自我遮阴等。

2.3.4.3 营养盐添加装置相关要求

用于肥料附加泵的储水罐

用于肥料附加泵的储水罐由客户提供。客户可灵活地选择储水罐大小，便于直接在容器内准备溶液。这些储水罐通过外加的泵在每个自动灌溉和称重系统站点向植物加入已配好的营养液或其他溶液（盐溶液等）。

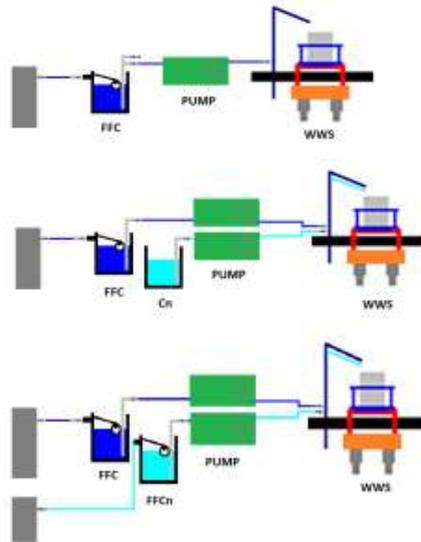


图 0-24 灌溉装置与营养盐添加装置连接示意图

上部：一个自由流通水箱（FFC）由一根软管泵连接至自动灌溉与称重系统（WWS）。

中部：在一个 WWS 处增加了一个营养盐添加装置。本例中，外加溶液由一个装满已配好溶液的容器（Cn）提供。

下部：在一个 WWS 处增加了一个营养盐添加装置。本例中，外加溶液由一个装有已配好溶液的容器（Cn）提供，而此容器中的溶液由泵从一个更大的容器中抽出。

这两个例子中，在一个 WWS 处都可以增加不止一个营养盐添加装置。

固定剂量处理

大多数情况下，液体供给常与正常供水结合使用。这里，配制好的营养液或盐溶液被加入到植物花盆中，然后立即通过标准水泵向花盆中加入适量的水使其达到目标重量。这种方法能够保证同组植株都受到相同的处理，例如相同剂量药物处理、营养处理或溶液处理（如盐溶液）。这种方法还能够使不同处理组的植物受到不同剂量、盐度或营养的处理，而这只需要增加一个泵以及一种盐/营养溶液。在这种情况下，储水罐的大小可以确定，因为只需知道需要供给的体积以及需要被特殊溶液处理的样品数即可。

可变剂量处理

如果一组样品随着时间增加会消耗更多水分，需要更多盐类或营养素时，需要提供所有水+盐/营养溶液通过营养附加泵。储水罐的尺寸以及需要使用的体积必须经过个别实验甚至多次实验以估算。储水罐安放的位置需要在机械规划书中体现。除特殊规定之外，可用的区域面积大约为高 500 mm、面积 600 mm² 的平台（大约在 100 mm 高处）。这些平台在有些情况下，例如需要更大的储水罐需要放在此处时，可以被移走。

如果储水罐超过 10 L 以及在一个灌溉和称重站点需要多于 1 个储水罐时，需要提前告知我们。通常储水罐最大尺寸需要在类似生长条件下类似植物生长的预实验数据来估算。

如果必须计算最大体积时，请按照供水计算须知计算。

2.3.4.4 排水要求

排水要求的细节请参考 2.3.2 节相关内容。

我们强烈建议在自动灌溉和称重系统附近区域建造排水口，以保证灌溉水在机器测试、系统冲洗或空置时能够流出。如果使用肥料溶液时或者当传送系统安装在人工气候室内时，这一点尤为重要。

排水口最好不要安置在传送带装置下方，而是安置在其附近靠近泵的过道。

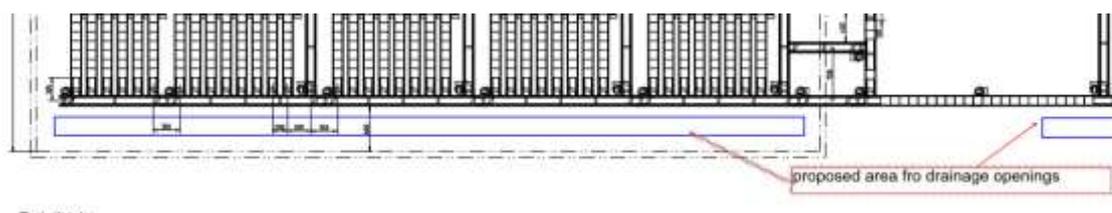


图 0-25 建议的排水口安装区域

对于大型植物生长箱而言，如果生长箱没有一体化的排水口，我们可以提供聚合物材料的小池子用于排水。整个灌溉系统需要安装进这样的池子中。小池子只是在被需要时作为单独模块提供。这些措施将产生额外的费用。

2.3.5 表型平台与控制电脑的连接

下图显示了常用的植物表型平台不同组件之间的 IT 连接示意图。

- 蓝色直线由我们提供，代表特殊的 IT 连接。
- 蓝色点线是我们基于以太网标准设计的特殊 IT 布线，但是这需要与客户的内联网分离。
详述请见下文“连接概述及说明”。
- 红色点线是客户正常上网使用的以太网线，需要客户提供。

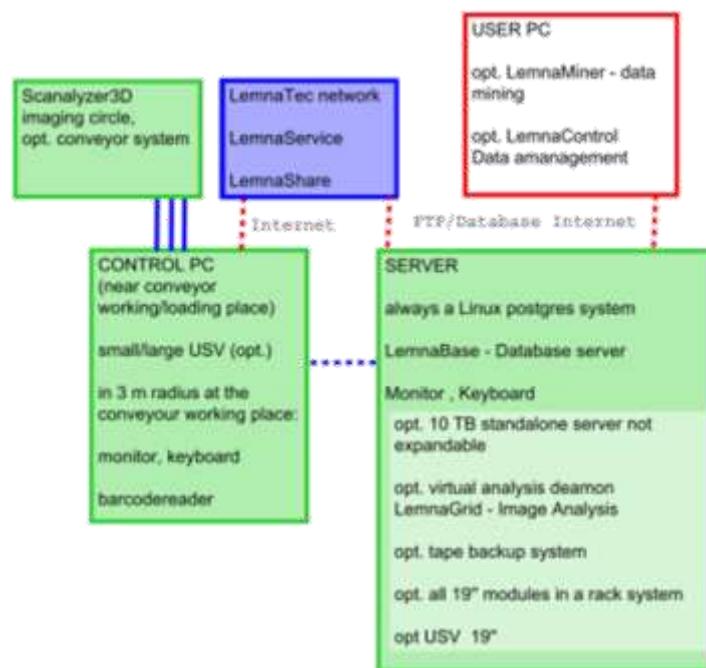


图 0-26 植物表型平台 IT 连接示意图

对于一些特殊的需要定制化设计的系统而言，需要注意：

- 由于服务器包含了所有结构信息并成为真正的核心部分，所有研究初始数据和分析结果必须保存在空调环境中。服务器将对初始数据进行分析，并且一些其他结构方面的工作也将由服务器完成。
- 所有用户电脑只连接在服务器上。

- 只有控制计算机能够直接控制所有硬件，因为它需要完成设置工作，例如成像单元设置、测量程序的启动、通过 USB 加载特殊的测量程序等。
- 控制计算机与服务器之间的以太网连接需要至少 100Mb/sec 网速，最好达到 1Gb/sec。

2.3.5.1 表型平台的信息交换模块

高通量植物表型平台由一系列必要的和可选的模块构成，这些模块之间需要有信息交换。为了对模块功能有一个基本的了解，下面做简单介绍。

- 1) Scanalyzer 系统：Scanalyzer 系统是包括控制组件的植物表型平台的硬件部分，分为 Scanalyzer HTS、Scanalyzer PL、Scanalyzer 3D 和 Scanalyzer Field。
- 2) 控制计算机：这部计算机是每个 Scanalyzer 系统的核心，从 Scanalyzer 系统到数据库的所有信息交换都在这里进行。计算机控制所有系统操作，包括所有照相机的软件操作、照片从照相机到服务器的传输、从数据库传输数据（比如照相机排列）至照相机成像单元等。这部计算机通常安放在 Scanalyzer 系统的主控制室，主控制室一般建在温室/人工气候室外面，是一间独立的房间。
- 3) 服务器：这里存放着所有需要被保存的信息，包括照片、分析结果、照片探测排布等。其实这里才是整套系统真正的核心。因此，服务器必须安置在外部环境非常安全（不易被盗窃、不易漏水和不易被淹）并且能够控温的房间里。由于服务器的运行会产生很大的噪音，因此不建议安装在办公室中。独立服务器可以像普通计算机一样被对待。
- 4) LemnaTec：LemnaTec 单元是指通过互联网的远程服务连接到系统的 LemnaTec 设备。
- 5) 客户计算机：我们不提供客户用计算机，客户端计算机用于与植物表型平台的数据库和所有部件的软件连接，但不能与硬件控制器连接。人们通过专门的软件狗才能够在这类计算机上运行表型平台软件。

2.3.5.2 表型平台信息交换模块的配件

高通量植物表型平台系统的信息交换模块包括了一系列必配和选配部件。为了对这些组件功能、需求和选择有一个基本了解，简述如下：

- 1) 数据服务器支架：如果数据服务器的组成不止一部独立服务器+独立 UPS，则需要配备一个服务器支架。数据库服务器需要控制支架上所有服务器的运行。
- 2) 服务器的存储系统：所有数据存储于多个硬盘驱动器上。
- 3) 服务器的备用系统：服务器支架的磁带系统用于备份（选配）。

- 4) 支架安装服务：通常我们提供一个完全的支架安装服务。因此，如果客户想将配件安装在他们自己的支架上，他们必须熟练地掌握各种安装、匹配和连接过程。
- 5) 服务器支架 UPS：为了防止突然断电或者电源突然故障，必须安装一个不间断电源（UPS），UPS 单元会包含一系列的蓄电池和电源控制器。
- 6) 服务器开关：开关需要连接在服务器内部的不同组件上，并且延伸到外部的连接也必须安装完好。
- 7) 服务器小型显示屏：由于服务器显示屏只在维修服务器时使用，因此这个显示屏相对较小，并且安装在服务器上或者小于 5 m 的范围内。
- 8) 控制计算机：这部计算机是每个植物表型平台系统的核心，从表型平台系统到数据库的所有信息交换都在这里进行。
- 9) 控制计算机或独立服务器的小型 UPS：UPS 单元经常安装在用户不能主观直接开关计算机的地方。这样，用户只有一个按钮启动或关闭控制计算机。对于独立服务器，UPS 是一个非常好的选择来保证系统的运转，即便出现电源故障或突然停电。
- 10) 控制/分析计算机大型显示屏：由于这些计算机都是工作计算机，通常需要较大的显示屏方便它们工作。
- 11) 成像单元和传送系统开关：每个型号的表型平台系统都需要规定的开关来连接控制计算机。
- 12) 键盘：每个显示屏都有一个键盘。我们为特定的系统选择键盘。
- 13) 条形码阅读器：传送装置和负载系统都装有一个移动式条形码阅读器，并连接在传送装置的显示屏上。条形码阅读器在这里将所有标准编码进行分类，这些编码可能是一个条形码或两个数据矩阵编码/QR 编码。

2.3.5.3 控制计算机和手工装卸区工作台

在像单元的手动加载区域用于研究者将植物加载到传送系统上，进行长期实验。研究者也可以从其他温室或人工气候室中取出植物用于快速成像，然后将他们人工搬回到起初的培养位置。这种情况下，植物传送车需要到达有射频阅读器的装载区域。研究者需要将盆栽放到传送车上并且用手持式条码阅读器来识别并保持样品信息，并且将其记录进数据库。研究者需要按下“Enter”，然后传送车将进入其设置好的路线，紧接着下一盆植物同样操作。如果植物没有条形码或者条形

码无法阅读，例如条形码破损或模糊不清，研究者会从显示屏的错误信息上立即发现。此时研究者可以通过手动输入条形码来弥补。因此，条形码阅读器、键盘和显示器在此区域的工作台上是必须的，而这些需要客户自己提供。

靠近加载区域应该放置一台显示屏，以便于工作人员能够更好地看到自己输入的工作命令以及在系统启动前的安全确认。另外，此处的工作显示器还可以用于工作人员查看系统软件的工作状态。有时候（比如隔壁房间带有窗户）能够将计算机安装在其他区域，但是键盘、屏幕和条形码阅读器仍然需要安装在加载区的工作台。

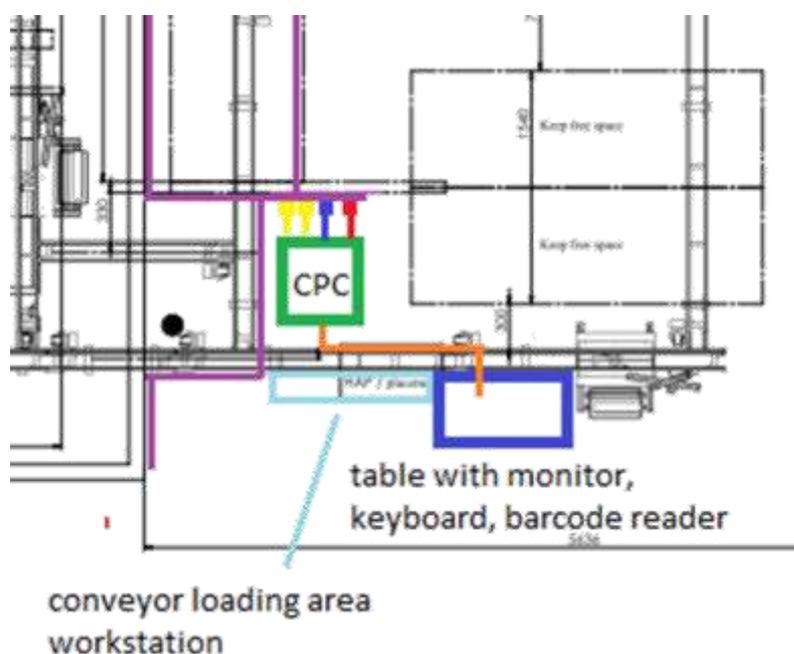


图 0-27 安装控制计算机和带有显示器的工作台的示意图

计算机需要两个单相电源（绿色）和两个 IT 连接器（一个连接到服务器，另一个连接到互联网（红和蓝）），这些由客户提供。紫色线显示了两种不同的选择，分别是接入和接出表型平台系统。大多数情况下，安装的最终方案会在硬件安装时提出。电源线和 IT 电缆必须装在分开的插座上。我们强烈建议在传送装置工作台处设立一部电话连接，以便能够得到最优服务（最好是无线基站）。

可以在成像区域附近安装一台额外的电脑，当然这台电脑需要额外的插座和电线连接内网，并且置于服务器连接，当然这只是我们提出的一个选配方案。

2.3.5.4 服务器

服务器一般安装在专门的服务器房间。控制计算机与服务器的连接需要以太网线并且满足以下需求：

- 以太网连接
- 最小 CAT 5e，推荐 CAT 6e
- 不能用玻璃纤维线
- 传输速率最少 100 Mb/sec，最好 1 Gb/sec
- 只用于植物表型平台的数据传输

控制计算机与服务器的 IT 连接通常由客户提供，特殊情况除外。

首先需要测试服务器是否能安放在控制计算机附近。

2.3.6 压缩空气要求（用户基建部分）

植物表型平台的运转需要压缩空气。空气压缩机系统可以由我们提供，也可以由用户提供。如果客户自己具备空压机系统，那么压缩空气的质量必须满足以下最低要求。如不满足，必须在第一次启动系统前告知：

- 工作压力：6.0 bar
- 压缩空气平均用量：2 m³/min (120 m³/h)
- 系统最大压缩空气用量：1 分钟 4 m³，用合适的储存罐和管子
- 压缩空气最小标准：6/4*/3 ISO 8573-1:2010
- 为了可靠地连续使用气体，系统需要有足够的冗余量，并且推荐配备必要的紧急操作预案。这就需要一台系统配备 2-3 台 1.6 m³/min 的压缩机（97 m³/h）。

*压力露点必须至少低于环境温度 15°C。

如果整个系统的供电由发电机来提供，请务必弄清楚其用于压缩空气的额定功率和实际功率。理论上，高效率压缩机需要 16-20 KW 来提供 2 m³/min (120 m³/h)的压缩空气。但是，实际值是根据压缩系统的使用情况来定的。

这里有一份推荐的压缩空气质量分类表，用于各种不同气动装置，来保证设备的运转正常。在表格中，压缩空气质量根据不同污染被列出。质量分类在 DIN ISO 8573-1 中列出。

质量标准有三个数字分别表示微粒、水分和油分组成。对于高通量植物表型平台系统，级别 6/4/3（灰色标出）表示符合要求。

Klasse Class Classe	Übersichtstabelle der Klasseneinteilung nach ISO 8573-1			Synoptical table of classification according to ISO 8573-1		Tableau récapitulatif de la classification suivant ISO 8573-1	
	Feststoffe Solids Solides			Feuchte - Wassergehalt Moisture - water content Humidité - Teneur en eau		Ölgehalt Oil content Teneur en huile	
	Max. Anzahl der Partikel pro m ³	Größe der Partikel	Menge der Partikel	Drucktaupunkt*	Wassermenge	Ölmenge	
	Max. number of particles per m ³	Particle size	Number of particles	Pressure dew point*	Amount of water	Amount of oil	
Nombre max. de particules par m ³	Taille des particules	Nombre de particules	Point de rosée* de la pression*	Quantité d'eau	Quantité d'huile		
1 < d ≤ 5 µm	[µm]	[mg/m ³]	[°C]	[g/m ³]	[mg/m ³]		
0	**	-	-	**	-	**	
1	0	-	-	≤ -70	-	≤ 0,01	
2	10	-	-	≤ -40	-	≤ 0,1	
3	500	-	-	≤ -20	-	≤ 1	
4	1 000	-	-	≤ +3	-	≤ 5	
5	20 000	-	-	≤ +7	-	-	
6	-	≤ 5	≤ 5	≤ +10	-	-	
7	-	≤ 40	≤ 10	-	≤ 0,5	-	
8	-	-	-	-	0,5 ≤ m ≤ 5	-	
9	-	-	-	-	5 ≤ m ≤ 10	-	

* Der Drucktaupunkt sollte mindestens 15 °C unter der Umgebungstemperatur liegen. * The pressure dew point should lie at least 15 °C below the ambient temperature. * Le point de rosée de la pression doit être au moins 15 °C en dessous de la température ambiante.

** zu vereinbaren ** to be stipulated ** à convenir

图 0-28 压缩空气质量要求

2.4 植物表型平台的硬件设计

2.4.1 成像系统

2.4.1.1 成像暗房

全自动高通量植物表型平台的成像区由一个个独立的“成像暗房”构成。每个“成像暗房”都为相应的成像模块（如可见光成像、近红外成像、荧光成像……）配备了高品质、专业、稳定的背景光源，以保证长期、大批量成像的色彩稳定性。多个“成像暗房”紧挨着串联在传送系统上，按顺序依次协同工作。成像暗房的结构如下图所示，其大小取决于植株高度、冠层直径和温室空间。

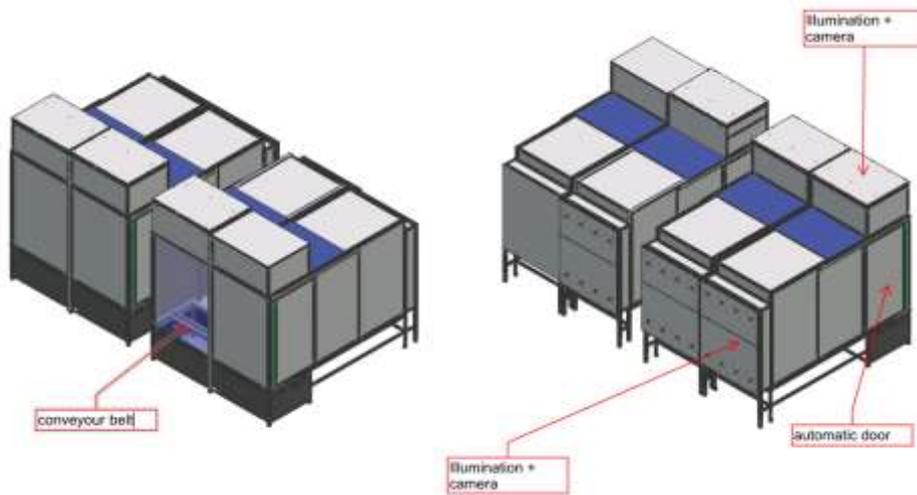


图 0-29 成像暗房的 3D 结构示意图

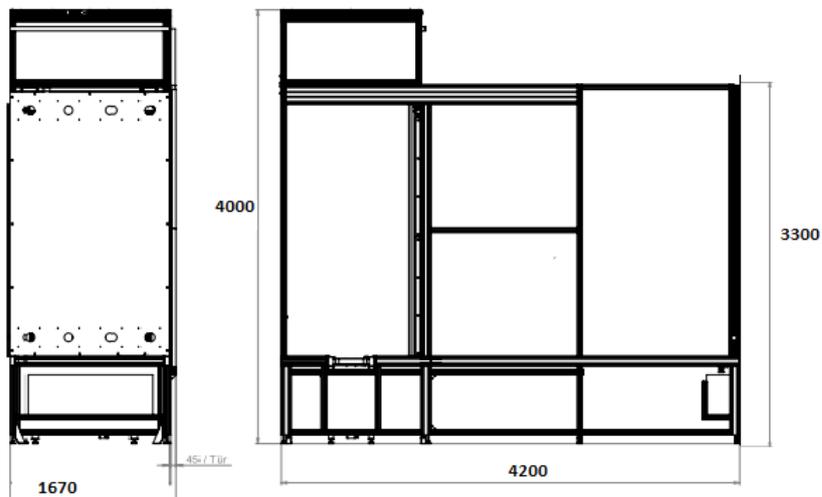


图 0-30 成像暗房的前视图和侧视图

图中结构设计适合于冠层直径 1-1.5 m 的植株。暗房高度设计取决于植株高度和温室的空间，需具体情况具体分析。

不同的成像模块所需的背景光源不同，因此在成像暗房的设计上还必须针对实际需要进行背景光的设计。图 0-31 示出了成像暗房的背景光源，不同的成像系统所需光源不同，结构设计也有差异。

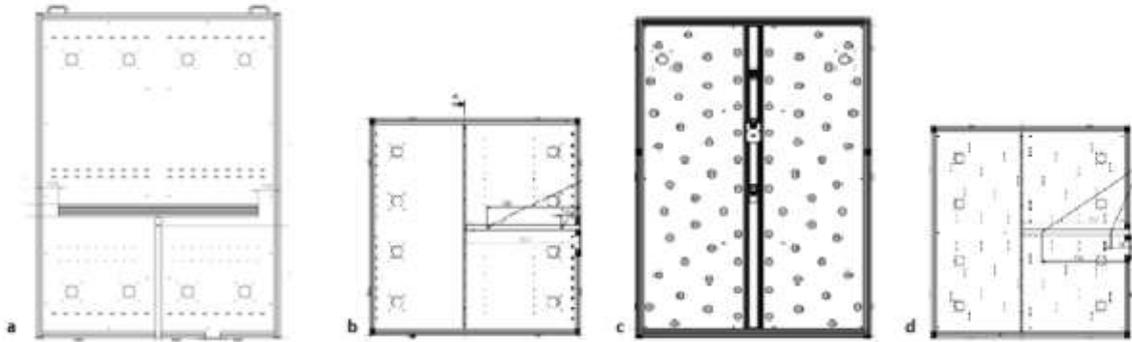


图 0-31 成像暗房背景光源结构示意图

a 和 c，侧面光源；b 和 d，顶部光源。a 和 b，荧光灯管；c 和 d，卤素灯。

不同的成像暗房背景光源不同，结构也有差异。

2.4.1.2 成像暗房的工作条件

为了保障各种高精度成像设备的正常工作，要求成像暗房满足如下环境条件

- 工作温度：18~30℃
- 储藏温度：-20~80℃
- 相对湿度：20%~80%

2.4.1.3 成像系统的一般工作模式

以下的文字描述了植株在成像系统中的运行模式：

- 1) 植物在进入第一个成像模块之前会先遇到 RFID（射频）身份识别器。
- 2) RFID 芯片读出每株植物的身份信息（成像配置参数 IUC，针对每株植物设计），系统会在植物到来前将这些信息传输至每一个成像模块。
- 3) 前一轮的成像程序完成后气动推拉门会打开。
- 4) 植物进入成像模块，并停止在旋转升降装置处。
- 5) 旋转/升降装置的承重模块配有非常坚固的工作台，使得承重模块每次上下移动时误差不

超过 1 mm。

- 6) 根据预先设置的 IUC，旋转/升降装置将会按照参数设置高度或旋转方向。于此同时，所有的相机设置、镜头、光线参数依据植物的不同要求来变化。植株的大小会对升降装置和镜头的焦距设置有很大的影响。如果植物是焦点，那么好的景深和对拍摄目标的控制将是非常重要的。
- 7) 当植物到达最终的位置时会先停下来静置一段时间，然后拍摄第一组图片
- 8) 基于 IUC 之前设置的参数，植物自动旋转至设置角度，再拍摄一组图片、
- 9) 所有的图片立刻通过 PC 传输并储存至数据库中，数据库中包括相关的元数据（成像时间等）
- 10) 当拍摄结束后，成像模块的大门会再次开启，所有的旋转/升降装置也会降到最低位。
- 11) 所有植物传送至下一个成像模块，然后冲第 4) 步开始重新针对剩余植物进行成像。

从进入一个成像单元到完成图像采集并出这个成像单元，整个过程一般耗时 30-40 s。在某些情况下，等候植物静止需要较长的时间或者高光谱图像扫描的时分辨率极高需要很长的时间进行，只有在这些情况下才会出现长时间的拍照过程。

对于大多数拍摄来说拍到植物两侧的图像已经足够，但有需要时可以拍摄期四周的图像。更多角度的拍摄更适用于需要 3D 建模的植物。



图 0-32 气动式旋转/升降装置示意图

气动式旋转升降装置允许植物升降两种高度（50/390mm），但可以连续的旋转

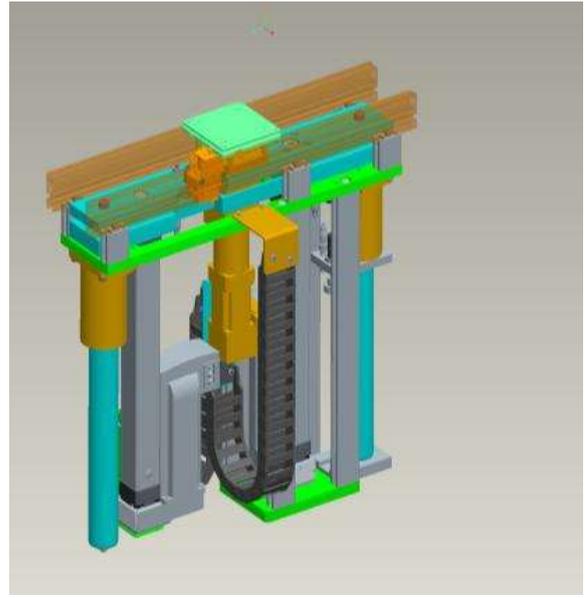


图 0-33 电动式旋转/升降装置示意图

电动式旋转升降装置可以选择任意高度，它可以连续升降 670 mm。

旋转/升降装置的旋转精度达 $\pm 0.5^\circ$ ，并且最大升降高度达到 690 mm，升降精度达 2 mm。系统设计为不管在成像时怎么升降和旋转，一个成像暗房内的图像采集工作结束后，会将植物放回原来的高度和原来的朝向（角度），以绝对保证不管实验如何，在进和出暗房时植物的角度不会发生变化。

植物高通量表型平台测量的植物表型组学参数包括：

- 叶片长度、宽度、叶角度、叶面积
- 叶绿素含量
- 植株茎干直径
- 植株高度、宽度和密度
- 植株生长速率
- 植株胁迫环境下的色素变化
- 植株紧凑性（叶角度和紧密性）
- 植株和叶片的颜色分析，包含发育状态、病理学等信息
- 植株节间高度
- 植株叶片卷曲程度、叶倾角等

- 更多表型参数

2.4.1.4 可见光成像系统

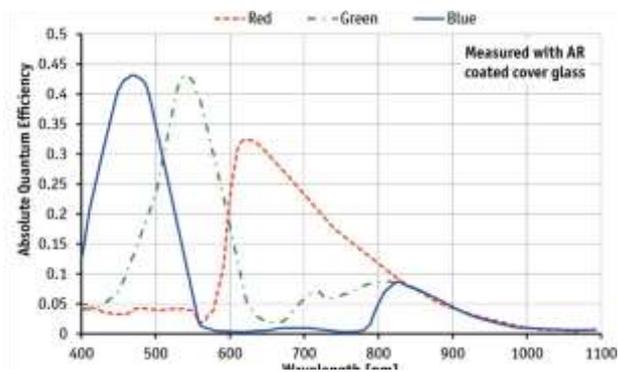
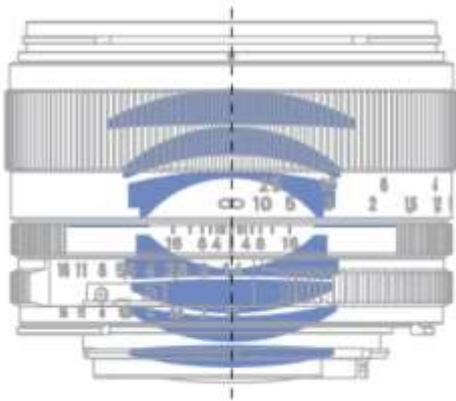


图 0-34 镜头和光谱示意图

2.4.1.5 近红外成像系统

近红外成像系统可无破坏性高灵敏全自动检测植物叶片的水分变化特征。近红外成像系统提供准确的数据来分析植物叶片的水分变化，可以分析不同品种、不同基因型或不同处理间的植株

叶片水分含量变化。植物含水量早在植株萎蔫之前其实就有明显的变化，植物的水分含量也是高度动态变化的，尤其是在胁迫的过程中。某些研究中，研究者甚至发现在水分胁迫的初期（根冠信号装置会使根发出缺水信号及气孔关闭时，一些水分仍然传输到叶子中），叶子中的过饱的水相比正常条件水分的植物会导致更高的光吸收（较深的叶子）。

近红外成像系统可以反映植物水分的分布及其动力学变化。下图是小麦经过连续 16 个小时的升温干燥处理后，利用近红外成像系统测量（4 小时一次）的植株含水量变化，通过柱状图可以明显的观察到含水量的时间动力学变化。

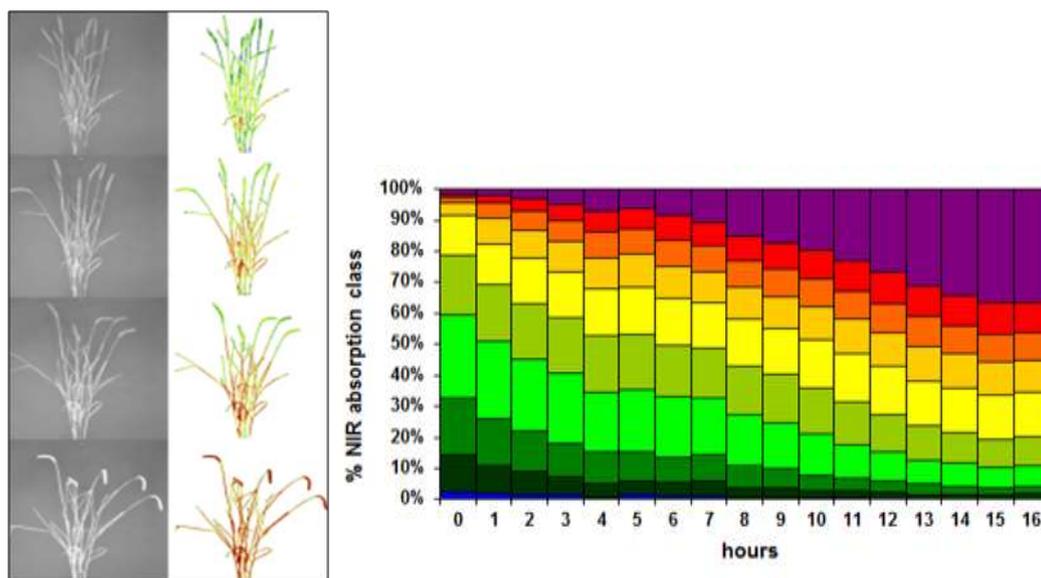
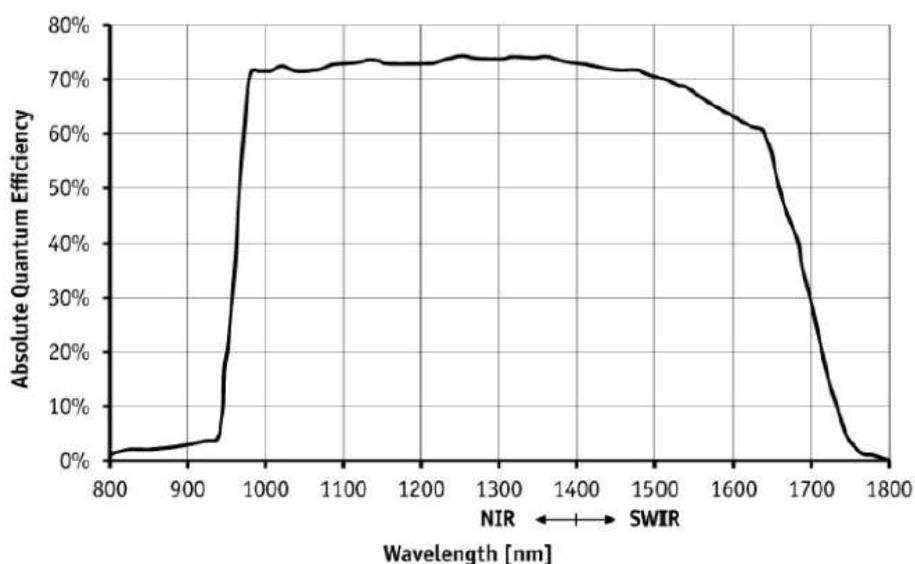


图 0-35 利用近红外成像系统观察小麦植株干燥处理 16 小时的含水量变化



2.4.1.6 GFP 荧光成像系统

GFP 荧光成像系统采用一种彩色 CCD 作为检测器,因此既可以检测植株叶绿素发出的荧光,又可以检测绿色荧光蛋白 (GFP) 发出的荧光。前者可用于反映植株的叶绿素含量高低和生理状态,后者可用于反映 GFP 分子标记的表达情况。



图 0-41 大麦的荧光成像

2.4.1.7 光合荧光 ($\Delta F/F_m'$) 成像系统

植物表型平台的光合荧光 ($\Delta F/F_m'$) 成像系统用于测量植物暗适应后的最大光合效率 F_v/F_m 。植物类型可以包括拟南芥和各种常见的实验植物或农作物等。

本系统包括相机、电脑、LED 光源、LED 电力供应装置、滤光片、镜头和反射屏等。所有部件都装在一个防护箱内。此外还包括控制测量的软件和分析数据的软件。

本系统使用强光 LED 来进行叶绿素荧光诱导,通过采集一系列的荧光图像并进行技术可以获得植物的最大光合速率 F_v/F_m 的图像。

本系统采用大功率红色 LED 脉冲 (最大 0.8 s) 来激发叶绿素荧光,通过一个快速、高灵敏的百万像素相机来记录诱导曲线开始 (F_o) 和达到饱和时 (F_m) 的荧光图像,进而通过公式 $F_v/F_m = (F_m - F_o) / F_m$ 来计算最大光合效率。荧光图像为 140 万像素,灰度值为 14 bit。

根据光适应或暗适应状态的不同,可以分别得出植物在某种生理状态下的实际光合效率

($\Delta F/F_m'$)或最大光合效率(F_v/F_m),这种指标是反映植物生理状态或胁迫状态的最灵敏的指标,在国际上有非常广泛的应用。由于LED可以给出高强度的饱和脉冲光($3000\sim 5000\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$),因此即使在光适应状态下也可以得出可靠的数据。

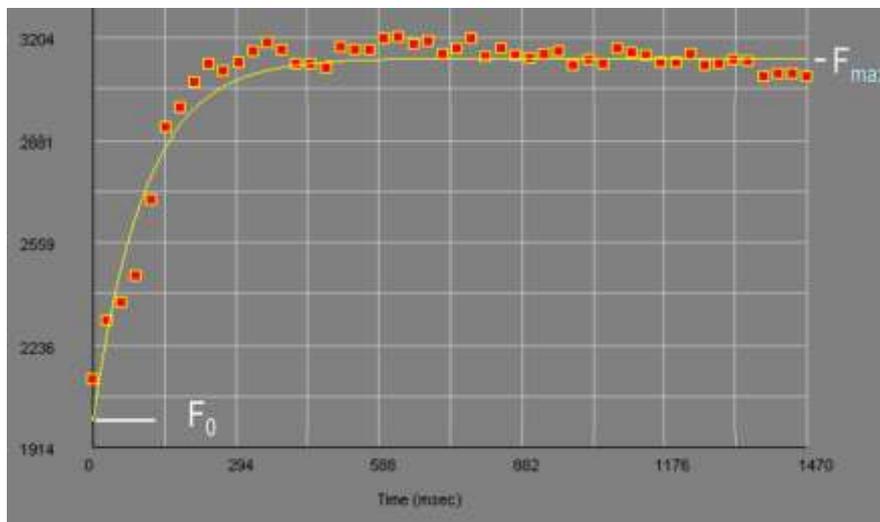


图 0-42 光合荧光成像测量诱导曲线示意图

由于采用了饱和脉冲光技术,并且 F_v/F_m 是比值,因此即使对于叶片倾角大于 45° 的情况下也可以得出可靠的数据。这样就可以直接整株植物进行测量,而无需将叶片展平。由于植物的许多生理变化或环境对植物的生理影响不会在整株植物上同步出现,甚至在一个叶片上也会出现异质性,因此对整株植物进行光合荧光成像就可以较早的获知植株受影响的部位和程度(这有可能是完全不在我们的预知范围内的),同时这种测量还不会影响其他的成像测量。这对于科研工作而言实在是太完美了。

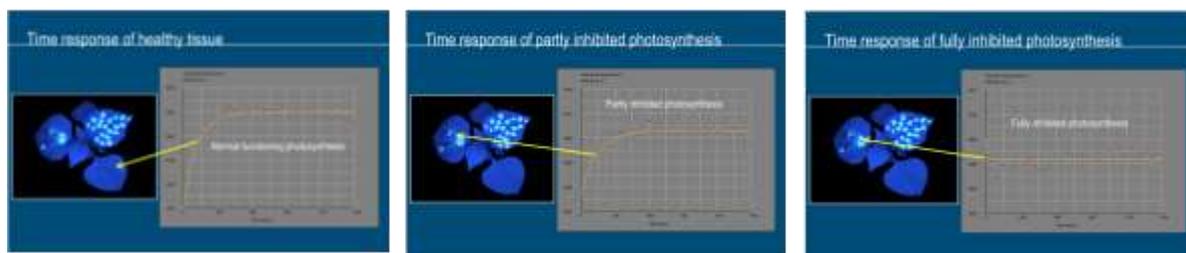


图 0-43 利用光合荧光成像系统测量对照组和处理组的结果举例

主要特点

- 光合荧光成像仅采集顶部图像
- 照相机和光源有固定装置

- 标准成像面积：40 x 50 cm。可以有更大的成像面积，但会减小测量的灵敏性和激发强度。
- 照相机和成像区域的距离最好超过 40 cm，80 cm 是最佳距离，但具体距离需要根据使用的光学镜头来确定。
- 照光系统和相机是连在一起的
- 成像系统需要固定，成像系统的尺寸为 60 x 60 x 160 cm
- 激发光源由发光二极管和相应的滤光片组成
- 相机为 140 万像素，灰度值为 14 bit

利用光合荧光成像系统可以快速观察环境胁迫对植株生理状态的影响。以图 0-为例，植株收到干旱处理后，尽管其最大光合效率 F_v/F_m （下左）的数值差别不大，但在照光状态下的实际光合效率 $\Delta F/F_m'$ （下右）有显著差别。实际上，这些指标可以作为一种 CropReporter，用于进行植物生理或生长的报告或指示。

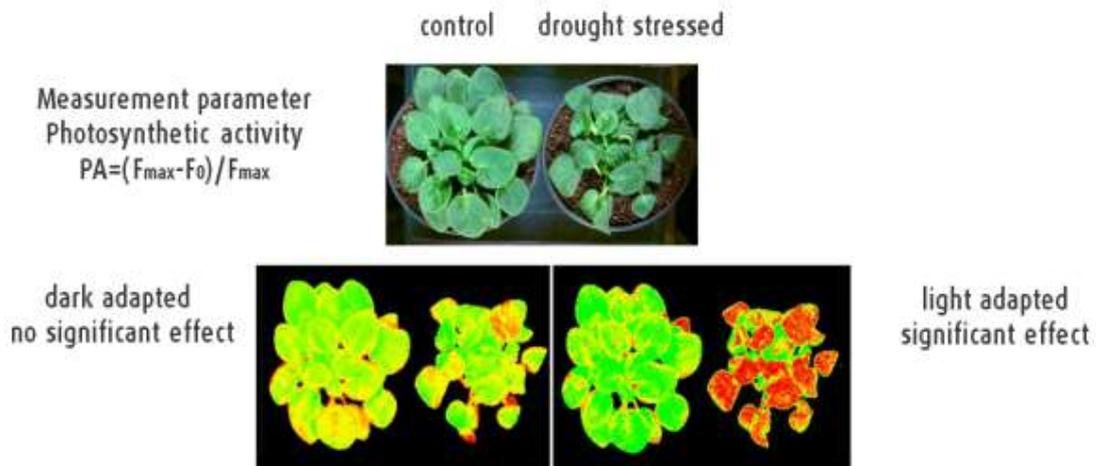


图 0-44 通过光合荧光成像系统观察干旱胁迫对植物光合生理的影响

测量参数

参数	生物学意义
F ₀	初始荧光
F _m	最大荧光
F _v	可变荧光

Fo'	荧光诱导结束后的最小影响
Fm'	光适应下的最大荧光
Fv'	光适应下的可变荧光
Ft	实时荧光
Fv/Fm	最大光合效率
Fv'/Fm'	给定光强下 PSII 的最大光化学淬灭效率
Φ_{PSII}	光照下实际光合效率
NPQ	非光化学淬灭系数
qN	非光化学淬灭系数
qP	光化学淬灭系数

2.4.1.8 高光谱成像系统

高光谱成像是广泛应用于遥感影像上的一种技术，能够在剧烈变化的光线和大气条件下得到高品质的图片。在小尺度的研究中，常用的傅里叶变换光谱仪往往是用来评估研磨和干燥的生物材料样品中所含的成分特点等，因此根本没有空间的分辨率。在高度控制的光照条件下使用高光谱成像技术是 Scanalyzer 3D 植物表型平台的新标准，在一定的电磁光谱频率中提供了新的高光谱成像的数据。与 Scanalyzer 3D 植物表型平台使用的其他成像系统（VIS、NIR、IR）相比，高光谱成像的光谱范围虽然很大（400-2500），但是它的分辨率依旧很高，在 1-10 nm 之间。这样用户就可以按照他们的需要获取全光谱范围内的任意图像数据，或是限制自己需要的数据采集范围。

2.4.1.8.1 对特定物质的半定量测量

如果知道叶绿素、花青素或其它物质的吸收或反射光谱，结合高光谱分析至少可以对这些物质的浓度进行半定量测量。依靠高光谱给出的可靠数据，使用大量的实验验证，则可开发出一个与高光谱相对应的该物质浓度的模型。

2.4.1.8.2 植物生理状态的变化

当某种物质仅仅被用来做某种非常复杂的生理表型的“指示”时，往往并不需要利用高光谱成像的半定量测量技术（参考 2.4.1.8.1 节）来测量其化学浓度，而是希望对这种生理现象进行表

征。基于大量的光谱信息，并且结合特殊测量方法或结合经过预处理的植物（或知道特殊背景信息的植物），可以将光谱变化与植物的生理状态（如生物或非生物胁迫、衰老、营养盐缺乏、不同成熟阶段等）偶联起来进行分析。通过光谱的直接比较、先进的统计分析或计算过程，可以区分出光谱哪些区域的什么变化反映了植物的什么生理改变。在设计的实验流程中，通过监测特定光谱区域的变化就可以获知植物生理状态变化的详细信息。

2.4.1.8.3 全光谱测定

为了确定植物中某种物质变化或生理变化引起的光谱变化，以达到最佳的扫描结果，就需要对整株植物的全光谱进行高精度的扫描。测量结束后，通过一些特殊算法找到处理组与对照组的差异，并与光谱数据进行偶联分析。这种开放式的方法降低了对大规模实验校准（如在半定量测量时用第三方测量数据标定光谱数据）的依赖，并且保留了检测新物质或新性状的灵活性。

高光谱成像系统是一套模块化的系统，除了高光谱成像传感器之外，它还包括一系列集成单元。例如它拥有机载计算机、光谱校准模块、多种内置传感器（实时监测环境数据并整合到高光谱成像立方体中）等。高光谱成像系统还可以被外部计算机通过以太网接口远程控制，最终达到在无人控制的条件下自动采集数据并进行海量数据的加工处理。获取的数据可以存储在本系统内置的计算机中，也可以通过以太网接口传输至外部计算机或服务器中。

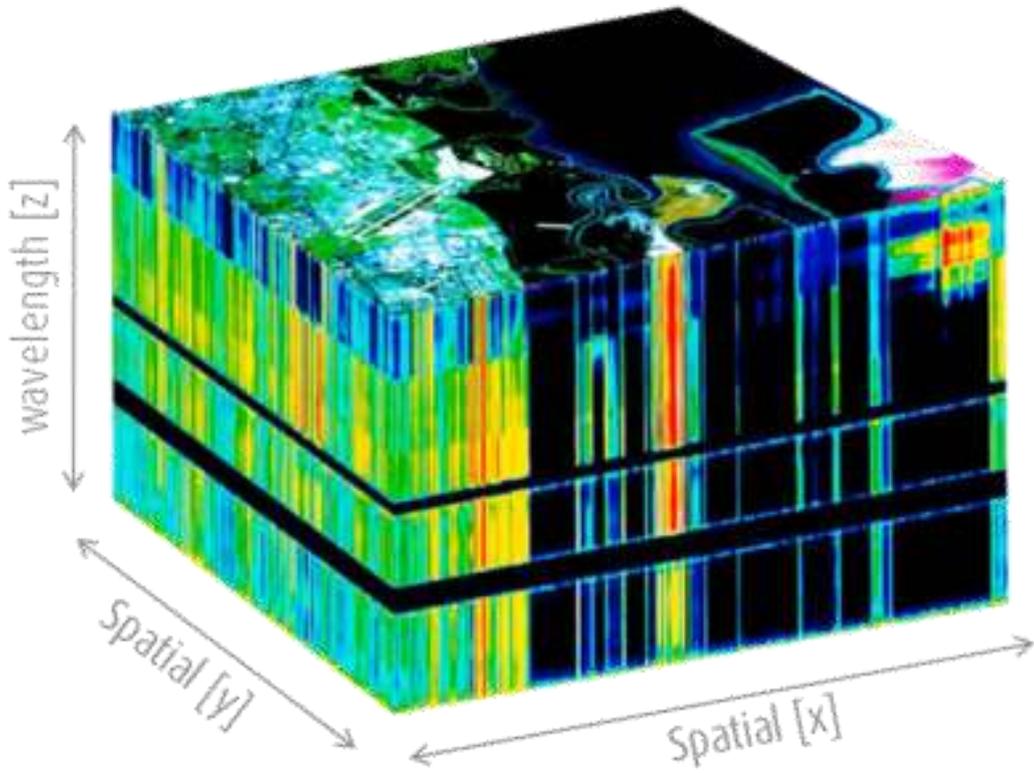


图 0-45 高光谱成像结果（成像立方体）示例



图 0-46 高光谱成像系统外观图



图 0-47 高光谱成像系统的成像模块

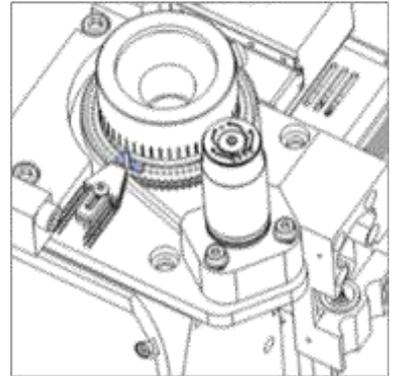


图 0-48 高光谱成像系统的镜头示意图

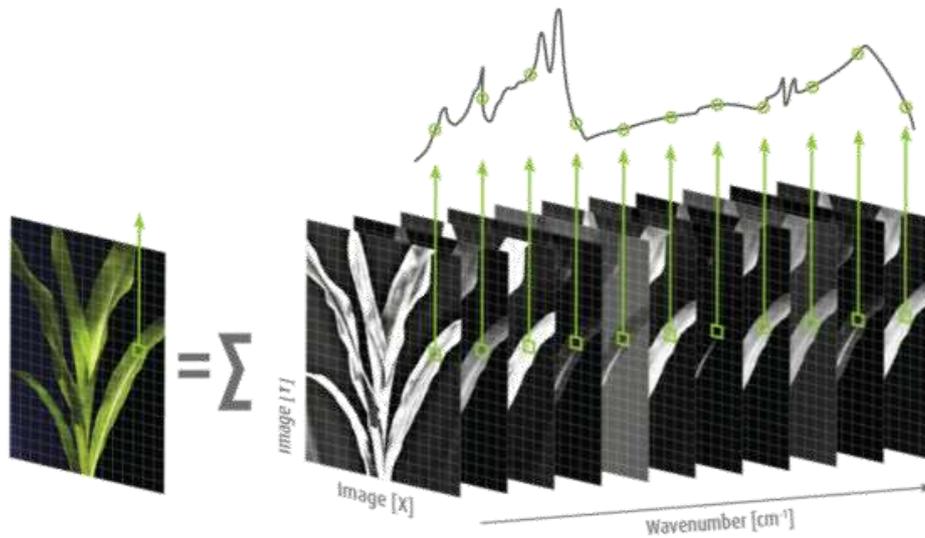


图 0-49 高光谱成像结果（930 波段的空间像素数据）

2.4.1.8.4 高光谱 *Extend VNIR* 成像传感器

高光谱 Ex-VNIR 成像传感器是被全世界的科研工作者和制造商广泛使用的标准工业传感器平台。传感器以全反射技术为基础，同轴 $f/2.0$ 光学设计，并专门针对恶劣环境的的应用进行了优化设计。系统具备专利利用用于像差校正、反射设计，并具有适合在高温环境下工作的铝合金材质。系统坚固耐用，适合于工业级应用和在线检测。传感器性能卓越，测量数据不受恶劣环境影响。

高光谱 Ex-VNIR 系列成像传感器采用 VIS-inGaAs 线阵 CCD 图像传感器，功耗低，通过相机连接模块可以保证在 14 比特的数据分辨率下达到每秒钟 50 帧的数据。

高光谱 VNIR 成像传感器的光谱和空间成像性能十分突出，优秀的像素纠错功能几乎不会产生模糊的拍摄。杂散光问题在 $<0.02\%$ 时都会得到解决。Ex-VNIR 的光谱范围是 500-1700 nm，光谱分辨率 5-7 nm。



图 0-50 高光谱 Extend VNIR 系列成像光谱仪

2.4.1.8.5 小巧轻便的电动云台

高光谱成像系统包括一个小型电动云台，它可以帮助高光谱成像光谱仪实时定位进行推扫式扫描测量。该云台适用于全天候工作，通过不间断的调整方位给出水平角度，并由内部线缆提供有效荷载信号。该云台适合于恶劣环境条件下的应用。

- 从主机通过 RS-232/485 进行控制
- 各部件紧密组合，适合于安装高光谱成像传感器
- 精确的控制位置、速度和加速度
- 可用于户外恶劣的自然环境
- 单 MIL-style 的连接方式可保证线缆的简单化连接



图 0-51 高光谱成像系统的双云台单元



图 0-52 在云台上同时安装有高光谱 SWIR 和 VNIR 成像传感器的实物图

2.4.1.8.6 高光谱成像的优点

高光谱成像有如下优点：

- 图像失真现象低：专利设计的像素纠错功能可以减少光谱弯曲和色基变小的问题，图片失真率极低，该性能能够确保高的空间分辨率。

- 卓越的测光精度：全息衍射光栅让光线产生低散射使得杂散光最小化，从而确保最佳的光度和辐射度精度，得到最佳的测量结果。
- 信噪比高：系统具有很高的测量通量，利用高效率的同心圆设计，对产出的目标识别具有很高的灵敏度。
- 广角视野：像素纠错同心环设计针对 COTS 图像传感器的宽广视场，减少了在全 18 mm 高狭缝的图像畸变

2.4.1.8.7 高光谱成像系统的设计优势：

- 军事级测量精度
- 专利设计，同心圆全反射，像素纠错功能
- 高质量光学输出，低散射光，高的动态范围
- 低失真度保证高空间分辨率
- 高的动态范围导致低的杂散光
- 机械坚固，没有小的活动部件
- 应用软件开发了多功能的测量模式。
- 信噪比高

2.4.2 传送系统

2.4.2.1 植物传送车

高通量植物表型平台系统包含了一套坚固、耐用、达到工业级别的传送系统，通过两条连续的传送带贯穿于整个系统，将传送车（见下图）运送至温室各个角落。根据不同的植物花盆，每个传送车都经过特殊设计，配置了一个极易更换的顶部适配板，可以满足不同花盆的需要。此外，每个传送车上还配备了一个无线射频识别（RFID）标签，使得我们能够随时跟踪每一个传送车及其植株的位置。所有 RFID 标签都位于传送车的一面，并且每个传送车只能通过一种方式放置到传送带上，这就保证了在整个实验过程中所有植株都在其预定方向上传送。

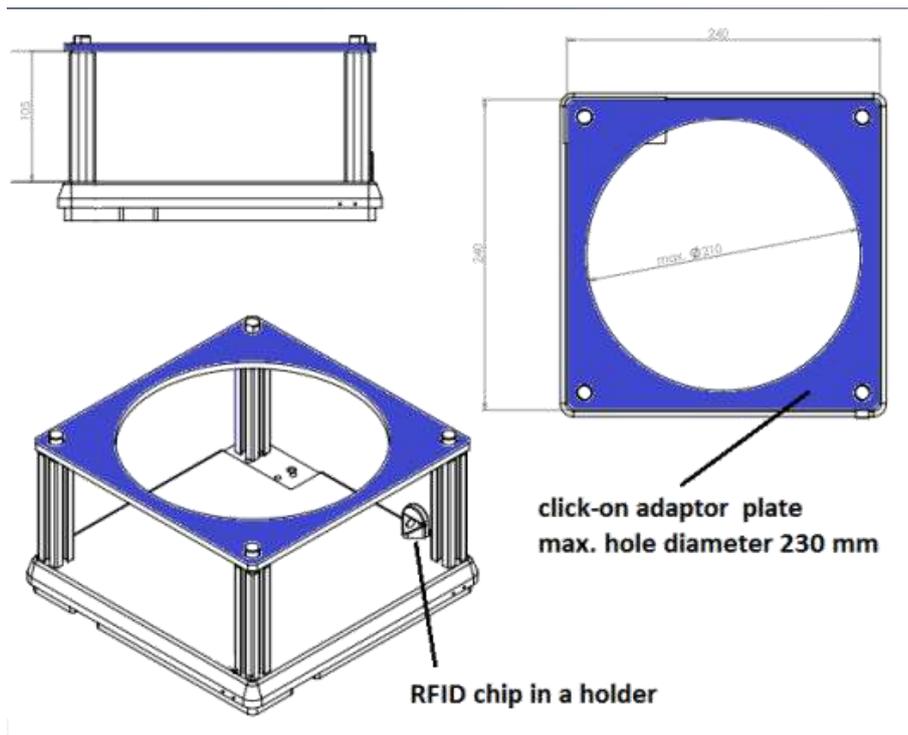


图 0-53 植物传送车示意图

顶部适配板（蓝色），可以根据花盆尺寸定制。每个适配板的四角都有一个固定点，用于快速固定和更换其他类型的适配板。每个传送车的唯一编码位于剖面螺母上。

定制化的适配板主要用于紧固花盆，保证整个实验过程中花盆相对于传送车的位置保持不变。花盆的高度通常高于 110 mm（标准盆 27 cm），底部配有一个托盘，主要为了防止水份溢出。如果花盆很低，则需要定制额外的适配板（低于花盆高度）了。

我们可以提供多种花盆的适配板（直径小于 210 mm）和托盘（小于 240 X 240 mm），利用一个“click-on”附件，我们可以快速简便的更换不同类型的适配板。某些情况下，用户可能需要更加特殊的适配板，即一个适配板上包含多个孔，每个孔均可放置一个植株，且公用一个托盘，该种设计往往适用于比较矮的植物，并且只能进行顶部成像。

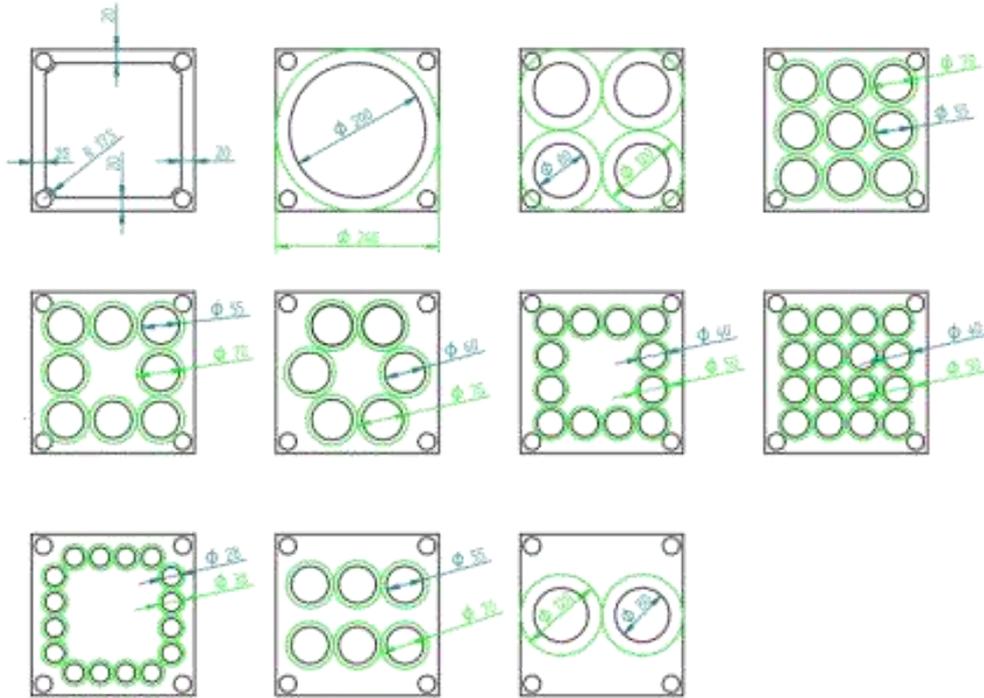


图 0-54 传送车多孔适配板示意图

该种设计主要适用于低矮植物，并且只能进行顶部成像。

所有植物均使用一个托盘，作为一个整体进行灌溉。



图 2-55 能够同时放置 4 盆植物的传送车

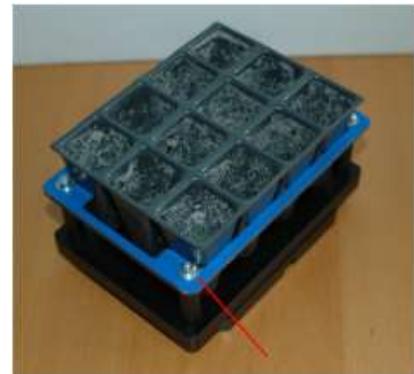


图 0-56 装载有 12 孔网格盘的传送车

任何情况下，一个标准的或者定制化的托盘（防止漏水）对于植物灌溉都是非常重要的。

适配板的颜色为 RAL 5002。通常情况下，为了保证花盆具有良好的通风条件，传送车侧面不配置遮挡板。采用白色的花盆和亮白色的托盘，能够在不影响气流的前提下，最大程度降低吸热对于土壤的影响。此外，还可以根据需要在传送车侧面加上白色遮挡板，但这样会影响气体流

动。



图 0-57 装有底部托盘的传送车

白色花盆放置于白色的托盘上，能够有效反射太阳光辐射，且不影响气体流动。

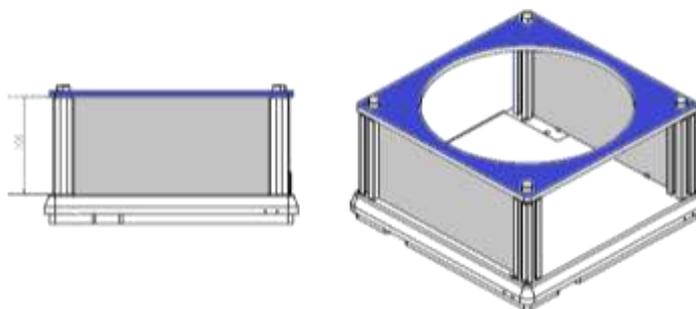


图 0-58 装有遮挡板的传送车

通常情况下，在植物生长区只遮挡传送车沿着外面的两个侧面，也可根据需要遮挡全部四个侧面。

在 RFID 标签的旁边，每个传送车都有一个独一无二的编码，显示了传送车的 ID 以及放置到传送带上的方向。**通常情况下，传送车都配有一整套白色、可回收花盆。**

RFID 标签只读存储器

- 存储量：112 字节用户内存；
- 每个传送车都带有一个附加且唯一的 64 位序列号；
- 读码周期：无限次循环写入，至少 100 000 次，使用期为 15 年。

通过以太网与控制系统相连，除了 TCP/IP 协议以外，还可以选择 PROFINET/IO、Modbus/TCP 或者 Ethernet/IP。一个集成开关允许线性结构布线和经典的以太网布线。

2.4.2.2 定制化设计传送系统

传送系统具有高度的灵活性和广泛的适用性，不仅可以用于拟南芥这样的小型植物，也可以用于甘蔗（高达 3 米）这样的大型植株，承重范围也是从 250 g 到 40 kg 不等。此外，传送车的适配板也是多种多样，而且极易更换，非常方便的满足不同实验的需要。

整个传送系统均由标准化组件构成，我们可以根据客户的特殊需求，轻松地定制化相应的部件，满足不同实验需求。在不依赖于任何机械外力作用下，传送车便能稳定于传送带上，并且依靠两条运动传送带之间的摩擦力驱动运转。这种设计保证了传送车及其植株的安全传送，并且始

终保持植株方向不变。



图 0-59 植物表型平台的 传送系统调试图



图 0-60 荷兰 KeyGene 公司的植物表型平台传送系统

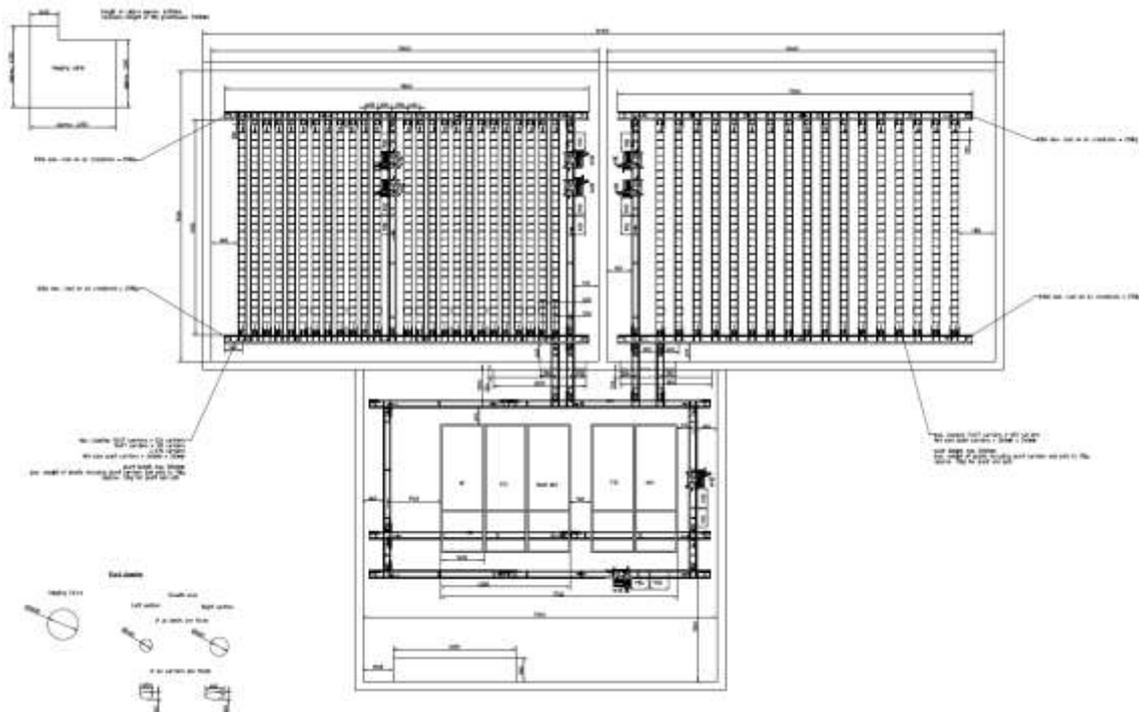


图 0-61 植物表型平台传送系统设计图纸示例



图 0-61-A 传送系统的升降和旋转装置



图 0-61-B 传送带的开关



图 0-62 成像暗房（可见光、近红外和荧光）



图 0-63 正在传送的植物

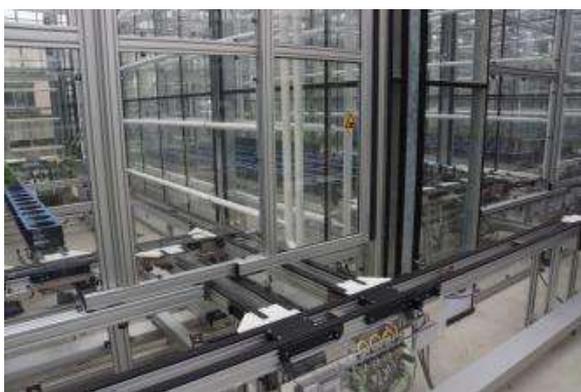


图 0-64 气动推拉门



图 0-65 不同作物生长于传送系统上



图 0-66 传送系统的电机



图 0-67 往传送系统上加载植物



图 0-68 正在传送的玉米

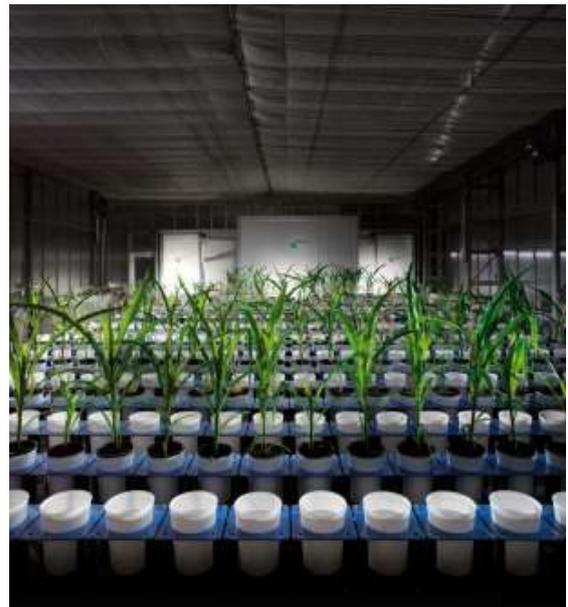


图 0-69 传送系统上生长的植物

当遇到各个系统工作站（如自动灌溉和称重系统、自动喷淋系统、成像单元等等）的时候，停止装置会让传送车会立即停止运动，而此时传送带依然在运动。一些传送车会落后或者堆积在某一工作站前面，从而形成一个小的缓冲区，然后进行处理。一旦工作站的处理过程完成，传送车便会被释放出来继续传送。系统加载高度为 800 mm。



图 0-70 传送系统的 CAD 剖面图

传送车采用标准工业生产组件，上部适配板固定花盆和植物。传送车的外缘在滚轴上运行，传送车通过中间传送带运动。这样可以保证摩擦力最小，且能耗最低，尤其适用于温室生长区大量植物的传送。

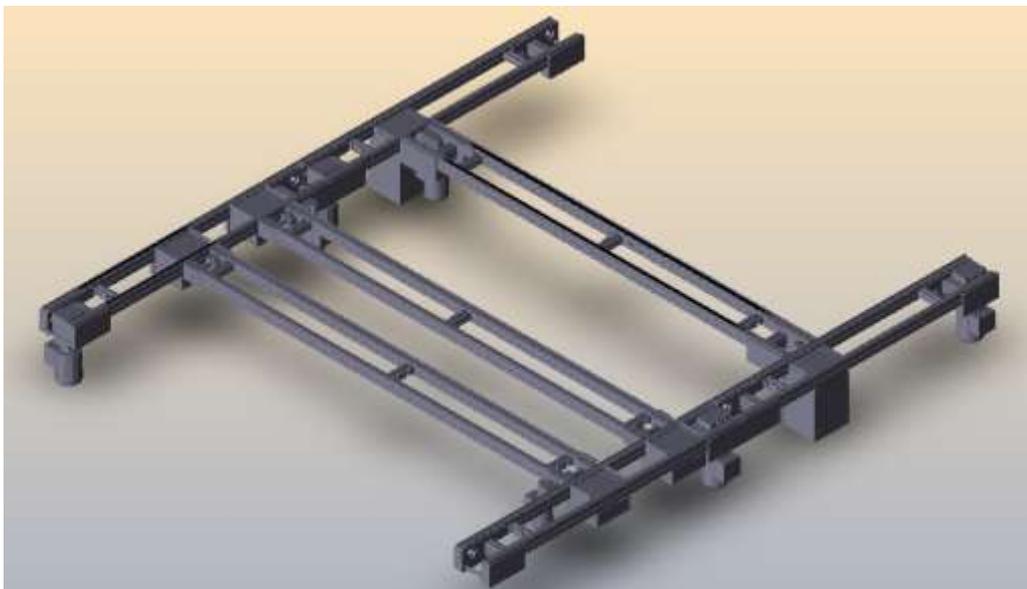


图 0-71 传送系统的简单结构示意图

图 0-中，除了三条主要的承载植物的传送带外，还有两条连接传送带。在连接点处，植株通过升降-转移单元被传送至另一条传送带上，并且保证植物方向始终不变，这样能够最大程度减小

传送带上植物所需空间。这些升降-转移单元将植物举高 4~6 mm，然后将其转移至下一条传送带上，采用这种方式，植物将以 90° 角向左或者向右运动，这种高度可靠的技术是传送系统的标准。

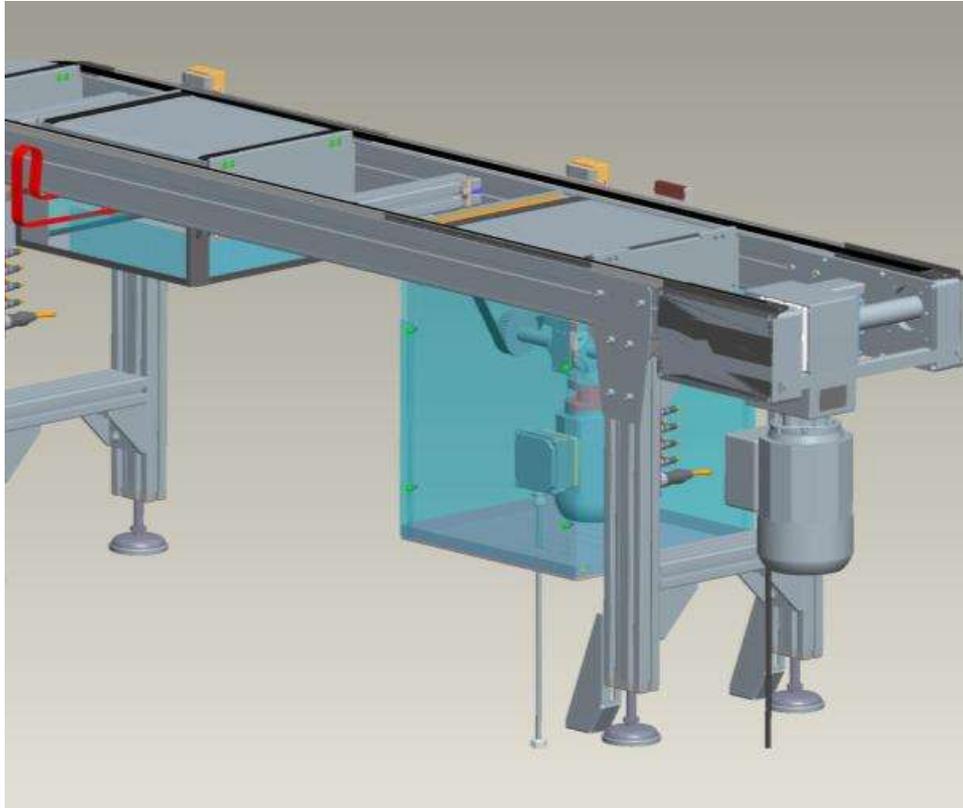


图 0-72 传送系统的 CAD 细节图

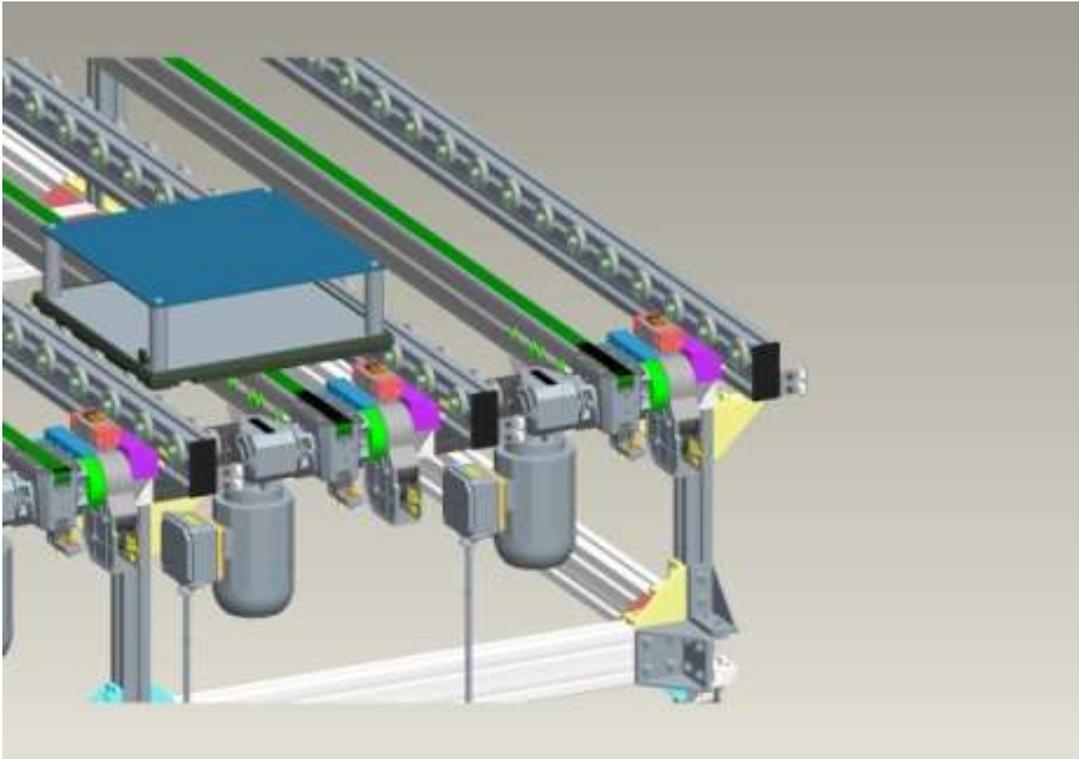


图 0-73 传送系统的 CAD 细节截图

示一条高负荷低能耗传动带，传送车位于小滚轴上，并由中心传送系统驱动。

由于一条正在运转的传送带的电机是连续不间断运转的，因此在每条传送带末端都有一个停止装置，以便植物传送过来后依次排列在这传送带上，而不会被传走。

2.4.2.3 材质

传送系统采用优质材料加工制造，具有坚固耐用且抗润滑剂和清洁剂的特性，但我们仍然不能保证其可以抵抗所有有机溶剂。请确认传送系统不会与以下物质接触：

- pH 值 \leq 6 的酸；
- pH 值 \geq 9 的碱；
- 氯化烃类（如三氯乙烯）

通常情况下，以下材料用于制造传送系统：

- 铝型材，由挤压阳极氧化铝组成；
- Leadership profiles，由抗静电的聚酰胺（PA）组成；
- 框架模块，由抗静电的聚酰胺（PA12）组成；
- 传送带，由抗静电的聚酰胺（PA）涂层织物组成；
- 传动皮带，由抗静电或正常的聚氨酯（PU）和尼龙护套组成；

- 耐蚀钢材或者不锈钢作为紧固件和连接件；
- 韧性铝合金；
- 聚氨酯、聚酰胺、添加剂（用于改良电学和力学属性）、UHMW-聚氨酯；
- NBR 和氟橡胶用于弹性密封

2.4.2.4 环境条件

Scanalyzer 3D 型高通量植物表型平台系统用于固定使用。

- 操作温度：+5~+40°C；-5~+60°C 时，负荷下降 20%（8KG）。
- 辐射温度：60°C 的表面温度并非系统的临界温度，如果必要的话，还需要考虑组件间适当的伸缩缝隙。这些并不会影响传送系统的功能。
- 相对湿度：5~90%，不结露，系统所有组件都可以在喷水条件下使用。
- 气压：> 84 kPa，海拔 < 1400 m，当系统建在海拔大于 1400 m 的地方时，传送带负载值降低 15%。
- IP-防护等级：IP54，以下部件防护等级可达 IP67：
 - IO 模块；
 - 传送带马达；
 - 传感器；
 - 阀岛；
 - 接线盒
- 其他：落下的植物材料（如叶片）和花盆介质虽然不会影响传送带工作，但也应立即清除。
- 环境可持续性，再循环：传送系统所用材料均具有环境可持续性，甚至可以再次循环利用（如果组件被改装后替换）。
- 指令和条例：植物表型平台遵从以下条件建造：
 - 机械指令（2006/42/EG）；
 - 低电压指令（2006/95/EG）；
 - 电磁兼容性指令（EMC）（2004/108/EG）

标准组件备用零件的提供会在 24 小时以内得到确认，对于特殊设计的所有其他组件，LemnaTec 会提供一个备件包。

2.4.3 自动灌溉和称重系统

2.4.3.1 结构设计和主要技术参数

自动灌溉和称重系统由蠕动泵控制的灌溉系统和称重系统组成，与传送系统紧密结合在一起。其中泵和装水的容器（可自动灌满）放置在一个工作台上。灌溉系统的出水臂（Watering arm）可以一个点为轴成线性移动，非常灵活。通过一个可以旋转的装置可以将出水臂和喷嘴移动到一个正确的位置，以免伤害植物。在植物表型平台上，植物花盆的高度记录在电子标签（RFID）中，在进行灌溉前系统会根据 RFID 中的花盆高度信息对出水臂的高度进行调整。

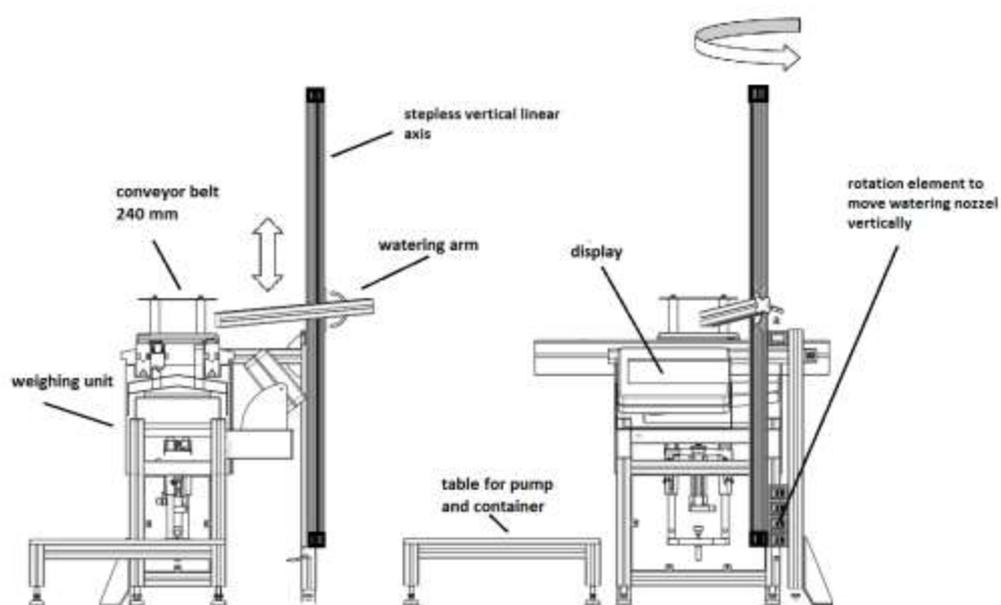


图 0-74 自动灌溉和称重系统的结构示意图

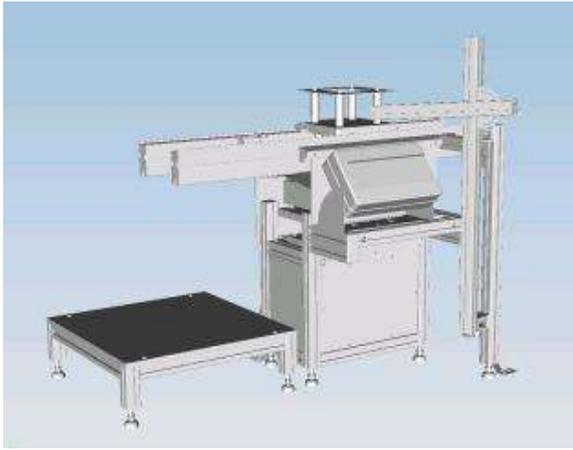


图 0-75 自动灌溉和称重系统的 CAD 图

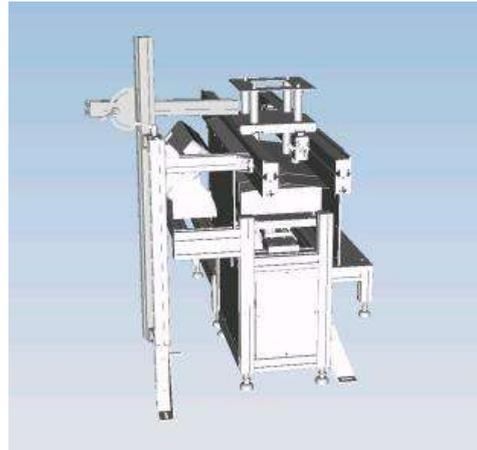


图 0-76 自动灌溉和称重系统的细节 CAD 图

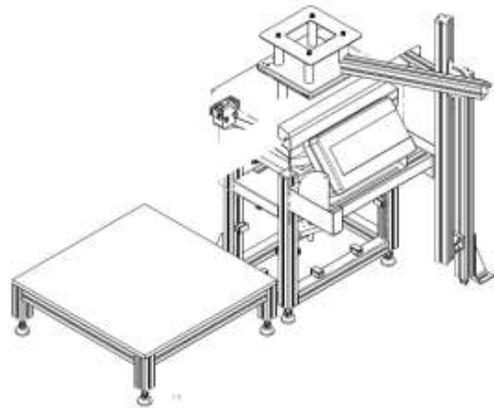
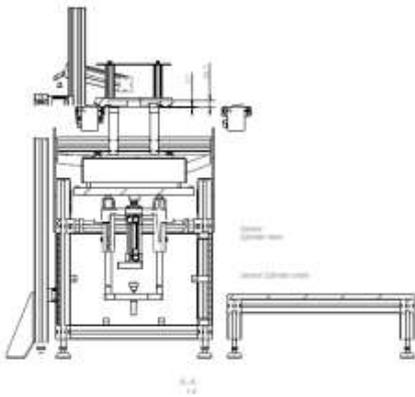


图 0-77 自动灌溉和称重系统喷嘴前后移动 CAD 图

自动灌溉和称重系统的喷嘴的类型取决于花盆的大小和灌溉的水量。图 0-是两种不同的喷嘴图。喷嘴一般为 PE、PA 或 POM 材料，在设计上尽量避免灌溉盲区，并且尽量降低延迟量。



图 0-78 自动灌溉和称重系统的喷嘴图

自动灌溉和称重系统之灌溉装置的主要技术参数：

- 泵类型：蠕动泵
- 最大流量：压力为 4 bar 时，1500 ml/min
- 转速：0.1~220 rpm，精度 0.1 rpm
- 控制：通过 PC 端自动控制
- 管材：Marprene TH, Bioprene TH, Sta-Pure
- 工作湿度范围：10~100% RH
- 工作温度范围：5°C~40°C
- 噪音：距离 1 m 处，< 70 dB(A)
- 标准和认证：CE、cETLus
- 耐水防尘
- 耐腐蚀适用于工业
- 个性化程序编辑
- 动态显示灌溉情况示意图



图 0-79 自动灌溉和称重系统的灌溉工作图



图 0-80 自动灌溉和称重系统的称重工作图

自动灌溉和称重系统之称重装置的主要技术参数：

- 防护等级：IP65
- 材质：全不锈钢材质
- 在灌溉和/或施肥之前和之后自动称重
- 可以按照成像系统的要求设置目标重量.
- 容器重量是一定的，土壤的多少可变化
- 称重装置的特殊设置，可以减少土壤在称重系统上的残留



图 0-81 带土壤防护功能的称重装置



图 0-82 称重装置的控制面板



图 0-83 两套自动灌溉和称重系统安装在一起的实物图

连接泵的管道、水箱以及喷嘴都是由黑色耐用防紫外线的 PA 材料制成，适用于标准化的气动装置以及液压管道（8 mm）。黑色光滑的表面最大限度的减少了微生物和藻类的附着。水管可使用清洁剂进行清洁。只有通过蠕动泵的白色短管是由特殊的高度挠性、高耐用的 maprene 管制成。由于泵的要求比较高，使用的管件应该定期更换，该管件由泵的制造商提供。

2.4.3.2 灌溉装置的程序输入步骤

- 1) 植物的电子身份（字母或数字，必须输入）
- 2) 灌溉日期（日期和时间，必须输入）
- 3) 灌溉时间窗（Watering Time Window）的开始时间（整数，default = 0）

- 4) 灌溉时间窗的结束时间 (整数, default = 24)
- 5) 数量 (整数, 必须输入)
- 6) 灌溉类型 (文本形式, 必须输入)
 - a. Absolute
 - b. Target Weight
 - c. Target Weight Offset
- 7) 动态调零 (仅在灌溉类型中的“Target Weight Offset”选项中使用, 整数+“%”)
- 8) 失败处理方式 (文本形式, 必须输入)
 - a. Add
 - b. Add With Limit
 - c. Skip
- 9) 失败处理限制 (仅在失败处理方式中的“Add With Limit”选项中使用, 整数)
- 10) 泵设置 ID (ID 数据库参数用逗号分隔, 必须输入), 列入泵配置对话框中。

2.4.3.3 自动灌溉和称重系统的特征

- 根据植物 RFID 信息和灌溉程序针对每株植物进行个性化灌溉
- 在灌溉前和灌溉后都对植株称重
- 在每次灌溉开始前或在生长的不同阶段 (苗期、生长期、成熟期等), 都可以采用针对目标湿度的灌溉程序
- 结合营养盐添加系统可提供多种施肥方案
- 可顶部灌溉或底部灌溉
- 盐度控制
- 模拟水涝
- 水分利用效率

2.4.3.4 出水臂的前后移动

自动灌溉和称重系统装配有一个可前后移动的出水臂, 可以针对不同的花盆类型和不同的植株大小进行调整。

出水臂的移动范围为 300 mm, 并且其移动是全自动控制的。这样就可以根据每盆植物的 RFID 信息来决定出水臂的位置, 达到最佳灌溉。

此外，出水臂的出水口是有弹性的，这样不会伤害到植物。当然，出水臂的高度也可以调整，并且可以旋转。

2.4.4 空压机系统

Scanalyzer 3D 型高通量植物表型平台的运转需要压缩空气，如果客户不具备空压机系统，我们可以提供德国凯撒空气压缩机



图 0-84 空气压缩机

2.5 植物表型平台的信息管理系统

2.5.1 简介

高通量植物表型平台拥有一套完善的信息管理系统，主要包括：

- 1) 传送带控制系统；
- 2) 自动灌溉和称重控制系统；
- 3) 图像采集控制系统；
- 4) 运动部件（气动推拉门、旋转装置、升降装置等）控制系统。

信息管理系统可以分为两个平台，一是基于 Win7 系统用于运行和控制整套系统的运转；二是基于 Linux 系统用于核心数据库的数据采集（PostgreSQL 或者 Oracle DB）。假如 Oracle DB 不包含其使用许可证，可以直接通过 Oracle 公司或者 LemnaTec 公司索要（需要付费）。

控制电脑与中心数据库通过一个缓冲网络协议连接，即使网络连接没有工作，系统也可以将数据缓存至本地数据库（一周）。

并且，系统不采用任何的专有文件格式，所有输入和输出文件均为 CSV 或 TXT，图像文件为 RAW、PNG 或者 JPG。

图像采集控制系统具有高度的扩展性和独立性，主要负责图像的采集处理工作。其中 LemnaGrid 软件模块，提供了几乎所有主要作物图像处理的精确算法，同时它还支持第三方图像处理过程。

控制软件则显示了系统当前的工作状态，主要包括预设程序和正在执行的程序。

高通量植物表型平台能够每天完成上千盆植物的成像，获得千兆级数据信息，因此，一个专门设计的服务器机柜是必不可少的。该机柜主要包括：

- SUSE Linux 服务器，用于将数据储存至 RAID 5 存储阵列，存储量高达 100 TB，此外该存储阵列还可以进一步扩展；
- 图像处理服务器；
- 磁带备用系统，用于定期备份数据，存储量达 36 TB；
- 2.7 kW UPS（不间断电源）系统。

一般而言，植物表型平台的工作站位于传送系统附近，方便清晰的看到整套系统的运行情况。

2.5.2 计时器模式

植物表型平台的信息管理系统能够设置为一种被称之为计时器的工作模式，它允许用户提前

预设自己的实验计划，内置计时器会根据预设值自动完成实验。

2.5.3 安全

植物表型平台符合最高安全工作规定。为了保证用户在使用过程中的安全，整套系统配备了多个紧急开关；所有推拉门配置了安全开关，一旦有任何物体阻挡推拉门正常开关，则会立即停止工作；所有运动部分均进行特殊保护，禁止任何物体在其间穿行。

2.5.4 警报系统

植物表型平台的信息管理系统还配置了一套完善的警报系统，可以通过以下三种不同的方式发送预警信息：

- 1) 电子邮件：只能在客户网络 SMTP 服务器上设置；
- 2) 电话/短信：需要一个标准高低接口的电话系统；
- 3) 桌面信息

同时，用户还可以自行设置以产生不同水平的预警：

- 代码红色报警

系统无法执行预设程序时发送该报警信息。

- 维护报警

系统中某一部分达到其预设寿命的 80%时发送该报警信息。

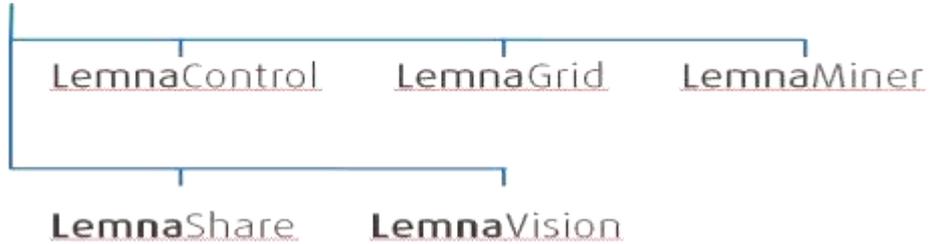
- 服务短信

程序执行比预计时间长或者需要任何手动操作时发送该报警信息。

2.6 植物表型平台的软件设计

2.6.1 软件平台概述

LemnaLauncher



图像获取

LemnaControl



LemnaControl

用于控制系统运转，包括成像、浇水、喷淋、传送带运转等。

图像处理

LemnaGrid



LemnaGrid

建立灵活的且用户友好的成像分析和参数设定

数据处理

LemnaMiner



LemnaMiner

可供研究人员显示、筛选和导出的数据

LemnaBase



LemnaBase

用于处理数据库中的大量数据

LemnaShare



LemnaGrid

用于远程交换数据和分析

2.6.2 LemnaLauncher

LemnaLauncher 是访问的所有 LemnaTec 软件产品的主要框架。可通过 LemnaLauncher 访问所有成像图片，分析结果和最终数据，同时显示成像时或图像分析时的参数设置，保证了数据的完整性。所有软件模块的集成可提供一个完整的表型分析的工作流程：从数据采集，图像分析到 LemnaMiner 中的统计结果，整个过程可追溯，从而避免人为误差。

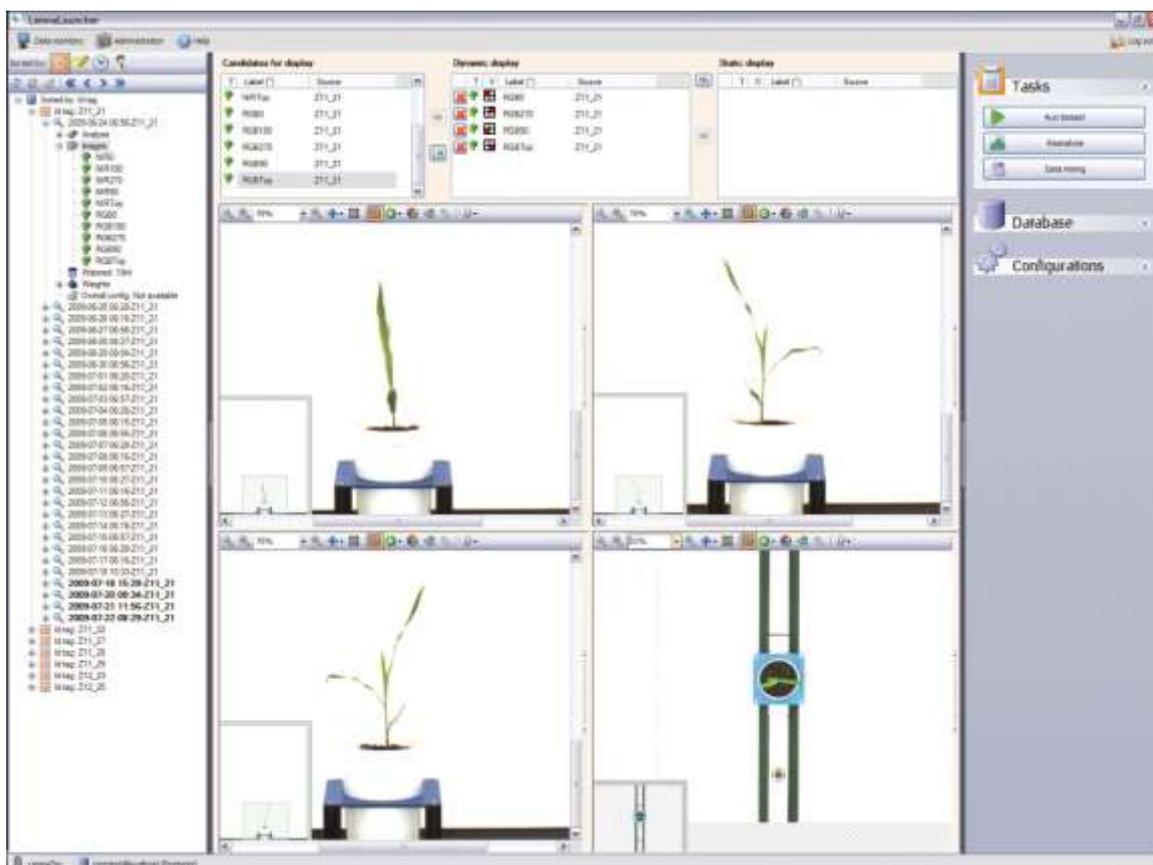


图 0-85 LemnaLauncher 的工作界面

从准备实验，开始实验，控制运行到最后的分析，LemnaLauncher 都为这些任务提供了初始界面，同时为操作者提供补充解释功能和选项功能。

在实验过程中，数据监控功能可让研究人员不断更新工作计划。可通过控制软件 LemnaControl 控制研究人员自定义的硬件功能，如成像、灌溉或施肥。使用 overview tile viewer，用户可以访问获得的图像及其附加元数据，例如可访问 LemnaGrid 的图像分析结果以及该成像样本的描述备注，如重量和灌溉量等。

为监控所有的实验数据，LemnaLauncher 引入了 Snapshot（快照）的概念，整理所有的成像图片和分析结果成便捷的可浏览格式，一个 ID 标签代表一个实验和 Snapshot 的不同获取时间。

Snapshot 可对同一系列的实验进行归类。

如要全面的了解 Snapshot 的概念，研究人员可以选择一个图像进行测试，该图像分割成多个随着时间的推移而变化的图片。这将带给研究者快速、详细而直观的印象。以对照和处理样本的生长率为例，能提供对照组和处理组同一时期的不同形态图片，能让研究人员观察到在不同实验条件下，对照组和处理组在形态上的细微变化

实验完成后，在 LemnaLauncher 软件中，研究人员可直接访问 LemnaMiner 的统计工具箱，对图像进行快速浏览和数据分析。

软件特点：

- 创建和管理系统用户
- 提供主界面，并提供访问 LemnaTec 不同软件的通道
 - LemnaBase 数据库管理软件
 - LemnaControl 硬件控制软件
 - LemnaGrid 图像处理软件
 - LemnaMiner 数据统计和处理软件
- 树状视图，全面概述所有采集到的图像，以及附加元数据，如图像分析、重量、灌溉信息等。
 - 能对显示的项目进行过滤，有助于研究人员从存储的成千上万图像中对感兴趣的样本进行追踪
 - ◇ 通过 Snapshot 进行过滤，如：可显示特定性状或单个植株的所有信息
 - ◇ 可显示某个特定实验或者某个特定研究人员的实验结果
 - ◇ 可直接显示某个特定时间的 Snapshot 等等
 - 选项排序，可更有效的查找到所需要的信息
 - ◇ 按时间排序
 - ◇ 按照 Snapshot ID 排序
 - ◇ 按照实验排序
 - ◇ 按照研究人员排序等等
 - 浏览模式，提供对表型数据的快速查看和手动查看
 - ◇ 查看单一的成像信息（如可见光、荧光等）

- 浏览图像分析结果
- 附加数据查看（如重量、灌溉条件等）
- 不同时间的浏览
- ◇ 多视图信息浏览，最多一次可达 16 幅
 - 可对同一植株不同成像模块获取的图片进行差异性或相关性研究，可应用于胁迫信号的观察。例如：一株看起来仍是绿色的植株，但却显示低含水量（NIR）和高温（IR）
- 数据监控，跟踪硬件
 - 浏览所有目前和计划中的任务
 - ◇ 分析工作，已分析的图像和待分析的图像
 - ◇ 维护，有助于安排硬件的所必须的维护工作
 - ◇ 提前计划，编辑和预览不同植株的成像工作计划，如可编制对照组只进行可见光成像，而处理组则进行全部成像
 - ◇ 灌溉工作，可制定定期浇水，切换到 LemnaControl 进行编制，或直接从 excel 导入浇水工作安排。
 - ◇ 植株图谱，追踪植株，可确定植株的生长位置，并获取相关信息（如不同处理、对照、Snapshot ID、传送车等）
 - ◇ 系统工作，对工作计划进行预览，如灌溉和成像工作等
- 基于 RFID 读取和跟踪植株
 - 对传送系统上的所有植株位置进行精确定位，所有植株在温室里面的空间分布信息可存储并进行植物表型计算。植株的运动通过后台软件进行仿真模拟，并进行实际运动控制。在成像或灌溉前，实现 RFID 读取，并不断对数据信息进行更新。

2.6.3 LemnaControl

LemnaControl 用于控制整套系统的运转，包括：

- 成像/成像分析
- 灌溉/喷淋
- 植株在传送系统上的随机分布

- 从数据库导入大批量数据
- 分配成像模式
- 控制花盆的位置
- 打开/关闭照明系统和散热系统等

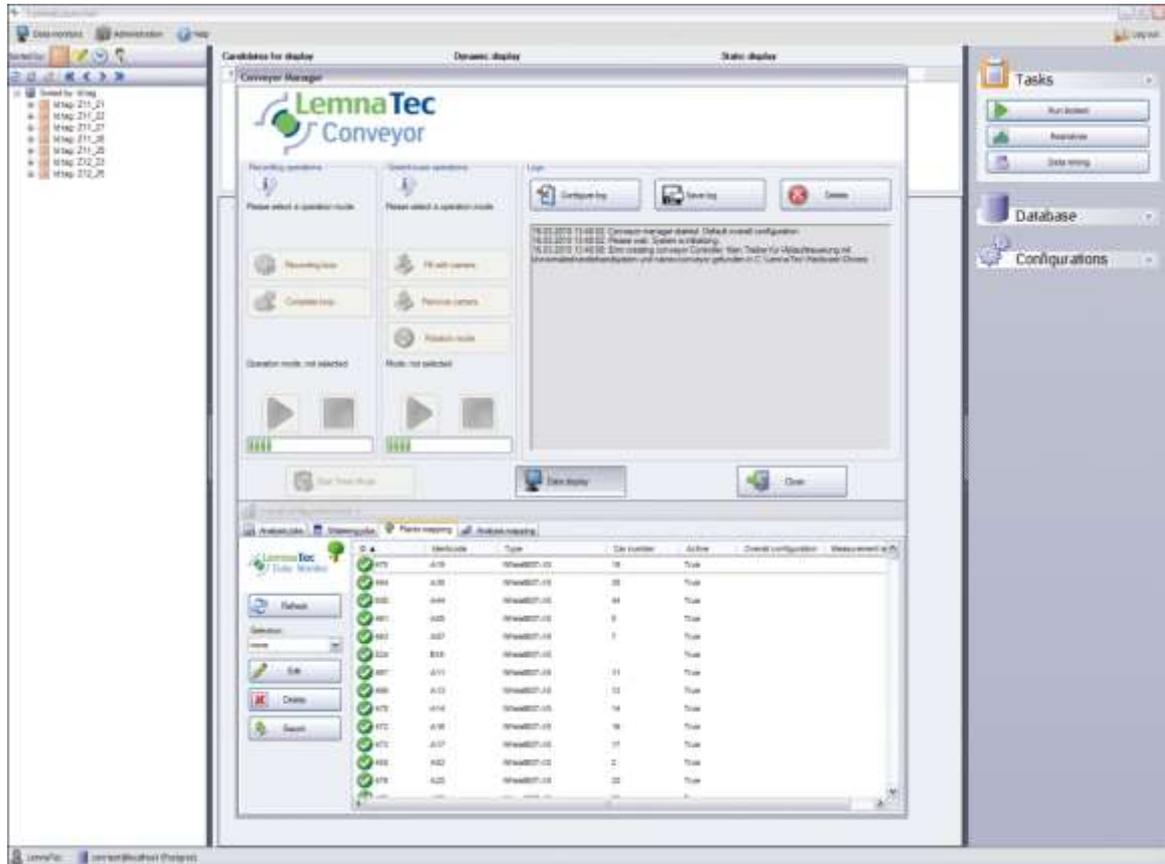


图 0-86 LemnaControl 的工作界面

下面举例说明 LemnaControl 如何管理灌溉任务：

既可通过软件的 GUI 模块设置灌溉参数，也可通过导入 CSV 文件来设置灌溉参数。可进行设置的参数如下：

1. 植物标识代码设定（字母或数字，**必须设置**）
2. 浇水时间（日期，**必须设置**）
3. 浇水开始时间（整数，默认值为 0）
4. 浇水完成时间（整数，默认值为 24）
5. 灌溉量（整数，**必须设置**）
6. 灌溉类型（文本格式，**必须设置**）

- a. 绝对值
 - b. 目标重量
 - c. 目标重量补偿
7. 动态重量补偿（只适用于目标重量补偿模式，整数+%）
8. 失效运行情况（文档格式，**必须**设置）
- a. 添加
 - b. 有限添加
 - c. 跳过
9. 失效行为限制（只适用于有限添加模式，整数）
10. 泵 ID 设置（用逗号进行分割列表 ID 值，**必须**设置），在泵参数设置中弹出对话框

2.6.4 LemnaGrid

该系统利用图形化编程语言（类似于 Labview 或微软的 Robotics Studio），它可以建立不同算法的连接，形成图像处理直观图形化。创建一个图像处理的流程线路，可从原始图像中提取所需的属性。

为实现高通量的图像处理，可先建立一个图像处理程序（Grid），并将此 Grid 应用于所有的图像处理。

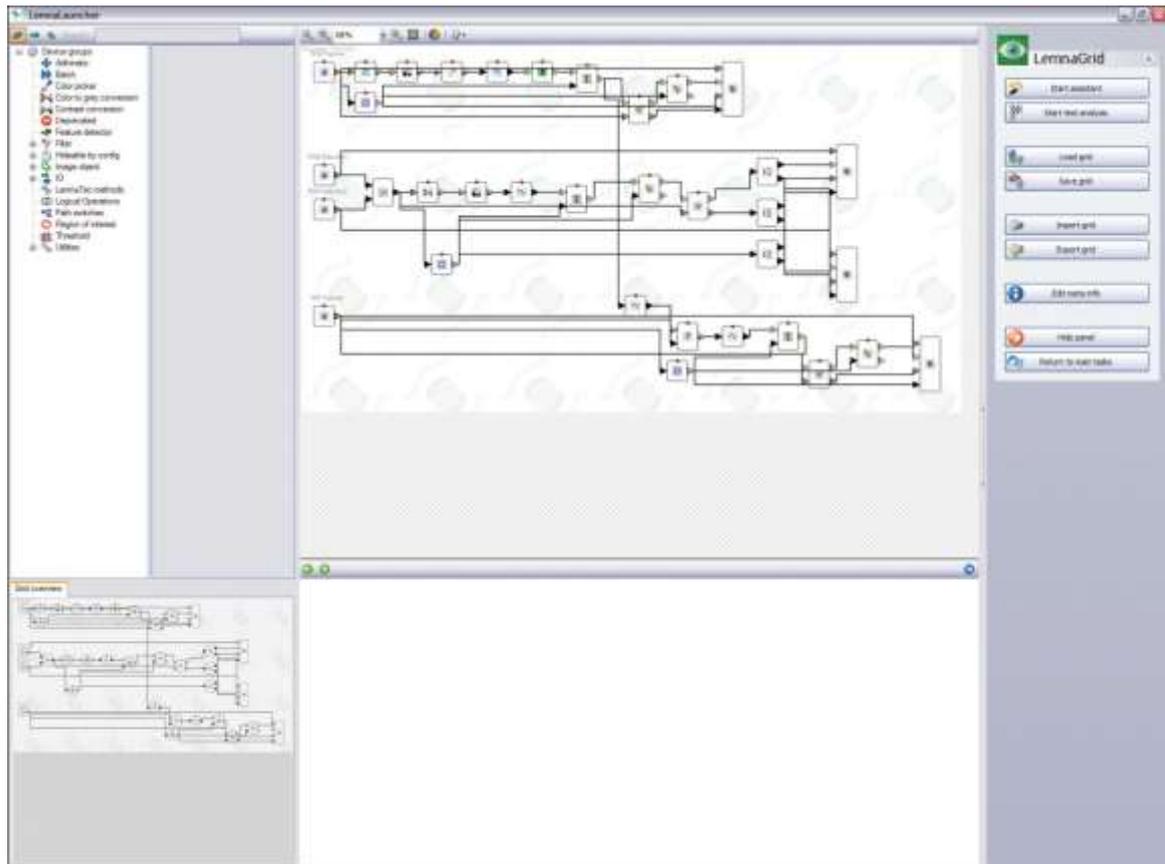


图 0-87 LemnaGrid 的工作界面一

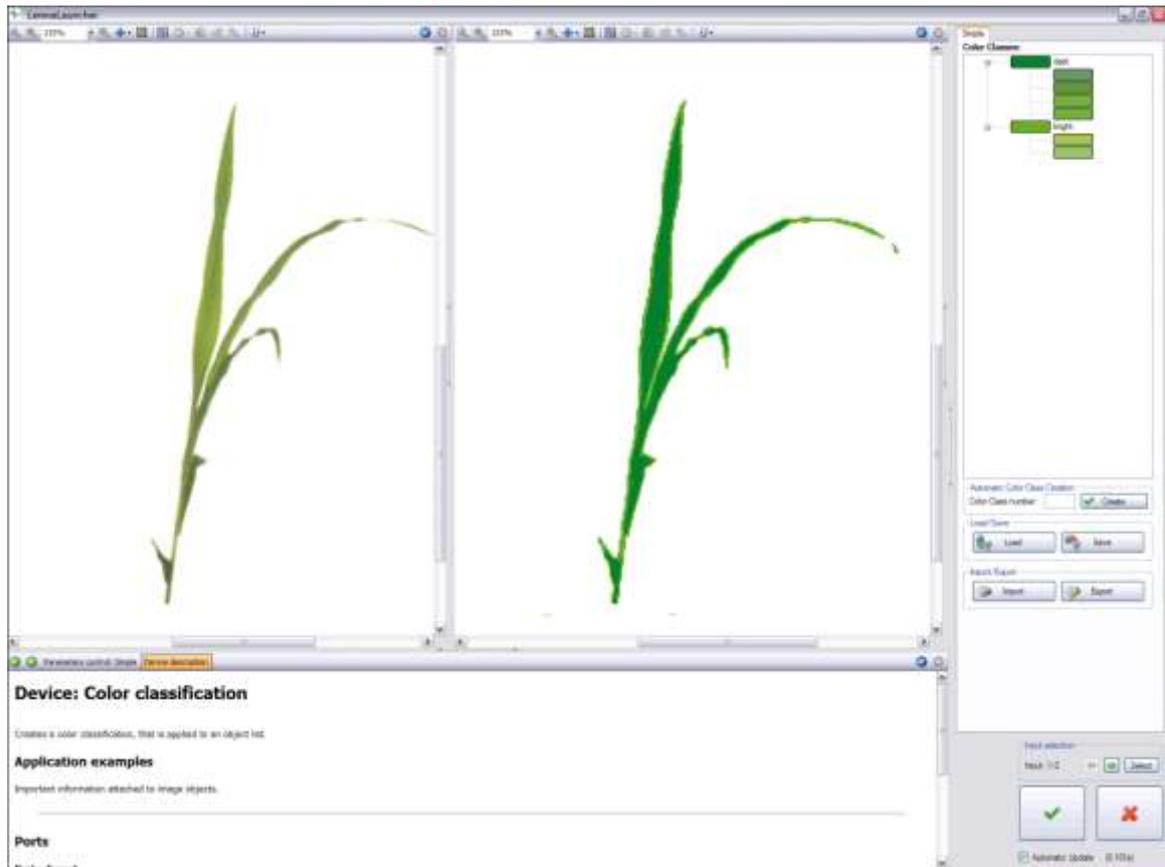


图 0-88 LemnaGrid 的工作界面二

在每个图像处理程序里，一般需要 4 个典型的步骤：

- 导入参比图片。可导入 1 张或多张参比图片，尽可能覆盖所有的样本情况（如从普通样本到极端个例都应考虑到）
- 从背景中分离目标物。目前有很多从背景提取目标物的算法，包含简单算法（如从 RGB 色彩空间中扣除背景颜色）到目前较新的算法（如 HIS、LUV 或 LAB 色彩空间）。
- 获取所需的特性。当目标物从背景中分离出来后，就可获取数字特性如尺寸、长度、宽度等，以及其他参数如颜色、骨架等。
- 将结果保存到数据库。数据库 Writer 功能可让研究人员选择需要的信息进行储存。可选择储存图像所有的属性，或者仅仅储存基本信息。

利用 Grid 在图像分析界面可进行高效的图像预览及参数设置功能。整个分析过程完全图形化，并可应用于大批量的图像处理过程中。

LemnaGrid 可应用于大量植株品种的测量：

- 三个方向上的所有叶面积

- 两个方向上的所有根表面积
- 根或者叶片的颜色分类
- 植株的早期鉴定（第一片叶片何时长出）
- 活性雄花鉴定
- 鉴定套在雌花上防止授粉的袋子
- 植株三维高度和宽度
- 节间距
- 叶片与茎秆的夹角
- 宽边叶面积的总长度
- 两个方向根系的总长度
- 起始于节点的叶片数
- 基于颜色的植物病害鉴定或发育鉴定

2.6.5 LemnaMiner

LemnaMiner 从 LemnaTec 数据库里面提取数据并分析,将图像分析数据与其他实验数据结果转化成生物相关的信息,并进行后续的统计分析。数据管理工具栏提供 LemnaMiner 软件协议。

标准查询:

- 样品标号或测试系统或用户等
- 整个实验过程的控制数据
- 一次实验的所有结果
- 一个用户的所有实验结果

灵活查询:

- 和
- 或者
- 大于
- 小于

- 等于
- 不包括
- 总和

通过无限制客户的密码狗能进行以下分析：

- 基于颜色，通过 SQL 对性状进行存储
- 对三个方向上的坏死、萎黄、病变叶面积进行统计
- 可自定义新的分析参数
- 手动校正，并进行备注，所有操作过程将自动记录
- 可辨别颜色的微变化
- 可自动选择
- 可自定义标准
- 可通过相对值或绝对值来评估性状

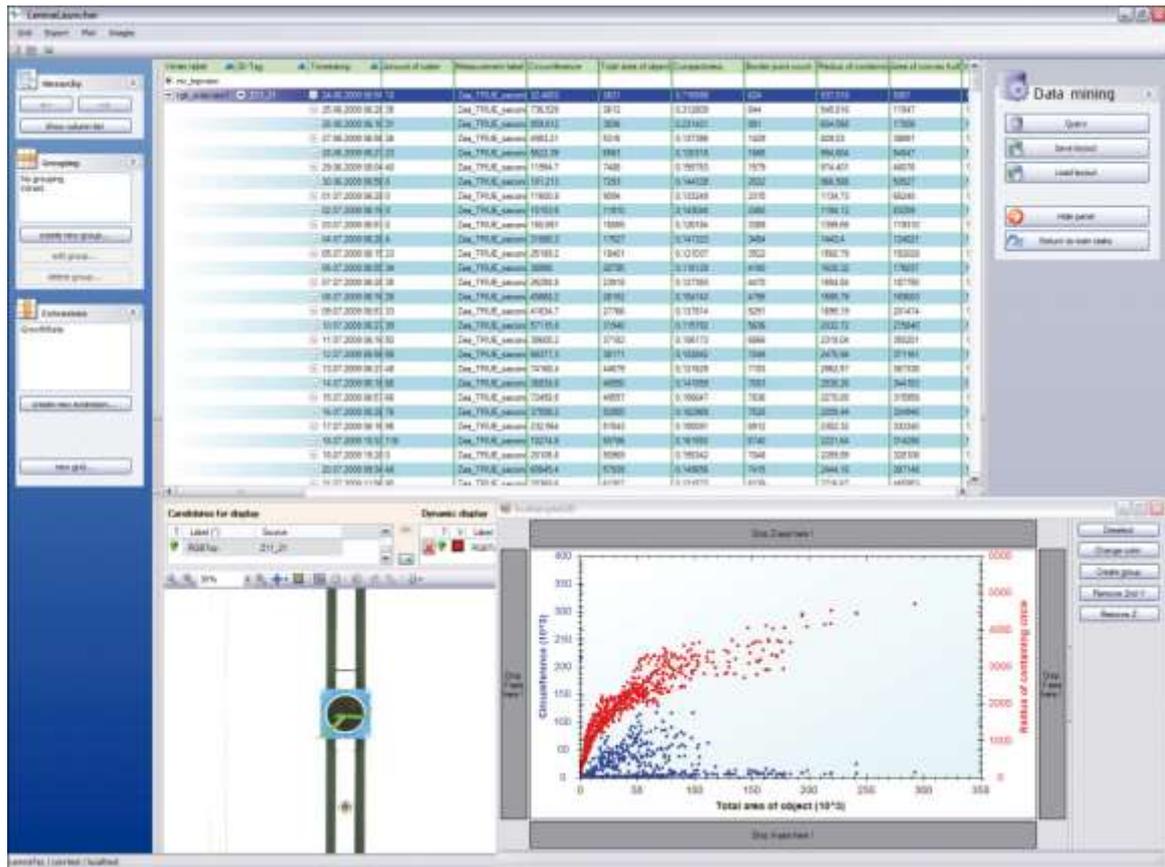


图 0-89 LemnaMiner 的工作界面一

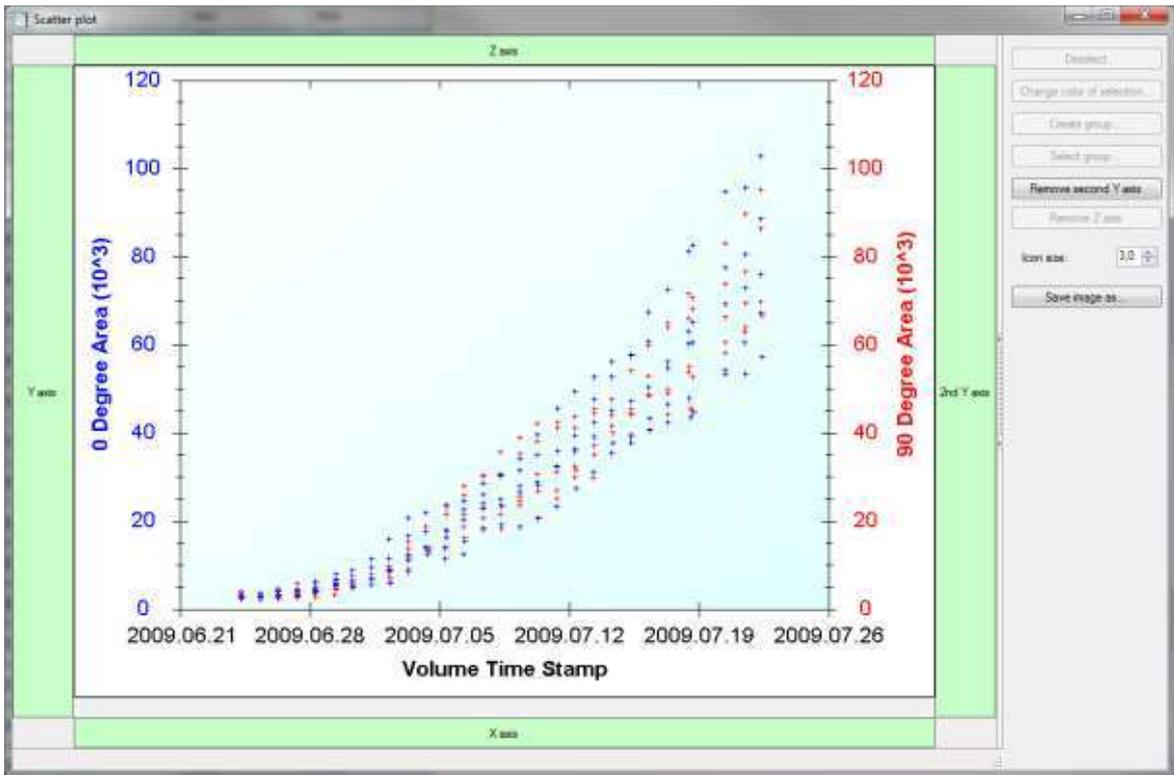


图 0-90 LemnaMiner 的工作界面二

2.6.6 LemnaBase

LemnaBase 作为中央数据库，为所有 LemnaTec 的软件模块提供界面，根据实验通量和 LemnaTec 系统的复杂程度，LemnaBase 需要专门的服务器或者本地工作站。也就是说 LemnaTec 数据库通过服务器以 FTP 形式管理图片，通过 SQL 管理其他实验以及不同实验的元数据。为迅速的处理大批量数据，LemnaBase 提供特定的管理功能，如：

- 对不同实验或者不同工作组的实验数据进行细分
- 数据库可复制，也可共享图像或结果
- 数据保护功能，避免覆盖
- 对某些数据设置限制访问
- 设定不同级别的用户不同的权限

通过 LemnaTec Scanalyzer 操作平台，数据库可存储不同的硬件方案，为确保数据的完整性，所有的数据都是保持在硬盘里，同时可提供额外的长期备份服务。可直接导出或导入图片，用于第三方软件的分析。

数据库不具有专有的文件格式，完全能通过 SQL 进行管理，LemnaTec 提供 SDK 用于建立自定义的数据库结构。

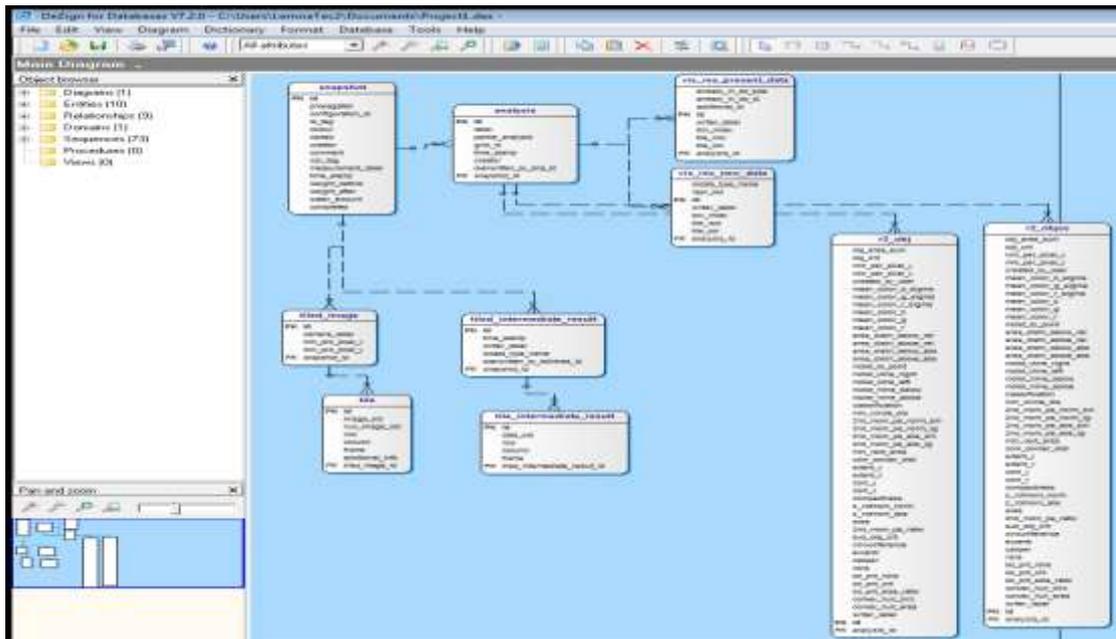


图 0-91 基于 SQL 或 Oracle 的数据库结构

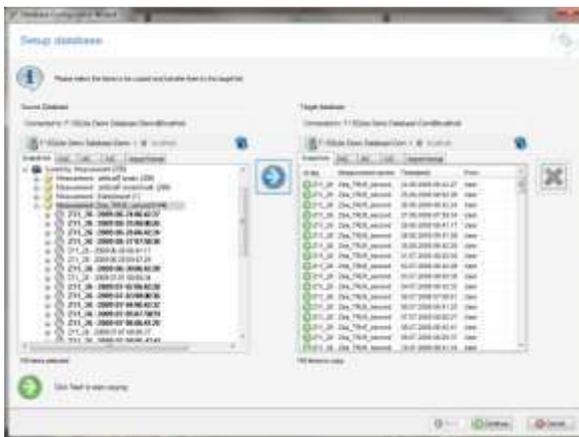


图 0-92 LemnaBase 复制数据界面



图 0-93 LemnaBase 导入/导出界面

2.6.7 LemnaShare

LemnaShare 可以查看在线的 Lemna Grid 的分析数据，对于初学者，可参考典型案例的分析方案，以辅助自我学习。还可在图片分析时，向 LemnaTec 申请远程协助支持。

2.7 高通量植物表型平台的定制化设计

2.7.1 通用原则

针对温室型全自动高通量植物表型平台而言，决定您的平台设计的第一要素是经费预算。成像模块的数量、传送系统的通量和载重量、辅助模块的配置（灌溉、称重、营养盐添加、喷淋等）、是否需要新建或改造温室/人工气候室等，都直接影响到总的预算和系统的设计。这里我们列出几条通用的基本原则：

- **成像模块。**可见光成像永远都是必配的，其它成像模块根据您的实验需求和预算来选择。由于植物的水分生理非常重要，因此国际上绝大多数客户将近红外成像放在成像模块的第二位来配置。选择了这两个后，再去根据实际情况考虑其它。需要指出的是，只要预留了空间，其它的成像模块都可以后期再配置。
- **传送系统。**植株的重量和需要的通量直接影响传送系统，而这一部分也是造价最昂贵的部分。一个好消息是只要预留了足够的空间，传送系统也是可以后续升级的。国际上有很多的客户在第一次购买时，甚至没有购买温室传送系统，而是只购买了内围传送系统，通过人工搬运植物到内围传送系统上来进行自动表型测量。这可以节省很多成本，等有了初步成果后再获取经费升级增加温室传送系统。
- **辅助模块。**由于能够进行精确的灌溉和称重，我们隆重推荐您第一次购买时就配置自动灌溉和称重系统，其它的营养盐添加、喷淋都是可以后续升级的。如果您要建设一个大型的植物表型平台，为了提高灌溉效率，我们强烈建议您在温室传送系统中，每 300 盆左右就配置一个自动灌溉和称重系统。
- **植株高度。**植株的高度并不影响表型平台硬件的造价，但会显著影响表型平台特别是成像暗房的占地空间（面积和高度）。除非是针对表型平台新建人工气候室或温室，否则这会对您的系统安装造成显著影响。如果您希望您的实验植物在平台上的生长高度可以达到 2.5 m，那么成像暗房本身的高度就会达到 6 m，其上面还需要至少 1 m 的通风散热空间。这个高度对于许多现有的实验大楼或温室而言，是很难满足的。
- **种植密度。**如果传送带之间的间隔较窄，许多植物的叶片会交叠，在传送时容易发生叶片断裂；如果传送带之间的间隔足够宽，会大大提高占地面积，从而大大增加温室/人工气候室的造价。同时需要考虑到目前国际农业的一个大方向是高密度种植，在表型平台上的很多实验是希望在田间重复出来的，因此传送带的间距过大也不是一个好的解决方

案。

- **平台安装在哪里？** 如果植株高度低（如 50 cm）、通量低，可以将系统安装到人工气候室中；如果植株高度高、通量大，我们建议新建人工气候室或温室来放置整套平台。

2.7.2 成像暗房的设计

“成像暗房”的大小设计取决于测试植物的大小。

“成像暗房”高度 = 90 cm（传送带高度）+ 植株最大高度 + 150 cm（CCD 距离植株顶部的距离）。如图 0-所示若植株最大高度为 250 cm，则“暗房”高度达到 500 cm。其上还要预留 100 cm 左右的散热空间。

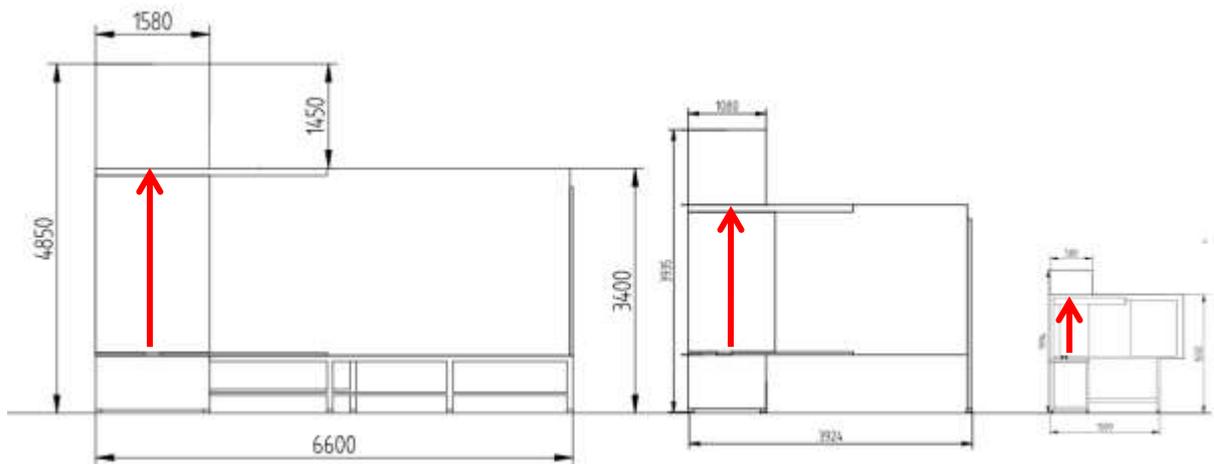


图 0-94 成像暗房的大小设计

图中 ↑ 示出了植物高度，从左至右依次为 2.5 m、2 m 和 0.5 m

植株的高度除了影响“成像暗房”的高度，还会影响“成像暗房”的长度。如图 0-所示，当植物高 2 m 时，成像暗房的长度为 4 m 左右；而当植物高 2.5 m 时，成像暗房的长度达 6.6 m 左右。

成像暗房的理想工作温度是 18~30℃，目前在我国绝大多数地区存在夏天温度过热的和/或冬天温度过低的情况，就需要对成像暗房进行环境模拟控制。

如果成像暗房是砖混结构的房屋，用空调就比较容易进行环境模拟控制。如果成像暗房建在玻璃阳光房内，我们强烈建议将阳光房建成可以精确控制环境条件的“阳光型人工气候室”，而不是非常粗放的“阳光型玻璃温室”。

2.7.3 传送区的基本空间设计

传送区一般安装在阳光温室、阳光型人工气候室或人工光型人工气候室中，通过温室加载传送系统与成像区连接。传送区在空间设计上一般包括植物生长区和走道两大部分（图 0-）。

植物生长区包括一条条的载满植物的传送带（间距根据需要设计）、回传传送带和辅助模块（如自动灌溉和称重系统）等。植物生长区预留 1 圈走道，方便植物的搬运、系统的维护、实验人员的管理等工作。

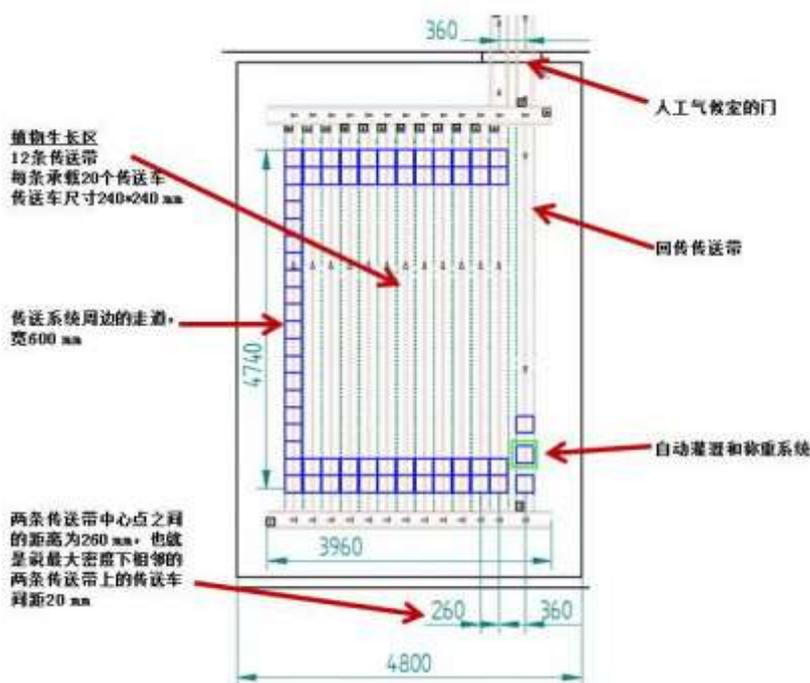


图 0-95 传送区的基本结构示意图举例

在实际设计中，有的客户希望将传送区分割成不同的空间（人工气候室），以方便不同环境条件的实验处理。但需要注意的是，在用于传送区设计的总的面积固定的情况下，分割成多个空间后，每个空间都需要额外增加走道（为了维护，这是必须的！），而这将导致传送通量大大降低。将一个人工气候室分成两个后，每个气候室的面积降低到原来的 50%，但传送通量可能降低到原来的 25%（走道的影响）（图 2-）。因此，从获得更大通量的角度将，越大的空间性价比越高。

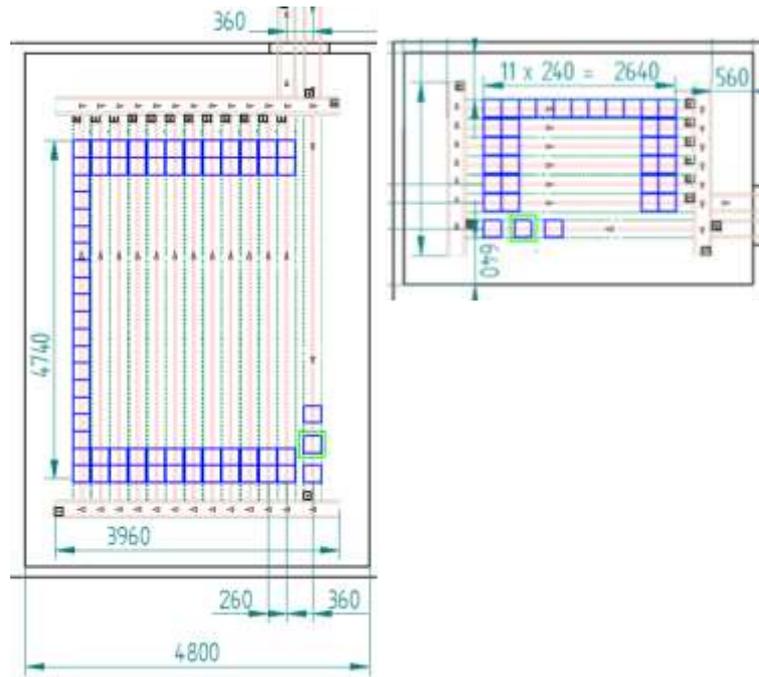


图 0-96 传送区空间分割对通量的影响

2.7.4 传送系统的布局设计

对于一个完全自动化的温室来说，传送带的布局起到了至关重要的作用，因为它直接影响室内所有植株的随机排列方式，是所有植株获得相对均一环境条件的基础。我们可以根据客户的需求，定制化传送带的排列方式，以保证达到预期的实验目的。这里着重介绍了温室传送带的布局方式、显著特点以及相应的植物排列方案。

通常情况下，系统采用一种称为 99:1 的布局方式。下图中传送车上的箭头指向不代表植物的方向，整个传送过程中植物的方向是始终保持不变的，因此箭头仅仅代表的传送车的运动方向。

大多数情况下，传送带采用北向南方向排列，这样可以保证两面得到的太阳光更加平均，但是中午经过周围植株时的阴影较高，影响较大。采用由东向西方向排列，则周围植物阴影影响较小，但植物往往会沿着某一侧面趋光生长，尤其是采用 99:1 布局方式时更加明显。依赖于传送带的取向、布局方式及间距，阴影和光的方向可能发生改变。

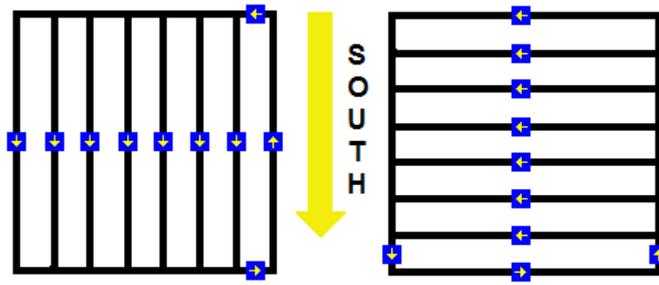


图 0-97 相对于太阳的传送带取向

传送车的箭头只代表传送车的运动方向

2.7.5 传送系统的运送和处理循环

植物表型平台具有如下循环模式：

- 标准 [SC]
- 标准随机* [SCR]
- 手动加载成像 [HLI]
- 手动加载成像外加自动灌溉 [HLIW]
- 手动加载自动称重 [HLT]
- 手动加载外加自动灌溉 [HLW]
- 随机循环 [RM]
- 传送车排序 [SI]
- 传送车移除 [SO]
- 选择植物 [SOP]
- 植物排序 [SIP]
- 加载植物 [LP]
- 不加载植物 [UP]

循环名称	简称	成像	自动灌溉	自动称重	随机化	手动加载	样品循环
标准	[SC]	+	+	+			
标准随机*	[SCR]	+	+	+	+		
手动加载成像	[HLI]	+				+	
手动加载成像外加自动灌溉	[HLIW]	+	+	+		+	
手动加载自动称重	[HLT]			+			
手动加载外加自动灌溉	[HLW]		+			+	

随机循环	[RM]				+		
传送车排序	[SI]						
传送车移除	[SO]						
选择植物	[SOP]						
植物排序	[SIP]						
加载植物	[LP]						
不加载植物	[UP]						
*不同随机排列方式是可能的							

不同模式的解释：

- 标准 [SC]

所有或指定传送带将传送车运送至成像暗房进行成像，然后返回到温室生长区的相同位置。

- 标准随机* [SCR]

温室或子温室中所有传送带将传送车运送至暗房进行成像，然后返回到温室生长区不同的位置，可以通过整排移动或者前后植株互换位置的方式实现。通过软件设置随机排列模式，也可以根据需求定制化。

- 手动加载成像 [HLI]

其它来源植株放置于传送车上，运送至成像暗房进行成像。

- 手动加载成像外加自动灌溉 [HLIW]

其它来源植株放置于传送车上，运送至循环成像推进系统传送带，依次进行成像和自动灌溉。

- 手动加载自动称重 [HLT]

其它来源植株放置于传送车上，运送至循环成像推进系统传送带进行自动称重。

- 手动加载外加自动灌溉 [HLW]

其它来源植株放置于传送车上，运送至循环成像推进系统传送带进行自动灌溉。

- 随机循环 [RM]

温室或子温室中所有传送带将传送车运送至整个温室生长区不同的位置，可以通过整排移动或者前后植株互换位置的方式实现。通过软件设置随机排列模式，也可以根据需求定制化。

- 传送车排序 [SI]

将额外的传送车在循环成像推进系统或温室传送带上排序。

- 传送车移除 [SO]

将循环成像推进系统或温室传送带中的传送车移除。该程序是将传送车从传送带上移除的第二步。

- 选择植物 [SOP]

从整个温室传送车中选出部分传送车，使其运动到预设的传送带（被称为一个独立的子温室）上，通常该条传送带为系统的边界传送带，所有植物都会通过该条传送带进行人工处理。如果温室较小或者存在限制区域，也可以将选中的植株置于返回传送带上，在传送带的工作区域（植物装载和卸载）处理植物。此时，植物可以被逐盆处理，然后放回到返回传送带。进过一个循环之后，便可以确定是否需要另一个处理循环（时间取决于荧光测定）或者重新排序（SIP）。任何情况下，传送带工作区的释放按钮都是对每一个植物单株单独释放，因此可以随时暂停或开始。所有处理结束后，植物重新排序到原传送带上。

- 植物排序 [SIP]

被选植株传导到原传送带上。

- 加载植物 [LP]

此模式下放置一盆植物，该植物会被自动编号并储存至服务器，定义该植株在传送带的特定位置及特定传送车编号。此时，植物编号和传送车编号被绑定，除非该植株在 UP 模式下卸载。

- 不加载植物 [UP]

此模式下卸载一盆植物，该植物将自动在服务器上转变为非激活状态，定义该植株已经从传送系统中卸载。此时，植物编号和传送车编号解除绑定。

2.7.6 传送系统的随机分配模式

2.7.6.1 完全随机模式

此模式下，所有植物被随机传送到相反的轨道，并再次随机排序。没有时间控制程序条件下，连接轨道上的植株数目保持最少。

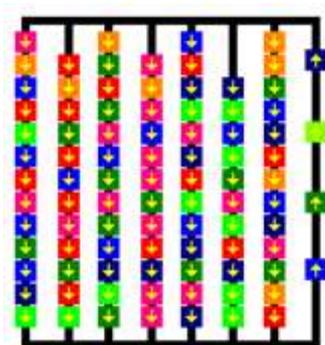


图 0-98 完全随机模式

箭头只代表传送车运动的方向

2.7.6.2 半线模式

如果每一条传送带上有偶数个传送车，那么可以将该传送带上半数的传送车一起转移到另一条传送带，就如同火车运动一般，这对于将边缘传送车传送至中间位置非常重要。此外，整线传送带转变为半线传送带是在同一时间段内完成的。有时，甚至一条传送带上的第三或第四部分都可以看成是一个单位，但要保证所有的单位的大小是一致的。传送车的转移速率是可以提前设置的。

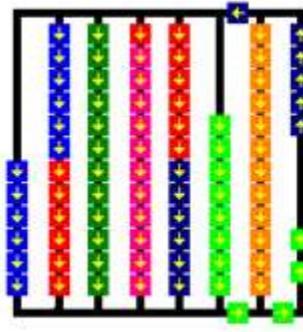


图 0-99 半线模式

箭头只代表传送车运动的方向

2.7.6.3 全线模式

同一时间段内，总是两条完整的传送带将其上面所有传送车互换位置。

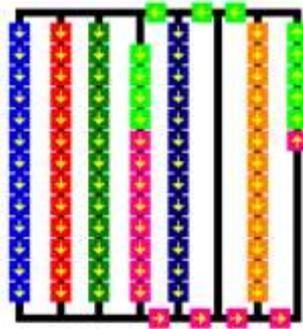


图 0-100 全线模式

箭头只代表传送车运动的方向

2.7.6.4 第一株植物系统化模式

每一条传送带上的第一个传送车被运送至反方向的同一条传送带或不同传送带。尽管如此，植株生长环境是始终保持不变的。

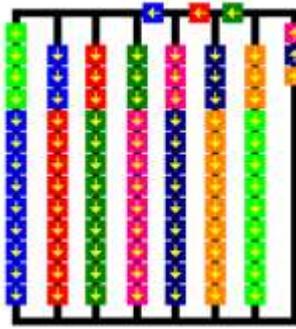


图 0-101 第一株植物系统化模式

箭头只代表传送车运动的方向

	完全随机模式	半线模式	全线模式	第一株植物系统化模式
传送车停放区线内互换	++	+	-	+
由于恒定的周围植株，绘图设计统计学分析可能性	-	+	++	++
由于传送车间互相碰撞，长期停放可能被短期运动所取代	-	+	++	-
线内植株在一起	-	+	++	+
线间植株在一起	-	-	-	+
用于温室传送系统选择	-	-	-	++
线内首尾植株互换位置	++	+	--	++
自动灌溉/成像始终遵循恒定顺序	-	+	++	++
所有植株在任意位置具有相同的停放时间	不存在	-	++	++

2.7.7 传送区种植密度的选择和设计

多数育种研究是为了实现新品系最终能够在田间种植。温室的环境越接近田间环境，那么温室的试验结果就会越接近田间结果，并且能够减少只有在温室培养条件生长才会出现的无用表型的概率。

下面的试验举例说明了 Lemnatec 传送系统实现种植密度最大化的策略，这些策略不仅能够产生与田间相近的大量表型，还能够通过制造有效空间布局而提高试验效率。

2.7.7.1 温室种植密度选择的重要性

温室试验可以帮助研究人员排除或者减少光照、温度、湿度、灌溉量等不可控环境因子的影

响。可控的温室环境能够在特定的时间点设定和调整温室的培养条件，比如在花期等重要的生长发育期，把植株暴露在胁迫生长条件中进行试验。同样，在温室模拟田间环境可以替代田间相对一致但不可控的生长环境。如果植株一直在传送带上移动，则需要通过随机布局和预设的灌溉程序才能够确保处理条件高度一致，否则温室对田间的模拟程度会大大折扣。另外，在表型发育期可以对单株及单株使用的资源量进行定量。

然而，温室培养有一个不足之处：温室培养获得的种植密度往往低于田间培养。

对光、水和营养等资源的需求不设限制可能成为鉴定植株表型基因表达的一种方法。倘若以育种为研究目标，在近似田间的竞争性环境中培养植株能够有助于快速高效的鉴定出独特的品系。

图 0-示出了在温室中培养的玉米叶片的角度结构（叶片的弯曲导致无法测定一个预设的角度），田间并排两行玉米的行间距仅有 60 cm，这样会引起植株因争夺光照而生长挺直。



图 0-102 玉米田间植株（左，直立型）与温室植株（右，叶片多弯曲，多宽叶）

2.7.7.2 田间种植密度与植株大小有关

田间的玉米多数高 2 m，宽 80 cm，株间距离多为 60 cm。这样两株间的叶片就会产生 20 cm 的重叠（图 0-）。如果传送队列间距较小，即使诸如谷类作物的较矮植株也会发生叶片重叠。因此，不能忽视这种重叠现象并且还要在真实的生长条件下对重叠现象进行测试。

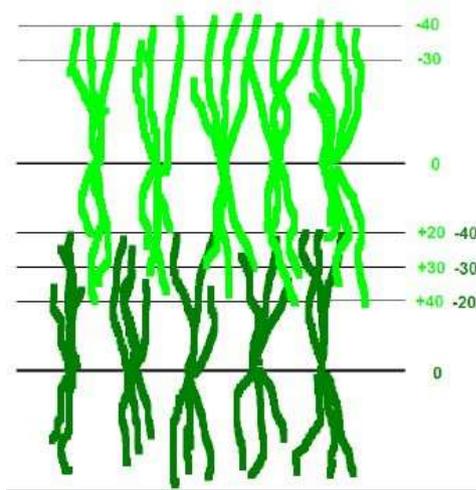


图 0-103 田间玉米重叠模式图

从图中可以看出田间两行株高约 2 m 的玉米的行距和叶片宽度。行间播种距离为 60 cm，单株玉米总宽度约 80 cm，因此在植株两侧的叶片会产生 20 cm 的重叠（数据来自田间条件）。重叠程度因栽培品种而异。

2.7.7.3 传送带队列的行间要求

图 0-是温室传送系统的布局模式图。表 0-1 是邻近传送带间的最小技术距离。植株在拐角处发生转向的布局方式称为标准布局方式。这些小模块为多种布局方式提供了最大的灵活性，但是如果每条传送带的移动方向彼此独立，那么传送带间必需要保持一定的间隔距离。倘若植株彼此不损伤，较短的重叠还是可以接受的。标准布局方式是指 99:1 或者 50:50 的常规梯形布局方式。双标准布局方式与标准布局方式类似，只是 6 m 长的传送带分为两个传送带单元(共用一个马达)以保证每个托盘的运载量最大化。某些情况下，双标准布局方式会使每个单元的托盘数量略微减少。

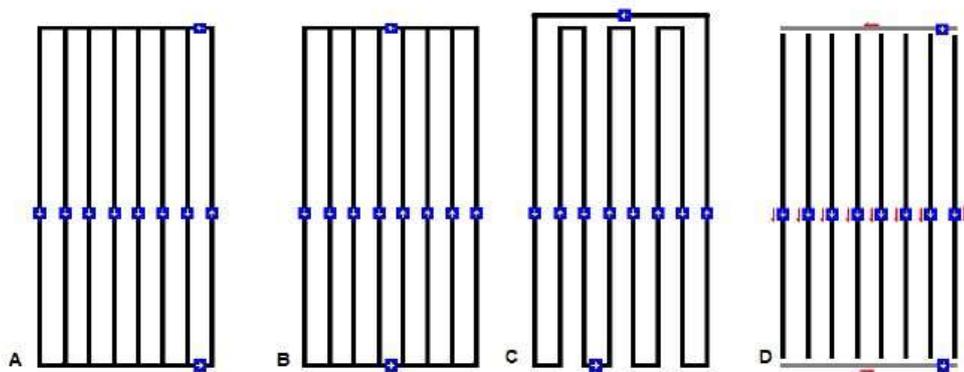


图 0-104 温室传送系统布局模式图

A: 99:1 标准布局； B: 50:50 标准布局； C: 标准蛇形布局； D: 大载重量布局。

除了 D，托盘上的箭头（蓝色）指明传送方向与植株方向，植株方向始终不变。红色箭头显示植株如何传送至传送带（黑色）与穿梭带（灰色）。

蛇形布局方式能够产生相当大的种植密度，但相邻传送带的反向运输会使加重重叠部分的受伤程度。因而如果以最大种植密度培养，必须精心处理好植株的突出部分。对于很重的花盆，可以使用大载重量布局方式。这种布局方式能够确保植株在拐角处和运输车上都不会改变方向。

表 0-1 温室传送系统的传送带和运输车参数表

传送带宽度	布局方式	传送带最小间距(mm)	标准运输车规格（长*宽 mm）	传送带最大长度(mm)可用长度（mm）/总载重每带/盘每带	每辆运输车（车+盆）的最大载重（kg）
100	标准	215	160*100	3000/2500	1
100	蛇形	180	160*100	3000/2500/25	1
200	标准	440	200*200	6000/5200/26	4
200	双标准	440	200*200	6000/4800/24	10
300	标准	620	300*300	6000/5100	5.8
300	双标准	620	300*300	6000/5100	11.6
400	标准	840	400*400	6000/5200	7.7
400	标准	840	400*400	6000/5200	15.4
400-500(灵活选配)	大载重量	450-550	400*400 500*500		30

运输车与传送带等宽。如果使用圆形运输车替代方形运输车可以防止运输车在拐角处拥堵，运输车在必要时可以加长加宽，这样就能够灵活使用超出传送带允许范围的更高更宽的花盆。但还要考虑单个马达所承载的总重极限，这就意味着更重的盆需要更多更矮的马达单元（比如表 0-1 中 200 mm 传送带）。

此表中的所有值仅仅是初测值，因为初测值会因技术升级而变动，所以在最终试验前还需要进行一个详细的测试。

根据经验，几种常用的传送带间距如下：

- 玉米 150 cm
- 水稻 80 cm

- 小麦 80 cm
- 大豆 100 cm
- 拟南芥 50 cm

当如，具体数值可以根据测试植物的实际冠层直径做调整，但由于这个间距会直接影响到整套系统图纸的绘制和温室/人工气候室的设计，因此越早确认越好。

2.7.7.4 队列内植株间距要求

如上所述，传送带对运输车与花盆都有一定的规格要求。如果植株的冠层直径大于花盆/运输车长度，那么可能需要间隔一个（或多个）运输车装载一盆植物（图 2-）。

如果队列内植株间距远小于花盆/运输车长度，那么只要保证植株根系有充足的土壤，就可以在一个花盆中同时进行多株培养（图 2-）。这样对一辆运输车成像时，就会在一张图片内成像多株材料。这样尽管无法对一株植物进行独立的三维成像，但是这种种植方式更接近野外真实的生长条件，样本量也大，因而也是非常可行的。对于杂交等试验，只要同一品系的植株重复性良好，那么这种方法就是可行的。为了避免根系交叉生长，可以采用一个运输车装载多个花盆的方式，此时必须采用底部灌溉方式对放置在运输车的植株进行灌溉。

单车多株种植方式有助于作物以及拟南芥等蔷薇科植株实现种植密度的最大化。

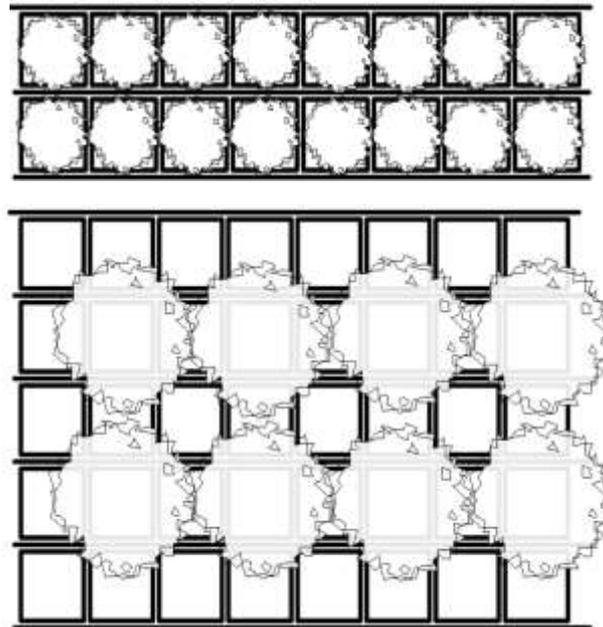


图 0-105 传送系统上植株种植密度比较

上：每个运输车车装一盆植物，所有传送车满员

下：大型植株，每隔一个运输车装载一盆植物

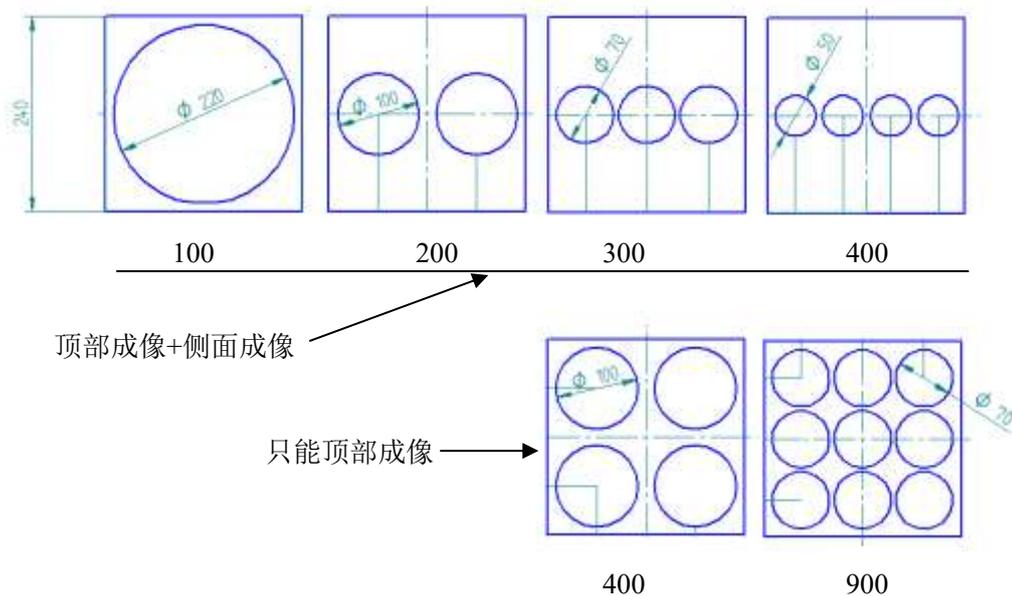


图 0-106 单车多盆模式对种植密度和成像的影响

对于一个通量为 100 盆的系统,如果 1 个运输车只装载 1 盆植物,那么其通量为 100;如果一个运输车装载 4 盆植物,则通量变成了 400。但是单车多盆模式对成像有影响。

2.7.7.5 依赖于种植密度的传送区设计实例

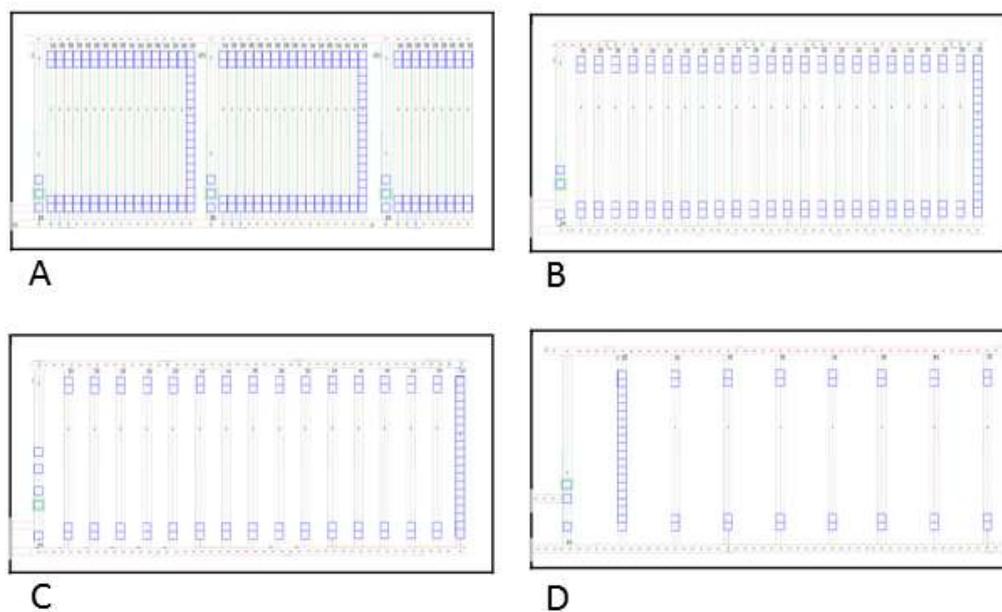


图 0-107 固定面积上传送带行间距对通量的影响

图 0-是一个在固定面积上改变行间距得到的设计结果比较,如下:

- A. 传送带行间距 250 mm，传送通量 860 盆，自动灌溉和称重系统 3 套（当通量很高时，为提高效率建议每 300 盆左右配置 1 套），所有植物灌溉一遍所需时间 2-6 h
- B. 传递行间距 500 mm，传送通量 480 盆，自动灌溉和称重系统 1 套，所有植物灌溉一遍所需时间 6-8 h
- C. 传递行间距 750 mm，传送通量 320 盆，自动灌溉和称重系统 1 套，所有植物灌溉一遍 3-4 h
- D. 传递行间距 1400mm，传送通量 160 盆，自动灌溉和称重系统 1 套，所有植物灌溉一遍所需时间 1.5-2 h

对于大型高通量植物表型平台而言，可能需要种植不同大小的植物。此时，可以将大型传送系统分成多个具有不同行间距的模块。在图 2-示例中，该传送系统被分成了 3 个不同的模块，分别适合植物宽度在 240 mm、480 mm 和 720 mm 的植物。当然，更大的行间距也是可以设计的，例如对于专门做玉米的传送系统，行间距可能需要设计成 1500 mm。



图 0-108 大型传送系统不同行间距模块的设计

2.7.7.6 叶片交叠时的无损处理方法

温室模拟田间高密度培养的的关键是处理好叶片的交叠问题。田间条件下，虽然叶片会偶尔

接触，但从植株整体上看，基本能够避免交叠。当植株在传送带上时，如果一条传送带移动，另一条静止，那么彼此交叠的叶片就容易造成彼此的受伤。

为了避免叶片彼此损伤，我们建议针对玉米等大型农作物，在传送带布局上采用 99:1 布局方式（参考图 0-），当植株（尤其是玉米）首次到达中止处时，该系统可以为植株提供最大的植株空间并能减少移出队列时的摩擦。

为了避免第一队列植株受伤，所有的植株会按照预定的顺序移动，距离连接带最近的植株会首先被运出。当第一队列的植株全部被运出时，其它的转运带才会同时启动，进而使所有温室植株整体向前运行。不同传送队列间同步移动的时间延迟不足 1 s，这就减少了仪器对系统总体上的影响。该系统因为同时运行多台马达，所以需要具备高性能的供电系统。

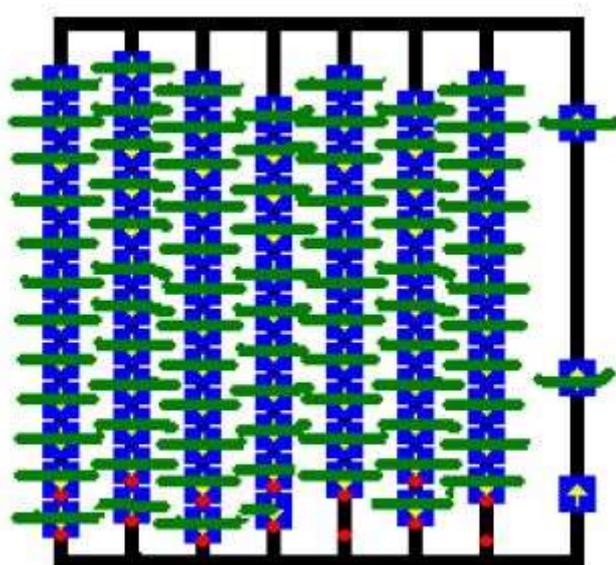


图 0-109 大型农作在传送系统上的布局和传送方式

两个中止处（红点）和第二列队定位确保了叶片的重叠最小化及少受伤。通常首先移出第一队列（每两个植株，再运出第二队列），从而减少了机械性损伤。以相反的方向布满通道，首先布满空载通道。后面通道有很大的空间以避免任何机械性损伤。

2.7.8 成像暗房和传送区的位置设计

对于高通量植物表型平台而言，传送系统肯定是安装在阳光温室、阳光型人工气候室或人工气候型人工气候室中，以便传送系统上的植物能够正常生长。那么成像暗房放置在哪里呢？在技术上，成像暗房既可以与传送系统放置在同一个空间中，例如阳光温室、阳光型人工气候室或人工气候型人工气候室中，也可以与传送系统放置在不同的空间中，例如独立的砖混结构空调房中。

成像暗房与传送区放置在不同空间的理由：

- 传送区（阳光温室、阳光型人工气候室或人工光型人工气候室）的空间往往有限
- 传送区的空间往往造价比较昂贵（特别是阳光型人工气候室和人工光型人工气候室）
- 许多实验要求传送区有较大的湿度和温度变化/控制范围，这样有利于特定目的的实验，但对成像系统不利

成像暗房与传送区放置在**相同**空间的理由：

- 植物从传送区（独立的环境）运送到成像区（独立的环境），环境条件改变可能会影响成像结果。例如空气温度的变化会直接影响红外（热）成像结果，环境光强和温度的变化可能影响光合活性变化从而影响光合荧光成像结果。
- 对仅需要顶部成像的小植株而言，成像暗房占地空间小，可以与传送区设计在一个空间内
- 当需要非常高的成像频率时，成像暗房与传送区放置在相同的空间更理想（若空间不同，一方面增加传送时间成本，另一方面两个空间的环境条件不同对植株正常生长可能有影响）

如果您打算让成像暗房与传送区放置在相同的空间中，特别时希望做一些极端环境的处理（如热胁迫、冷胁迫等）时，成像暗房内的成像单元需要做一些特殊设计。因为各种成像模块的最佳工作温度时 18-30 °C，当人工气候室温度高于或低于这个范围时，需要为成像单元增加独立的环境控制箱体，保证成像单元不受人工气候室极端环境的影响，正常工作。而这，需要增加很多预算。

2.7.9 大型植物表型平台传送系统的分区模块化设计

对于大型植物表型平台而言，多数情况下会对整个传送系统进行分区设计，主要有两种类型：

第一种类型，整个传送系统在一整个大的空间里，通风、温度、湿度都基本相同（光照可以不同），传送系统区分成不同的模块。每个模块能传送 300-400 盆的通量，并独立配备自动灌溉和称重系统，这样可以保证在 4-6 h 内完成 300-400 盆植物的灌溉。每个模块内部可以独立运转植物随机分配模式，让 300-400 盆植物在这个区域随机分配，这个过程约需要 2-3 h。每个模块都有加载传送带与成像区连接，可以单独进行成像工作。这种模块设计的另一个优点是保证了摸个模块都有比较理想的通风条件，而不是 1000 多盆植物挤在一起导致中央区域通风太差。每个模块区域还可以根据植物的大小不同设计不同的传送带行间距。**错误!未找到引用源。**是一个 1500 盆

通量的传送区设计示意图,分成4个模块区域,每个模块的通量为375盆。图 0-是荧光 Aberystwyth 大学的大型植物表型平台,通量为800盆,分成了两个模块区域。在这种类型的设计中,成像暗房可以与传送区安装在一个空间中,也可以安装在不同的空间中。

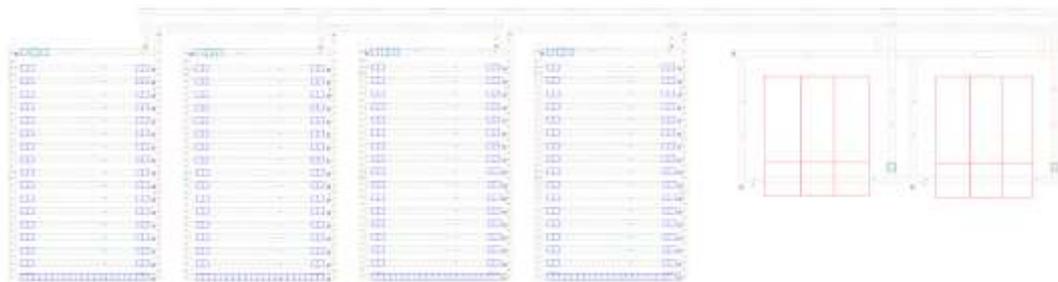


图 0-110 大型植物表型平台的传送区分模块设计示意图

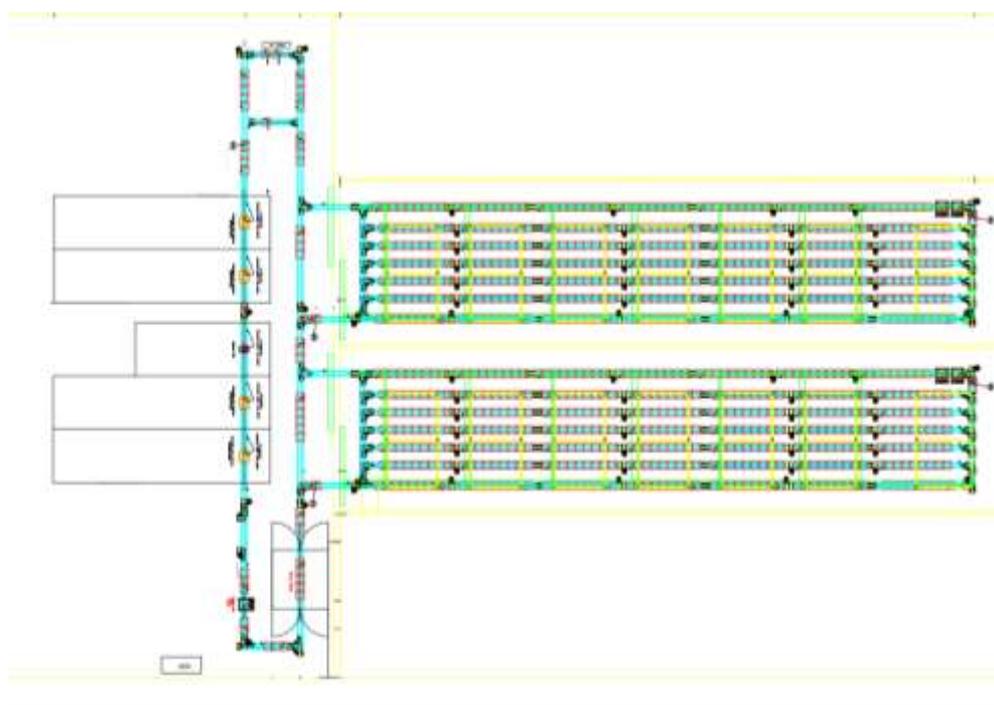


图 0-111 英国 Aberystwyth 大学的大型植物表型平台分区示意图

第二种类型,传送系统分成多个模块,每个模块区域都安装在一个独立的人工气候室(阳光型或人工光型),所有人工气候室内的传送系统都通过加载传送带与成像区域相连接(图 0-)。与第一种类型相似,灌溉、称重、随机分配、行间距等都可以在每个模块内部进行。这种类型与第一种类型的主要区别在于每个模块区域的光照、温度、湿度、通风等各种环境条件都可以独立精确控制,互不影响。而为了避免测量时由于人工气候室内环境与成像区域环境条件的不同引起的影响(如红外成像),可以将成像区域的设计标准提高到人工气候室级别。这样,在对 A 气候室

的样品测量时，可以调节成像区域的环境尽量接近于 A 气候室后再进行恶劣，在对 B 气候室测量时则预先调制成像区域的环境尽量接近于 B 气候室的环境。

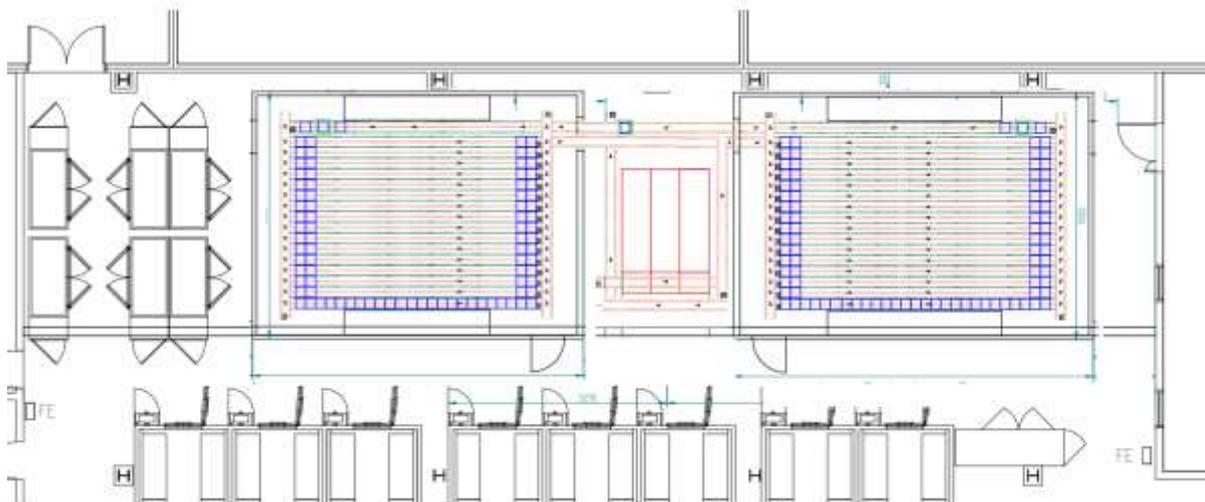


图 0-112 人工气候室与传送区域的结合

2.7.10 自动灌溉方式的设计

一般来说植物并不需要灌溉到全饱和状态，但是对于每个植株又必须维持特定而精确的土壤含水量。在这种情况下，自动灌溉系统几乎是进行这样大样本量试验的唯一可行方案。

出于上述目的，我们开发了专门的灌溉控制硬件和软件系统，可以连接高通量传送装置使用，也可以作为单独的模块使用。

每次灌溉前通过 RFID 来识别每盆植株。灌溉前对植株进行称重，并把称重结果保存在中央数据库，进而可以控制灌溉量与成像。根据预先编程好的灌溉模式，使用高精度的蠕动泵对每盆植株分别进行浇水灌溉，也可以灌溉营养液或者盐溶液。

当植物通过自动灌溉和称重系统时都会进行称重，测出的重量保存在数据库，这样可以存档其蒸发过程或者用于计算大概的灌溉量。整个过程耗时不超过 30 s，但对每盆植株进行高精度灌溉则需要较长的时间。

2.7.10.1 灌溉位置——顶部还是底部？

灌溉量可以根据植株的特定需要进行调整，比如可能会随着一个生长期中的不同阶段而改变灌溉量。顶部和底部灌溉都有各自的优缺点，这取决于植物形态和实验目的。当然，对于一个传

送车装载多盆小型植物（如拟南芥）的情况下，只能选择底部灌溉。

顶部灌溉

顶部灌溉用于无孔花盆和开放花盆，通过定量灌溉可以有效避免灌溉过量。基本上任何水量可以加到任何大小的植株中，即使小植株也能够加水到接近土壤的表面。然而，覆盖了整盆的植株或者下层叶片容易受伤的植株会妨碍水管口，即使水管是由高弹性塑料制成。如果使用带小孔的盆盖（比如使用封闭花盆的水分利用效率试验），灌溉位置为到盆表面中央的地方。如果不使用盆盖，土壤水分蒸发量会高于底部浇水模式，除非土壤表面覆盖一些不保水的非毛管颗粒材料。干旱处理实验中需要反复加入少量水，所以很可能会非自然地集中生长在土壤表面的高湿度区域。另一方面，几乎可以使用任何土壤基质，因为水分的转移方向可能受重力影响而非取决于土壤的毛细作用。这点对于矿棉塞和其它低毛细材料的使用尤其有用。

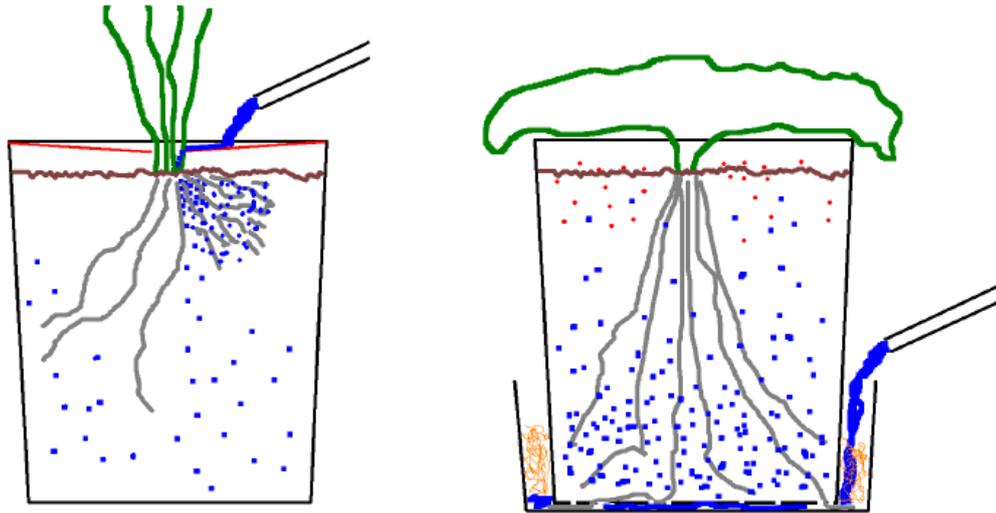


图 0-113 顶部和底部灌溉示意图

底部灌溉

植物底部吸收水分，需要带排水孔的托盘和具备毛细作用的土壤基质。然而，还是会有少量水分可能没有充分扩散。这对于根部体积很小的小型植株是个难题。在土壤底层里较高的湿度梯度可以模拟长期干旱并且也模拟地下水产生的土壤湿度。研究人员可以研制一个更“自然”的湿度梯度，从而能够专门模拟根部生长条件或者产生更加真实的根部表型。测定顶部土壤发现，盐分在顶层积累可能是模拟盐田的一个现象，也可能刚好是一个负作用结果。底部灌溉也有一定的误差，植物根部可能生长到排水孔外面并且也有可能吸收托盘中的水。

2.7.10.2 全自动程度

植株既可以手动放置在天平（单机版），也可以通过传送带系统传送到天平，还可以连接成像系统或者普通的温室控制系统。系统的最低配置需要一个传送带，一个水泵以及称重装置。

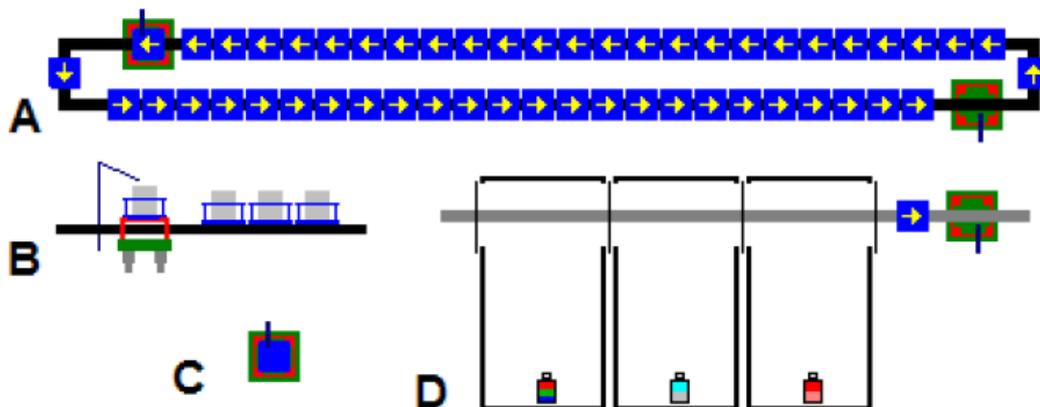


图 0-114 植物表型平台内灌溉系统的放置位置选择

A: 自动灌溉和称重系统与温室传送系统结合使用；B: 针对图 A 的侧面细节图；C: 没有传送带的单机模块，未连接电脑系统；D: 自动灌溉和称重系统与成像单元相连，获得图像后再进行灌溉。

为了测定与生物学相关性很高的重要因子，对于全自动系统最为重要的是：具备多种灌溉模式，比如：

- 1) 每日灌溉频率：每日一次，每日多次，到达任意灌溉站立即灌溉。
- 2) 灌溉的时间段。一部分植物可能更适合夜间灌溉，这样可以减轻夜间的水分胁迫，而对于其它植株则可能引发与湿度相关的病害。
- 3) 灌溉天数。
- 4) 如果一个预先设置的灌溉程序应用没有实现，将启动备用灌溉模式
- 5) 最小灌溉量可以确保灌溉到植株的整个土壤表面从而使水分均匀分布。这个值对于植株往往作为一个设定的干旱胁迫处理来使用。
- 6) 其它进行灌溉的启动需要，比如根据成像获取的图像结果可能会进行灌溉（比如叶片卷曲时）。

2.7.10.3 模式 1—定量灌溉

设定一个固定的灌溉量，不考虑其它重量。这种灌溉模式主要用于：

- 1) 添加营养液或者盐溶液，因为肥料或者胁迫处理不会直接引起水分丢失，但需要设置每

盆植株的灌溉量。

- 2) 水培或者土培基质中的水溶液或者盐溶液需要灌溉过量的水，确保浓缩的溶液完全与水交换。

2.7.10.4 模式 2—目标灌溉，标准模式

只有每盆植株到达特定的目标重量时才会进行灌溉，此时植株到达灌溉站并且灌溉方案此时允许灌溉（灌溉次数、间隔时间、重复次数可能会设置上限）。目标重量可能不仅包括花盆和土壤的干重（整个实验过程中使用的花盆规格要求一致），也包括通过地下部分和地上部分生物量成像获得的植株重量。在植株不同的生长时期，目标重量可能会不同。

简单的目标灌溉的使用目的包括：

- 1) 可以使大盆植株的土壤水分含量保持在一个理想水平。
- 2) 用于进行特定的干旱胁迫实验
- 3) 可以使盆钵里的盐分保持恒定
- 4) 在使用水或者盐溶液进行过量灌溉时可以确保过量值最小，从而可以避免土壤基质的过多流失。

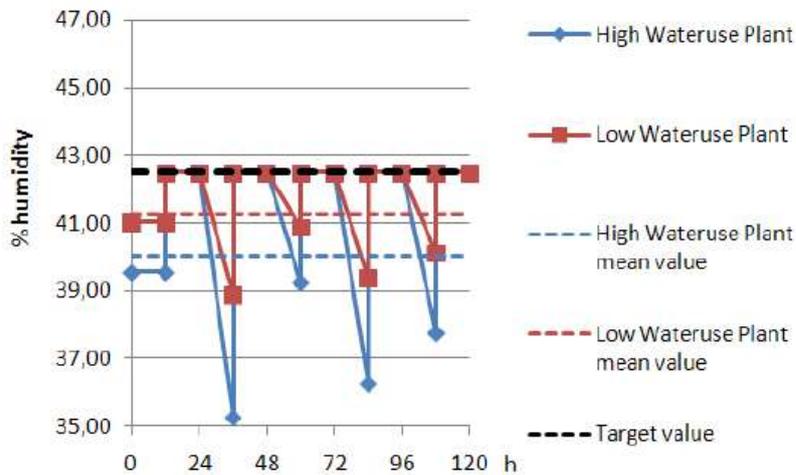


图 0-115 目标重量灌溉模式

该重量对应一个固定的土壤含水量百分数，这样使得每个植株的土壤含水量每天有一次保持在同一水平。需水量较多的植株蒸腾也较多，因而全天的平均土壤含水量明显地低于需水量少的植株。

2.7.10.5 模式 3—动态自适应性调整目标灌溉

简单的目标灌溉只能在灌溉后一小段时间使土壤含水量一致，动态灌溉则添加了一个设置的

偏移值（水分丢失在目标重量的比例，也可以设定为一个绝对值）可以为需水量大的植株提供更多的水，弥补水分的过快丢失。这样就可以使平均土壤含水量保持在恒定的范围，而不是最大值，这样就避免了植株需水量或者气候条件改变产生的影响。

这种模式最适用的试验：当土壤持水量不至于大到影响植株的每日水分蒸发量，因为小盆植株或者干旱胁迫试验中需要一个较低的土壤含水量。

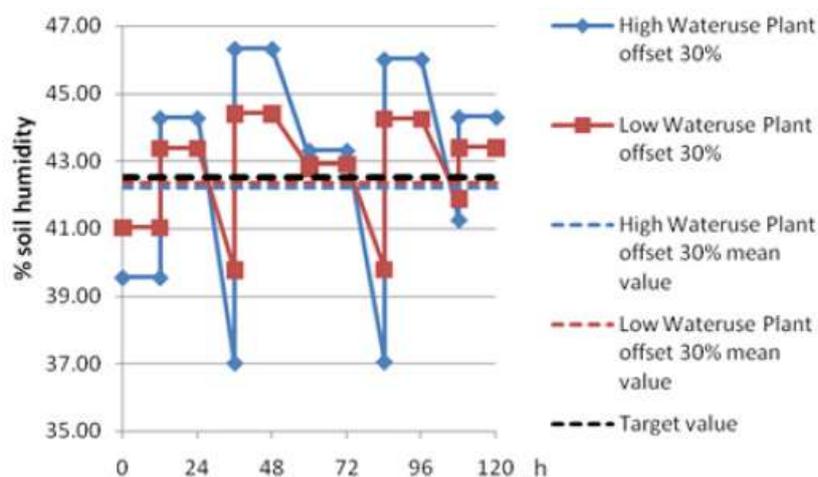


图 0-116 动态灌溉

考虑到某些植物需水量较大，需要给目标值增加一个偏移量。一般情况下，30%的偏移量已经足以保持各种植物维持在平均值。目标值的设定取决于植株需水量，土壤持水力和花盆大小。

2.7.10.6 实际应用案例

2.7.10.6.1 特定干旱胁迫条件处理不同大小植株的时间动力学曲线

自然气候中干旱一段时间是很正常的，在温室/人工气候室中模拟类似的干旱条件是一个复杂的过程。因为每个植株使用的土壤量有限，因此干旱过程需要最终通过设定日益减少目标重量来模拟。这样的灌溉过程很简单的变成设置每次更低的目标重量即可。

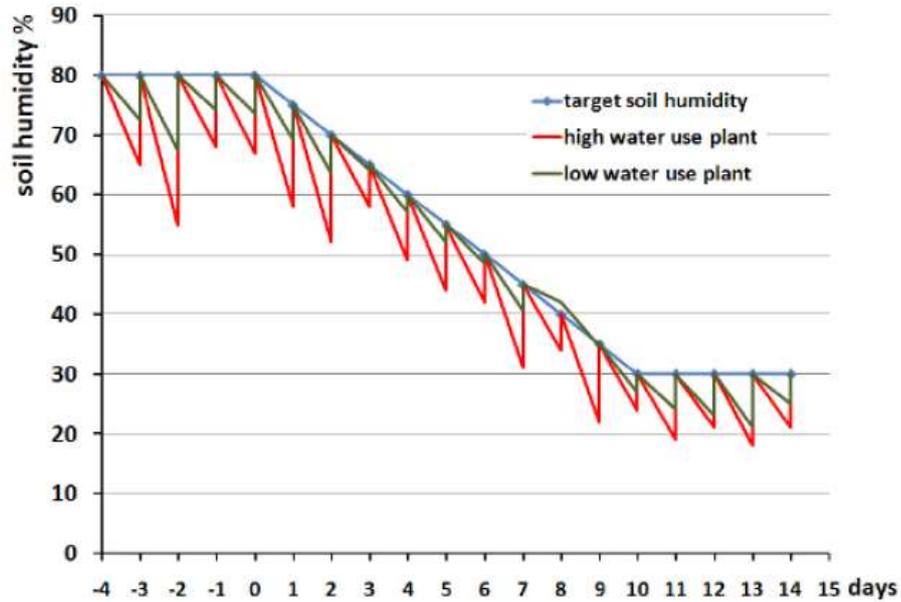


图 0-117 使用特定干旱胁迫条件处理不同大小植株的时间动力学曲线

两种植物的土壤含水量快速而又一致地从 80% 降到 30%。下降的斜率仅仅略微浅于低需水量植物水分下降的斜率。但是在第八天水分蒸发量小于预期的 5%/天。这种形式的干旱处理方法最适合用于胁迫条件完全一致的植株对比。通过使用动态灌溉，预设的目标重量测定的平均土壤含水量可能比上述图例中的值会保持的更加恒定。

2.7.10.6.2 设置最大和最小目标重量的交互干旱处理

通过设置一个相当低的最小灌溉量，植株只在降到最小目标重量值时才进行灌溉并且灌溉量不会再次超过最大目标重量。因此植株会很快枯萎，所有植株经受几乎相同的最重胁迫处理。然而，如果不受实际水分利用速度的影响，每个植株都确保能够成活。

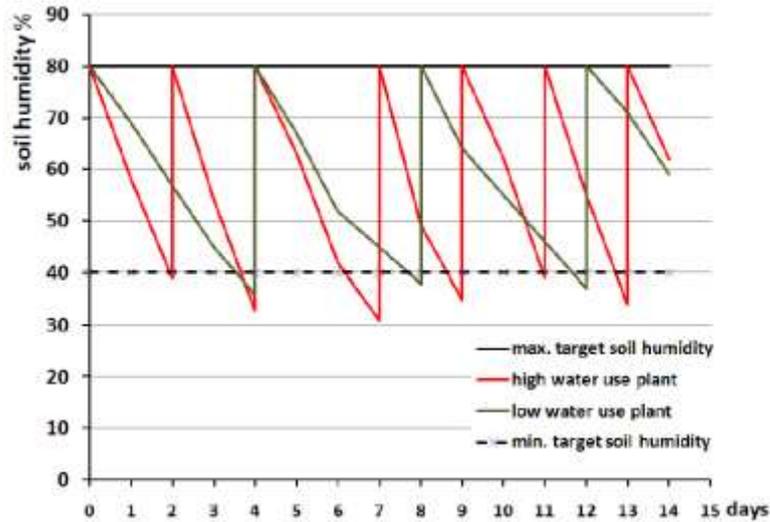


图 0-118 设置最大和最小目标重量的交互干旱处理

图中的植株只有在土壤含水量降到 40%以下时才进行灌溉。不同的植物因为水分蒸发速率不同而降到此值的时间也不同。高水分利用效率植物 14 天中需要灌溉 6 次，低水分利用效率植物土壤含水量降到 40%以下却只有 3 次。

2.7.10.6.3 灌溉一个完整的生长周期

除了特定的干旱试验，植物在一个完整生长周期中的不同阶段对水分的需求也是不同的。比如移栽到大花盆的单子叶植物幼苗在发育初期对水分需求较少。在移栽后的第一个周保持土壤相对于旱有助于刺激根更好地生长。随后不断增加土壤含水量以提供维持生长的最大需水量，同时又不超过根对土壤湿度的耐受能力。在接下来的成熟期，再次降低土壤含水量，因为植株需水量下降并且过量灌溉会产生过多的无效分蘖。

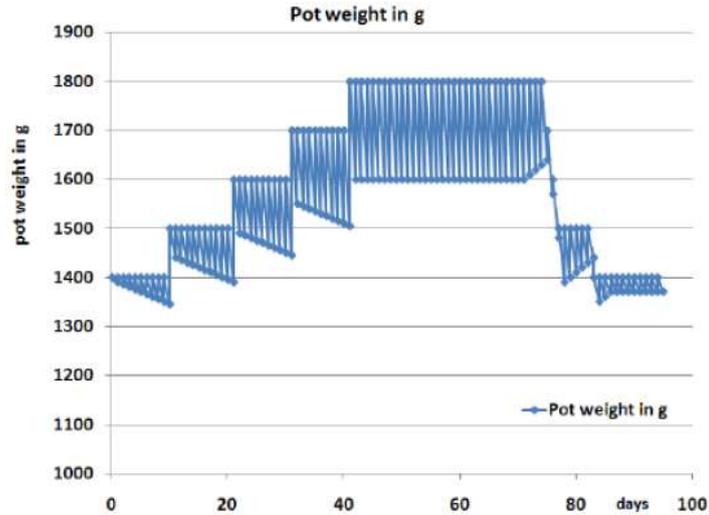


图 0-119 一个完整生长周期的每日程序化灌溉

在幼苗阶段，较轻的盆重/少量灌溉有助于根部更好地生长。随着需水量增加，通过设置更高的目标盆重来提供充足水分，在成熟期再次减少供水量避免无效分蘖的发生。假设每天的水分消耗量相近并使用标准目标盆重灌溉模式。Y 轴表示特定土壤含水量对应的盆重，同时保证每盆土壤等量。（详细看正文）。

每盆使用等量的均质土壤，对于保证一致的生长条件非常重要。每盆土壤中的水分绝对值是有上限的，同时特定大小植株的每日蒸发量是恒定的。土壤含水量相同而盆重不同的植株可利用的水量是有差异的。最终，小盆植株在日间会因为较低的土壤含水量而耗尽水分或至少是过早的处于不利的生长条件。即使灌溉与大盆相同的水量，它们也可能会面临较为干旱的胁迫环境。

所以每盆植株的土壤填充量需要完全一致，土壤的湿度也必须达标，通过使用过的土壤基质来测试土壤饱和持水量。土壤含水量通过相对土壤饱和持水量（WHC）来测定。为了获得准确的土壤含水量进而设置土壤的目标重量，请参考测定 WHC 的标准方法。仅对于盆重相同的植株来说，土壤含水量的变化量与植株利用的水分含量一致。如下图所示，不同盆重的土壤含水量变化差异极其明显。

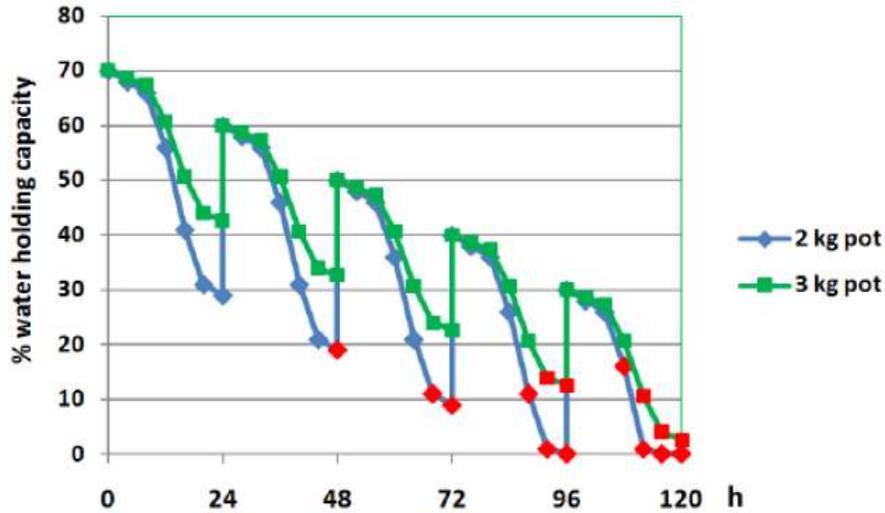


图 0-120 盆重差异对土壤饱和持水量的影响

每日灌溉量相同，灌溉目标重量相同，但两种植株面临的胁迫程度却不同，对于小盆或者目标土壤含水量较低的植株尤为明显，如图所示胁迫处理后期(红点)。

高通量植物表型平台的灌溉系统可以确保土壤含水量尽可能一致，常规连续灌溉或者顶部过量灌溉只能设置 100%土壤饱和持水量作为目标重量。

2.7.10.7 多种灌溉模式的优点

高通量植物表型平台的多种灌溉模式可以针对多种特定、可控的胁迫处理方案灵活选择使用。全自动、独立的灌溉系统可以独立而高效的模拟野外胁迫因子，并将胁迫程度控制在同一个水平，同时发挥了可控温室/人工气候室的所有优势，包括使用多种胁迫方案处理并排生长的植株。尤其对于大样本量的干旱和盐胁迫处理试验，能够设置独立灌溉量的自动灌溉系统就变的非常重要。即使植株大小和每日用水量都不同，该系统也可以使用特定的胁迫条件处理植株并可以控制胁迫条件在多次重复中保持一致。研究人员可以根据不同的需要来选择模拟的特定环境条件。

同时，植物表型平台的多种成像系统可以定量分析土壤中的水分消耗量和水分情况，这样有利于研究人员分析选择哪种方案适用于准确模拟处理植株的胁迫条件。这种定量分析对于动态植株表型组学研究非常重要，可以用于基因鉴定（比如 QTL 分析）、育种筛选或者新品系的稳定性和性能检测。

3 高通量采样平台

基因型操作通量最近几年呈指数增长，目前已有 DNA 提取、基因分型和结果分型的高通量技术方案，但是田间或者室内植株的采样仍停滞在利用人工进行采样的阶段，是待解决的一个瓶颈技术。在叶圆片的采集过程中，目前以人工为主，存在的效率低,容易交叉污染等问题，通过机器人或编码系统等可显著提高采样速率，同时能减少人为误差，防止交叉感染。本平台提供从田间到实验室的高通量样品采集方案。

3.1 高通量植物样品智能采集系统 SAS

基因型操作通量最近几年呈指数增长，目前已有 DNA 提取、基因分型和结果分析的技术方案。但是，小植株采样仍停滞在利用人工进行采样的阶段，是待解决的一个瓶颈技术。

ALCI 公司的高通量植物样品智能采集系统 SAS 成功突破了这一瓶颈问题，采用了视觉嵌入型机器人技术，使其采样通量是人工采样的五倍！ALCI 公司是视觉嵌入型机器人系统的领导者。



图 3-1 高通量植物样品智能采集系统 SAS

SAS 主要功能：

- 利用自动化机械臂采集（客户定制化设计的）96 孔穴盘中的植物叶片，穴盘通过推车或传送带系统从苗床上运过来；
- 可以获取多种数据，提取叶片数和叶面积等参数；
- 远程维护和诊断；
- 缩短了基因型分析的时间
- 3D/2D 视觉系统：用于幼苗形态的获取和叶片颜色的识别。

- 专家系统（ALCI 软件）：利用工作技能集成方法，专家系统包括视觉数据处理和机器人轨道。
- 植物分离：按照方向或其它规则进行叶片的获取。
- 跟踪能力：通过整合苗盘中幼苗位置信息和离体叶片在 PCR 板中位置信息，对试验进行跟踪控制。

3.2 田间高通量采样平台

该平台由手持式植物叶圆片采集系统 PlantTrak Hx 和台式植物叶圆片单板收集系统 PlantTrak Sx 或台式植物叶圆片多板收集系统 PlantTrak Mx 构成。PlantTrak Hx 是一种手持式植物叶圆片采样及编码系统，使用 Trimble 手持终端，配备条形码阅读器记录样品位置和相互关系的数据。PlantTrak Hx 将采集到的样品储存在白色透明采样板中，配合 PlantTrak Sx 或 Mx 可将样品转移入 96 孔板中，配套软件能自动将样品与植物定位信息相关联。

PlantTrak Hx 主要功能：

- 快速、高通量采集田间或温室植物叶圆片，收集到微孔板中；
- 轻巧、便捷、使用方便，可提高工作效率；
- 可以用于基因分析或育种样品采样；
- 每块采样板可以 99 个样品，每个样品可以采多达 12 片叶圆片
- 条形码或 GPS 信息对基因样本和采样地点进行关联；
- 任务模式包括：野外模式、温室模式和自由模式，可根据样品的种植类型选择不同模式



图 3-2 PlantTrak Hx

PlantTrak Sx 主要功能:

- 配合 PlantTrak Hx 仪器使用，快速、可靠的将采集到的叶圆片样本转移到多孔板中；
- 兼容所有的 SBS/ANSI 48 & 96 微孔反应板；
- 可以设置卸载模式，互动触摸屏界面；
- 集成条形码阅读器；
- 内置去离子装置；



图 3-3 PlantTrak Sx

PlantTrak Mx 主要功能:

- 配合 PlantTrak Hx 仪器使用，快速、可靠的将采集到的叶圆片样本转移到多孔板中；

- 4 个微孔板反应架，每个支架可以容纳 16 个微孔反应板；
- 2 个样品架，每个样品架可以容纳 30 个样品板；
- 可以设置卸载模式，互动触摸屏界面；
- 集成条形码阅读器；
- 内置去离子装置；



图 3-4 PlantTrak Mx

3.3 室内高通量采样平台

当需要将植物样品搬至实验室采样时，或者需要在温室内采样时，可通过台式植物叶圆片采集系统 PlantTrak Lx 或者高通量植物样品智能采集系统 SAS 实现高通量采样。其中 SAS 通过图像处理 and 机器人技术，利用 3D 和 2D 视觉系统对植物形态和叶片进行分析，预先对其表型进行判断，同时可进行选择性取样和清除不需要的幼苗。

PlantTrak Lx 主要功能：

- 仪器单独使用，无需手持设备；
- 采集后的样品直接装载进入 SBS/ANSI 式的 96 孔板或管子中；
- 无需采样板，适合实验室内使用；
- 自带的软件可对样本、采样位置及微孔板位置进行关联；
- 快速采集
- 集成条形码阅读器，数据导入和导出；



图 3-5 PlantTrak Lx

4 高通量基因测序平台

2015 年初中国科学院成都生物研究所、西藏农牧科学院联合华大基因共同绘制了青稞基因组草图，该成果在线发表在国际著名学术期刊 PNAS 上。项目课题组利用基因组鸟枪法，对青稞地方品种“拉萨钩芒”进行了深度测序，发现青稞基因组大小为 4.5 Gb 左右，其中 80%以上为重复序列。通过组装获得约 3.89 Gb 基因组序列，占整个基因组的 87%。通过生物信息学分析共预测出 36,151 编码蛋白基因，并将其中近 94%的基因锚定到了 7 条染色体上。青稞为大麦的一个变种，历来是青藏高原农牧民的主要食粮和牲畜饲料。青稞在青藏高原长期的自然选择和人工驯化下，形成了对高原复杂地理、气候环境良好的适应性，是作物改良的重要遗传资源。

在深度测序的基础上，研究人员从基因组水平将青稞与六倍体普通小麦 (*Triticum aestivum*)、二倍体节节麦 (*Aegilops tauschii*)、乌拉尔图小麦 (*T. urartu*)、水稻、高粱、玉米等禾本科重要粮食作物（或其祖先种）进行了深入的比较分析，构建了系统进化树，分析了基因组复制、共线性关系以及基因家族的扩张等基因组进化特征。在此基础上，研究人员进一步对来自青藏高原的 5 份野生大麦和 5 份栽培品种进行了重测序，发现大量 SNP 位点和插入缺失突变。通过与已报道的非高原大麦基因组序列进行比较发现，青藏高原野生大麦与该地区栽培品种亲缘关系更近，进一步证实西藏是栽培大麦的驯化中心之一。此外，高原大麦基因组中植物激素信号转导、植物与病原物互作、次生代谢合成等大量与环境胁迫适应性相关的基因受到显著选择，这可能是青稞适应高原环境胁迫的重要原因。

青稞基因组草图的绘制是继小麦祖先供体种 (A、D 组)、大麦基因组物理图、国际小麦家族基因组研究工作之后，小麦族基因组学研究又一里程碑式进展，给未来麦类作物基因发掘、重要

性状分子模块解析、品种改良以及其他高原作物的研究提供了宝贵的参考资料。

在现代基因组学研究进展中，DNA 测序平台发挥了极其重要的作用。随着测序技术的飞速进步，在一代测序的技术基础上，高通量测序作为一种重要的实验技术,在生物学研究中已经得到了广泛的应用。

4.1 高通量测序平台介绍

高通量测序技术又被称为二代测序，这种技术一次能对几十万到上亿万条 DNA 分子同时进行序列测定。高通量测序使得对一个物种的转录组和基因组进行细致全貌的分析成为可能，所以又被称为深度测序(deep sequencing)。

与一代测序相比较，二代测序在保证基因组测序精确度的前提下，操作程序进一步智能化，通量急剧增加，测定通量达到了一代测序的几百至几千倍，而且测序成本大幅度下降。

二代测序技术将片断化的基因组 DNA 两侧连上接头，在反应中产生几百万个空间固定的 PCR 克隆阵列。每个克隆由单个文库片段的多个拷贝组成。随后发生引物杂交、酶延伸反应。由于所有的克隆都在同一反应平面上，这些反应就能够大规模平行进行。另一方面，每个延伸反应所掺入的荧光标记的成像检测也能同时进行，从而获取测序数据。DNA 序列延伸和荧光标记的成像检测持续反复构成了相邻的测序阅读片段，经过计算机软件分析就可以得到完整序列信息。

目前二代测序仪的测序原理主要包括以下四种：使用合成法测序 (Sequencing by Synthesis) 的 454 和 Solexa，以及使用连接法测序 (Sequencing by Ligation)的 SOLiD 和 Polonator。

第二代高通量DNA测序平台



	454 GS FLX	Sequencing by synthesis	SOLID
公司	Roche	Illumina	ABI
测序原理	Pyro-sequencing	Sequencing by synthesis	Sequencing by ligation
序列长度	500bp	2x120bp	2x50bp
测序通量(Gb/run)	0.5	50	100
精确度	99.00%	99.00%	99.94%
测序时间/run	8小时	10天	12天

图 4-1 第二代高通量 DNA 测序平台

4.2 高通量分子标记平台

利用分子标记与决定目标性状基因紧密连锁的特点，通过检测分子标记，即可检测到目的基因的存在，达到选择目标性状的目的，具有快速、准确、不受环境条件干扰的优点。可作为鉴别亲本亲缘关系，回交育种中数量性状和隐性性状的转移、杂种后代的选择、杂种优势的预测及品种纯度鉴定等各个育种环节的辅助手段。美国著名的 Douglas Scientific 公司拥有强大的高通量分子标记平台。Douglas Scientific 高通量分子标记平台主要分为四个部分：Nexar 高通量微样品处理系统，IntelliQube 自动化的 PCR 体系建立、扩增和分析系统、Soellex 高通量 PCR 反应仪和 Araya 高通量流水线式 SNP 标记扫描仪以及控制软件。这个分子标记平台能实现快速 SNP

基因型分析、杂交纯度分析、转基因检测和核酸恒温扩增等。Douglas Scientific 分子标记平台的优势包括：（1）高通量：一段 384 孔，一卷有 200 段，一天可运行 3 卷。（2）省试剂：传统 PCR 体系需要 20 微升，ARRAY TAPE 只需要 0.2-8 微升，极大节省了试剂。（3）PCR 体系里面包含了荧光信号，直接读取荧光信号。

IntelliQube 是首台全自动化和高通量的仪器，能无缝化的集成液体处理、热循环、检测和数据分析等流程。IntelliQube 支持定量实时 PCR、终点法 PCR 和等温化学法，创新性利用 Array Tape[®] 耗材，实现内联自动化。IntelliQube 和 Array Tape 耗材可提供可扩展的高通量的解决方案。与传统 384 孔的 qPCR 仪器相比，全新的 768 孔规格能将 PCR 通量提高一倍。



一系列 qPCR 和终点法 PCR 应用均可与此系统兼容，包括但不限于：

- 基因表达分析
- 基因型分析与拷贝数分析（CNVs）
- 微生物检测与定量分析
- miRNA 分析
- 接合性和转基因生物（GMO）检测

IntelliQube 集成 PCR 过程中会用到的多种仪器，使您的工作流程简单化，实现无人化操作、简便化的加载和运行，节省实验室空间，反应体系最小化（1.6uL），最多节省 90% 的成本。

Nexar®系统是快速、自动化的内联仪器，可支持样本和阵列的高通量处理。Nexar 利用创新的 ArrayTape™（阵列卷带）系列耗材，能够在高精度和准确性下运行。Nexar 各个模块可储存并取得各种样本和试剂，以次微升量分液到 96 孔和 384 孔阵列中，提供孵化、热循环和更多

功能，
以
支
持
多
种
实



实验室应用。除了提高通量并且降低每个数据点的成本，Nexar 系统可提供始终如一的高质量数据。

Nexar 系统优化终点法等温 DNA 扩增技术，通过将液体处理、孵育与检测等流程一体化，可以实现完全自动化操作，在恒温条件下，实现核苷酸指数扩增。整个过程仅需要 15 分钟或更少时间。能够定制化的自动化服务。

根据需求可以提供的高通量的应用服务包括：

- 样本纯化与提取
- 液体处理
- 最小化反应体系
- 孵化
- 热循环
- 自动化液体处理

Nexar 系统借助可互换的双喷头分液器，支持高通量样本和试剂处理，一系列的灵活分配方案。

4.3 测序平台的应用

DNA 测序技术的基础应用当属基因组的从头测序（De novo sequencing）。1980 年，噬菌体 Φ -X174（5368 bp）碱基对得到完全测序，成为第一个被测定的基因组。1995 年，嗜血流感菌（*Haemophilus influenzae*, 1.8Mb）测序完成，是第一个被测定的自由生活物种。随后，越来越多的生物被纳入基因组测序的名单。植物类主要包括：番木瓜、黄瓜、马铃薯、白菜、甘蓝、兰花、

木薯、油菜、大豆、高粱、玉米、小麦、西瓜等瓜类、青蒿、团藻、丹参、棕榈树和苹果等等。

随着人们对功能基因组学研究的不断深入，研究热点也逐渐从宏观共性的研究逐步深入到对微观个体差异的研究，所涉及的科研问题越来越具有个体材料的特殊性，一个物种仅仅依靠一个或几个全基因组序列进行微观个性的分析已经不能满足新时期科研的要求。要在具体个性材料上作深入地研究，迫切地需要获得多个全面、具体的个体基因组信息。在新一代测序理念和测序仪的帮助下，基因组学和功能基因组学进入了一个低成本、大规模、高通量测序的时代。对于以经有参考基因组的物种，大规模重测序技术（Re-sequencing）方兴未艾。2007年，vanOrsouw等人对玉米基因组进行了重测序，提供了一条对复杂基因组特别是含有高度重复序列的植物基因组进行多态性分析的技术路线。

同一物种绝大多数的基因组序列是完全一致的，但是通常研究人员更感兴趣的是研究个体之间微小的遗传差异。这种差异包括多种类型：单核苷酸多态性（SNP），以及各种较大片段 DNA 序列结构变异。结构变异又包括：DNA 片段的插入、缺失、倒位和易位。SNP 和各种结构变异的存在可能对基因产生重要影响，并导致植物表型的改变。基因组重测序的研究目的之一就是检测这些会导致功能变化的基因组细微差异。第二代测序技术的高通量保证了研究人员能获得高度基因组覆盖率的数据，精确鉴定个体中存在的 SNP 和各种结构变异，揭示此前未知、具有潜在医学价值的遗传变异。

生命科学研究是一个充满想象力的世界，高通量测序技术很快被应用到了全基因组测序以外的研究领域。其中之一，也是具有革命性深远影响的领域之一就是全基因表达图谱分析。在相当长一段时间里，微阵列技术（芯片技术）是表达谱研究的主要方法之一，芯片曾经被认为是应用最广泛的从全局角度分析基因表达整体模式的方法。然而，由于芯片检测很大程度上依赖于探针序列的设计，而探针序列的设计又依赖于研究人员对已知的基因的知识，芯片技术仅限于检测已知序列，无法检测新的 mRNA。其次芯片对表达信号的检测一定程度上受到杂交效率的影响，芯片信号的强弱无法直接体现基因表达水平的差异；而且杂交技术灵敏度有限，难以检测表达丰度很低的基因，难以检测重复序列，也无法捕捉到目的基因表达水平的微小变化。在很多实验设计中，这些恰恰都是研究者关注的主要问题。

与芯片技术相比，基于高通量测序技术，可对样品中存在的痕量 RNA 进行整体的全基因组表达图谱分析。基于测序技术的 RNA-Seq 可检测每个细胞中的总 RNA，即使 mRNA 表达水平很低，也能够尽可能无偏差地反应样品中存在的已知和未知 mRNA，并能定量测定 mRNA 的表达

模式。从样本量的角度考虑，RNA-Seq 需要的样品比芯片技术要少得多，非常适用于检测来源极为稀有的生物样品。

4.3.1 全基因组测序

通过对物种基因组序列进行系统的研究，可以获得该物种的基因组和重要功能基因的序列信息，阐述该物种的进化史，了解该物种生长发育和适应环境的分子机制。全基因组 *denovo* 测序也称为从头测序，它不依赖任何现有的序列资料，而直接对某个物种的基因组进行测序，然后利用生物信息学分析手段对序列进行拼接、组装，从而获得该物种的基因组序列图谱。Li 等人发表在 Nature 上的熊猫基因组文章，是第一次完全采用新一代测序技术完成大型物种的全基因组 *de novo* 测序。目前，黄瓜(*Cucumis sativus*)、苹果(*Malus domestica* Borkh)、金小蜂(*Nasonia vitripennis*, *N. giraulti*, *N. Longicornis*)、蚂蚁(弓背蚁 *Camponotus floridanus*, 印度跳蚁 *Harpegnathos saltator*)、森林草莓(*Fragaria vesca*)、可可树(*Theobroma cacao*) 等多种物种基因组序列密码解析过程中都采用了新一代测序的序列数据。

物种名	所属科	基因组大小	所用测序技术
黄瓜 ^[9]	葫芦科	350 M	Sanger+Illumina/Solexa
熊猫 ^[8]	熊科	2.25 G	Illumina/Solexa
金小蜂 ^[10]	金小蜂科	295 M	Illumina/Solexa
苹果 ^[11]	蔷薇科	700 M	Sanger+Roche/454
弓背蚁	蚁科	300 M	Illumina/Solexa
印度跳蚁 ^[12]	蚁科	300 M	Illumina/Solexa
火鸡(<i>Meleagris gallopavo</i>) ^[13]	吐绶鸡科	1.1 G	Roche/454+Illumina/Solexa
野生大豆(<i>Glycine soja</i>) ^[14]	豆科	915.4 M	Illumina/Solexa
森林草莓 ^[15]	蔷薇科	240 M	Roche/454+Illumina/Solexa+ABI/SOLID
可可树 ^[16]	梧桐科	430 M	Sanger, Roche/454+ Illumina/Solexa
阿根廷蚁(<i>Linepithema humile</i>) ^[17]	蚁科	250.8 M	Roche/454+Illumina/Solexa
红色收割蚁(<i>Pogonomyrmex barbatus</i>) ^[18]	蚁科	280 M	Roche/454
火蚁(<i>Solenopsis invicta</i>) ^[19]	蚁科	484.2 M	Roche/454+Illumina/Solexa
麻风树(<i>Jatropha curcas</i>) ^[20]	大戟科	410 M	Sanger+Roche/454
大头切叶蚁(<i>Atta cephalotes</i>) ^[21]	蚁科	300 M	Roche/454
顶切叶蚁(<i>Acromyrmex echinator</i>) ^[22]	蚁科	300 M	Illumina/Solexa
枣椰子(<i>Phoenix dactylifera</i>) ^[23]	棕榈科	685 M	Illumina/Solexa
马铃薯(<i>Solanum tuberosum</i>) ^[24]	茄科	844 M	Illumina/Solexa
中国猕猴(<i>Macaca mulatta</i>) ^[25]	猴科	2.8 G	Illumina/Solexa
珊瑚(<i>Acropora digitifera</i>) ^[26]	鹿角珊瑚	420 M	Roche/454+Illumina/Solexa
巨蟒(<i>Python molurus bivittatus</i>) ^[27]	蟒科	1.4 G	Roche/454
鳕鱼(<i>Atlantic cod</i>) ^[28]	鳕鱼科	830 M	Roche/454
袋鼠(<i>Macropus eugenii</i>) ^[29]	袋鼠科	2.6 G	Sanger+Roche/454+Illumina/ Solexa +ABI/SOLID
白菜(<i>Brassica rapa</i>) ^[30]	十字花科	485 M	Illumina/Solexa
裸鼯鼠(<i>Heterocephalus glaber</i>) ^[31]	鼯鼠科	2.6 G	Illumina/Solexa
食蟹猴(<i>Macaca fascicularis</i>)	猴科	2.8 G	Illumina/Solexa
中国恒河猴(<i>Macaca mulatta lasiota</i>) ^[32]	猴科	2.8 G	Illumina/Solexa
大麻(<i>Cannabis sativa</i>) ^[33]	胡麻科	534 M	Illumina/Solexa
木豆(<i>Cajanus cajan</i>) ^[34]	豆科	833 M	Illumina/Solexa
食蟹猴(<i>Macaca fascicularis</i>) ^[35]	猴科	2.8 G	Roche/454
猪蛔虫(<i>Ascaris suum</i>) ^[36]	蛔科	273 M	Illumina/Solexa
帝王蝶(<i>Danaus plexippus</i>) ^[37]	凤蝶科	273 M	Roche/454+Illumina/Solexa
蒺藜苜蓿(<i>Medicago truncatula</i>) ^[38]	豆科	500 M	BAC+optical mapping+ Roche/454

4.3.2 全基因组重测序

全基因组重测序是对基因组序列已知物种的个体进行基因组测序，并进行差异信息分析的方法。基于全基因组重测序，研究人员能够快速地进行资源普查筛选，寻找到大量的遗传差异，实现遗传进化分析及重要性状候选基因的预测。随着测序成本降低和拥有参考基因组序列的物种增多，基因组重测序也成为育种研究中迅速有效的方法之一，在全基因组水平扫描并检测出与动植物重要性状相关的变异位点，具有重大的科研价值和产业价值。

4.3.3 核心种质资源品系基因组重测序

核心种质是种质资源的核心子集，它们最大限度地保存了整个资源群体的遗传多样性，同时代表了整个群体的地理分布。对核心种质资源进行重测序，可以深入了解其基因与基因型最大范围的遗传多样性，同时对于促进种质交流、利用和管理具有重要的学术和实用意义。

Lai 等人对 6 个玉米(*Zea mays*) 骨干自交系(Zheng58, 5003, 478, 178, Chang7-2 和 Mo17)进行了全基因组重测序，平均每个品系产出 5.4X 的数据，共发现 1273124 个单核苷酸多态性位点(single nucleotide polymorphisms, SNPs)，得到 30178 个 1~6 bp 的插入缺失位点(insertion and deletion, InDels)。新发现的这些 SNPs 和 InDels 提供了 1 个高密度的全基因组标记信息。同时鉴定出数百个基因获得与丢失变异(presence/absence variations, PAVs)，其中 296 个 B73 的基因在 6 个品系中的至少 1 个品系中发生丢失，而 6 个玉米品系中也有数百个基因在 B73 中不存在。推测这些骨干亲本组合基因组的组合可以弥补另一方功能元件的缺失，这种 PAVs 的多态变化和其他无义突变的互补作用可能与杂种优势有关。

4.3.4 群体基因组重测序

在已知物种基因组的情况下，对种内群体中的不同个体进行基因组重测序，可以在全基因组水平上发现群体内个体之间的差异。通过这种方法，可以寻找出大量的 SNPs, InDels, 结构变异(structure variations, SVs) 等变异信息，从而获得生物群体的遗传特征。这对在群体水平上研究物种的进化历史、环境适应性等方面具有重大意义。利用全基因组重测序有助于快速发现与动植物重要性状相关的遗传变异，缩短分子育种的实验周期。Lam 等人对 17 株野生大豆(*Glycine soja*) 和 14 株栽培大豆(*Glycine max*)进行了全基因组重测序，鉴定出 630 多万个 SNPs，建立了大豆高密度分子标记图谱。通过生物信息软件分别对野生大豆和栽培大豆序列数据进行组装，鉴定出了 18 万多个 PAVs，得到了在栽培大豆中获得以及丢失的基因。与栽培大豆相比，野生大豆有着高水平的遗传多样性，这表明人类的选择导致了栽培大豆狭窄的生物多样性。此研究还发现了大

豆基因组不同于其他作物的 2 个显著特点: 存在较高度度的基因连锁不平衡和较高的单核苷酸非同义替换/同义替换比例。这表明, 在大豆育种方面, 分子标记育种比基因图位克隆可能更具优势。

4.3.5 重测序构建遗传图谱

在过去的 20 多年, 大量的科研工作聚焦于通过数量性状位点(quantitative trait loci, QTLs) 分析来探索不同农作物的复杂农艺性状(如产量) 的遗传基础。然而, 几乎所有研究都基于低通量的分子标记(如 RFLPs 和 SSRs)所构建的连锁遗传图谱, 这些图谱大都因分子标记密度较低而不能提供准确和完全的控制性状 QTLs 的数目和座位信息。新一代测序技术的应用带来基因组序列数据的大幅增长, 为更有效进行基因作图和全基因组范围分析的基因分型策略提供了机遇, 并可在此基础之上构建出超高密度的遗传图谱。Huang 等人开发了一种通过基因组重测序对重组群体进行基因分型的新方法。该工作对水稻 9311 与日本晴杂交后自交 11 代得到的 150 个 RILs 进行测序, 每个 RIL 测得 0.02 X 数据, 并将所得数据与 2 个亲本基因组数据相对比, 从而找出 SNPs。在 150 个 RILs 中, 共鉴定出 1493461 个 SNPs, 平均每个 RIL 的 SNPs 密度是 1 个 SNP/40 kb。通过滑动窗口方法, 进行基因分型和重组断裂点的鉴定, 随之构建出含有高密度 SNPs 和高准确性重组断裂位点的重组图谱。这个水稻重组自交系的遗传图谱, 基因分型准确度为 99.94%, 重组断点分辨率平均为 40 kb。根据这一基于测序的遗传图谱, 可将一个株高主效 QTL 位点定位在 100 kb 的区域内, 而该区域含有已知的水稻“绿色革命”基因。

4.3.6 重测序检测突变位点

正向遗传突变、适应进化和表型筛选是创造出带有希望性状的新变异有机体的有力工具和途径, 而这些突变往往不能轻易地用传统遗传学技术鉴定出来。新一代高通量大规模平行测序技术, 在突变体的亲本株系拥有参考基因组的情况下, 可以快速和准确地得到这一个突变体的基因组信息, 有利于突变位点的初定位和鉴定。Cuperus 等人将 EMS 诱导的 col-0 型拟南芥隐型突变体与 Ler 型野生拟南芥构建了 F2 群体, 鉴定出 93 个突变体纯合系, 对 93 个样本进行 DNA 提取, 混合后进行高通量测序, 数据经生物信息学分析发现在 2 号染色体上存在一个大小为 1.52 Mb 富含 col-0 的 SNPs 的峰(peak)。经进一步研究, 他们在该区域成功找到了目标突变位点。Ashelford 等人对一个拟南芥突变体 ebi-1 的回交系进行基因组重测序, 随后又通过对突变体的表达数据进行了调查使得候选 SNPs 数目得以有效地缩小。最终成功鉴定出 1 个在 AtNFXL-2 基因中引起 ebi-1 突变表型的 SNPs 位点。该研究证实利用回交系材料可以降低遗传背景噪音, 对其进行测序分析可有效减少候选 SNPs 数目。

4.3.7 重测序用于 GWAS 研究

近年来出现的全基因组关联分析(genome-wide association study, GWAS) 是一种在医学研究中被广泛使用于鉴定复杂疾病的关键易感基因的新技术, 但该技术未能够广泛应用于作物复杂性状的研究, 其主要原因是植物中基因分型技术的不完善, 以及各作物中缺少类似人类单体型图的高密度单体型图谱。2010 年, Huang 等人从近 50000 份的中国起源的水稻品种中, 挑选 517 个具有全面表型调查数据的水稻地方品种进行基因分型工作(基因组重测序)。通过高通量测序总计得到 27 亿条序列读长, 每个品种约测得 1 X 基因组数据。重测序鉴定出了约 3.6 M 的 SNPs, 通过对 SNPs 的遗传图距计算, 能够把群体分成 3 个的亚群: 粳稻、籼稻以及混合品种。利用一种新的数据填补方法(k-nearest neighbor algorithm) 构建了一个高密度的水稻单体型图谱, 并在 373 个籼稻地方品种中对 14 个重要农艺性状进行 GWAS 分析, 找到了各性状的相关关键位点, 其中有 6 个位点的信号峰与先前用突变体或重组群体研究定位的基因紧密连锁, 而用 GWAS 所鉴定的位点平均来看, 大约可以解释 36% 的表型变异。

4.3.8 转录组测序

转录组测序, 又称 RNA-seq 或 mRNA-seq, 即从总 RNA 中富集出单链 mRNA 经反转录得到双链 cDNA, 而后对其进行高通量测序分析。在已完成基因组测序的物种中, 可将 RNA-seq 结果与基因组 DNA 序列数据进行对比, 从而得到基因表达、可变剪切、基因结构优化、新基因发现等分析结果。对于没有参考基因组的物种, 可以进行 de novo 转录组测序研究, 即对所得测序读长片段进行 de novo 组装, 进而得到该物种的单一基因序列集(unigenes)数据。

4.3.9 有参考基因组物种的转录组测序

Zhang 等人以水稻 9311 的愈伤组织、根尖、茎尖、叶、稻花/ 稻穗为材料, 进行转录组测序, 展示了栽培水稻不同器官的转录组图谱。采用高通量双末端测序, 检测到了 7232 个新转录本, 这些转录本表达丰度低, 且具有组织特异性。共发现了 23800 个可变剪接, 这些可变剪切事件发生在水稻 33% 的基因中。同时发现 1356 个融合基因, 鉴定了 234 个候选嵌合转录本, 它们可能是由反式剪切产生地, 这表明转录融合事件比预期地更常见。这些数据为研究远比预期复杂的水稻转录调节机制提供了广泛的依据。

4.3.10 无参考基因组物种的转录组测序

Graham 等人利用 Roche/454 测序平台对青蒿(*Artemisia annua*) 的转录组进行了测序分析, 快速找出了大量的 SNPs(1 个 SNP/104 bp), 从中选取 1536 个 SNPs, 结合其他已有 marker 用于

遗传连锁图谱的构建。所用的 2 个亲本品种 C4 与 C1 是两个高度杂合且基因型差异很大的青蒿品种，构建了 F1 群体。Graham 使用了 242 个 F1 个体的数据对 2 个亲本分别构建了遗传图。将表型数据如青蒿素浓度、叶面积、表皮毛状体密度、以及植株鲜重等与基因型数据相关联，找到了 7 个 QTLs 位点。其中与青蒿素产量相关联的 QTLs 有 3 个，LG1 与 LG9 上的 QTL 与青蒿素产量正相关，LG4 上的 QTL 与青蒿素产量负相关。这一研究结果可以有助于今后对青蒿进行分子标记辅助选育青蒿素高产品种。

Wang 等人对甘薯(*Ipomoea batatas*) 的块状根进行高通量转录组测序，通过 illumina 双末端测序技术产出了超过 59 M 的序列。De novo 组装出 56516 条单一基因序列(unigenes)，平均长度为 581 bp。基于与已知蛋白的序列相似性搜索，总计有 35051 个基因被鉴定出来。KEGG 分析有 11056 个是属于代谢途径，尤其以碳水化合物代谢和次生代谢物质生物合成途径最突出。此外，从单一基因序列集中开发出的 4114 个 cDNA SSRs(cSSRs)候选分子标记可以丰富甘薯的分子标记和有助于将来的分子标记辅助育种。

4.3.11 小 RNAs 测序

MicoRNAs(miRNAs) 是一类内源小分子 RNAs,通常在转录后水平负调节基因表达来发挥作用，控制了多种生物和代谢途径中众多基因的表达，在植物生长和发育中扮演着重要角色。以检测 miRNAs 为主要目的的小 RNAs 测序技术现已经普遍被用于动植物表观遗传学研究。

Li 等人采用高通量测序与计算分析相结合的方法，调查了正常条件下和过氧化氢氧化胁迫处理条件下水稻幼苗的 miRNAs 组。通过 miRNAomes 和 Northern blot 的分析比较，确定在氧化胁迫条件下有 7 个 miRNAs 家族呈现显著的差异表达。这些过氧化氢响应的 miRNAs 的靶基因参与了不同的细胞反应和代谢过程，包括转录调控、养分运输、生长素的动态平衡、细胞增殖和细胞程序化死亡，表明多样化的 miRNAs 形成一个复杂的植物氧化应激反应调控网络。此外，在水稻幼苗中还发现了 32 个新的 miRNAs。有趣的是，首次发现了一个植物外显子小 RNA, miR3981, 其前体位于基因 AK106348 的最后一个外显子中，这表明植物也可以使用一些外显子作为一个 miRNA 的来源。

4.4 生物信息学在高通量测序中的应用

学术界公认的后基因组时代已经到来。在这个新的纪元，生物信息学在生命科学研究中发挥的作用将是史无前例的。面对第二代测序技术的高速发展，生物信息学面临的第一个问题是数据的存储和管理。以 Illumina 的 HiSeq 2000 平台为例，每次运行的时间为 8 天，可产生约 200G 的

原始数据，在处理的过程中，需要至少在 TB 级别以上的数据存储能力。如此大规模的数据存储需求是史无前例的，普通的研究室往往受限于缺乏足够的硬件支持。同时，大规模数据的出现也对数据管理和传输提出了新的要求。相比微阵列杂交技术如火如荼的时代，高通量数据不论是在存储还是传输上的要求都高出了若干数量级。以目前的传输速度，一次测序数据的传输往往就需要半天的时间，通过网络媒体下载的速度更是很难满足大规模分析研究的需求。研究者们相信，得益于 IT 技术的发展，和计算机硬件的更新换代，高通量数据存储、传输、管理的需求最终会得到解决。



除了硬件技术、大规模计算平台的发展，生物信息学的主要任务是在方法学的领域发展新的技术，以辅助研究人员更好的利用高通量测序技术产生的大规模数据。由于高通量测序技术已经被应用在了众多的生命科学研究中，相应的生物信息学的主要任务之一是为不同方面的研究提供理论和算法的支持。对测序而言，数据的分析和处理贯穿了测序项目的全部流程。

5 表型组-转录组-基因组数据分析平台

我们除了提供高通量植物表型平台、高通量基因测序平台的硬件产品外，还提供基因组、转录组、蛋白组等的测序服务，以及表型组-转录组-基因组的数据关联分析服务。可以满足大专院校、科研机构、企业和个人所有的以新一代测序技术为主体的实验服务需求，并可以按照特定技术需求为用户定制实验。

在测序服务领域，我们拥有如下平台：

- 罗氏 GS FLX+测序系统，2 套
- Illumina HiSeq2000 测序系统，1 套
- Illumina GA IIx 基因分析系统，1 套
- ABI SOLiD4 测序系统，2 套
- Thermo 质谱仪，2 套
- 目前已经开发出了系列的基于新一代测序技术的实验服务流水线，比如新基因组测序、基因组重测序、基因组靶向测序、基因组甲基化测序、基因组转录因子结合位点测序、全转录组测序等生产线。

5.1 基因组重测序分析

基因组重测序是对已知物种的全（部分）基因组进行测序，并对个体或者群体样品进行差异分析。基因组的重测序可以辅助研究者发现单核苷酸多态性位点（SNPs）、拷贝数变异（Copy Number Variation, CNV）、插入（Insertion）、缺失（Deletion）等变异类型。根据重测序的对象规模和应用领域的不同，重测序可以被分为很多种。就测序对象的规模而言，对整个基因组的重测序称为全基因组重测序，也有对部分基因组的重测序。其中比较典型的包括：对外显子区域重测序的被称为外显子捕获测序，针对调控因子结合区域的测序或被称为 ChIP-Seq，等等。根据重测序的对象规模和应用领域的不同，重测序可以被分为：全基因组重测序，外显子组测序，以及针对调控因子结合区域或表观修饰的 ChIP-Seq 等。

技术路线

- 1) 提供详细专业的项目报告，内容涵盖：测序数据质量评估，参考基因组比对效率分析，SNP 和 SV 分析，功能注释和比较分析等。

- 2) 借助 IGV 等基因组展示软件，提供可视化的图形展示结果，方便生物学家深入分析个别位点的测序结果。
- 3) 通过引入表型信息，与测序结果进行关联分析，并参考已有的 GWAS 分析结果，确定与表型最为相关的突变位点。
- 4) 网络分析：通过测序数据分析生物代谢通路和网络结构，寻找网络中存的中心节点 (Hub) 和子模块，通过和表型相关性分析预测机制。



图 5-1 基因组重测序分析技术路线

5.2 从头测序 (De novo sequencing)

De novo 测序指在不使用任何参考序列的情况下对某个物种进行测序，用生物信息学方法进行组装，从而获得该物种的基因组序列图谱。获得一个物种的基因组序列可以加速研究者对该物种的了解，而过去传统的测序技术为了达到此目的需耗费大量的人力和冗长的步骤。第二代测序技术让您能够轻松做到以往大规模实验室才可以进行的研究。

我们将针对您的需求为您推荐最经济使用的（组合）测序平台。Illumina Genome Analyzer II x 和 HiSeq 2000 系统是目前进行 de novo 测序拼接基因组非常先进和经济的平台，既可进行整个基因组序列测定也可进行基因组上一个大片断候选区域的序列测定。真菌等较为复杂的基因组测序，Solexa 和 Roche 454 平台组合是非常好的选择之一，使得基因组测序成本及基因组组装难度均大大降低，缩短了测序时间。对于动物和植物基因组，加入 Solexa mate-pair 数据是最经济，快

速的方法。

技术路线

1. 全基因组结构差异分析
2. 同源基因家族分析：16S rRNA 分析，同源基因分析，泛基因组分析
3. 代谢组学分析，代谢通路差异分析
4. 进化分析：16S rRNA 进化分析，基因家族进化分析，基因组上下文网络关系进行分析
5. CRISPR 元件分析
6. 潜在的有害因子序列分析
7. 功能蛋白预测：分泌蛋白、脂蛋白、跨膜蛋白

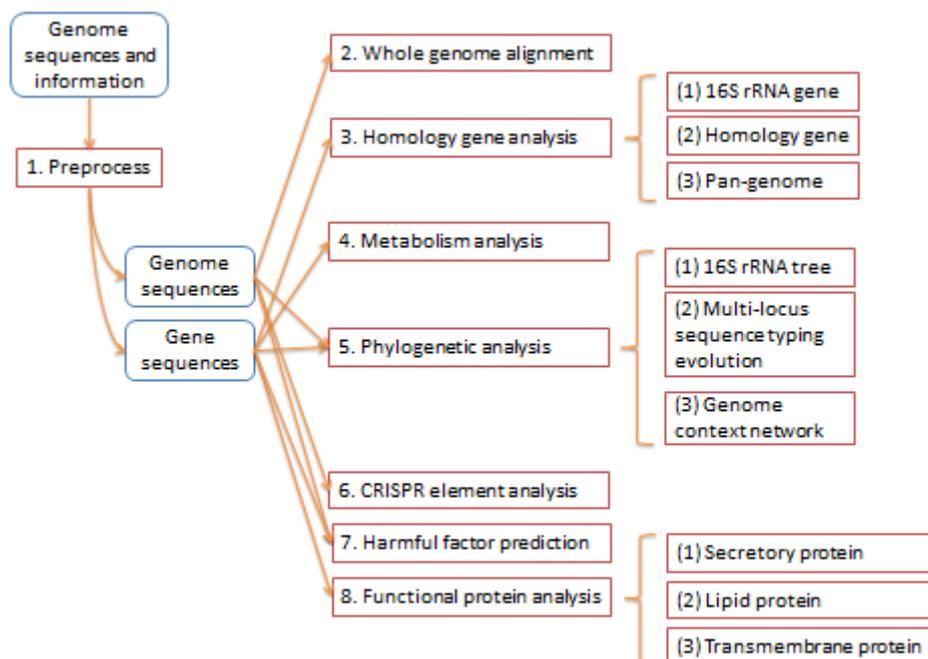


图 5-2 De novo 测序分析技术路线

5.3 转录组测序（RNA-Seq）

转录组是某个物种或者特定细胞类型产生的所有转录本的集合。转录组研究能够从整体水平研究基因功能以及基因结构，揭示特定生物学过程以及相应的分子机理，已广泛应用于基础研究、临床诊断和药物研发等领域。RNA-seq 即转录组测序技术，就是把 mRNA，smallRNA，及 NONcoding RNA 等或者其中一些用高通量测序技术把它们的序列测出来。反映出它们的表达水平。

我们提供针对各种动植物、微生物的转录组测序平台，提供专业的测序数据分析服务：测序质量评估、基因表达注释、基因差异分析、可变剪切分析、预测新转录本。我们的分析团队拥有多年的生物信息专业分析经验，能提供专业的差异基因统计分析，时间序列数据分析，基于表达谱数据的预测模型的构建等。

技术路线

- 1) 对数据进行质量预处理；
- 2) 已知基因组数据：测序数据比对到基因区域；
- 3) 未知基因组数据：测序数据拼接得到转录本数据；
- 4) 基因注释、基因表达丰度信息；
- 5) 差异表达的基因分析；
- 6) 基于现有基因组，预测新的转录本；
- 7) 可变剪切分析；
- 8) 基因融合事件分析。

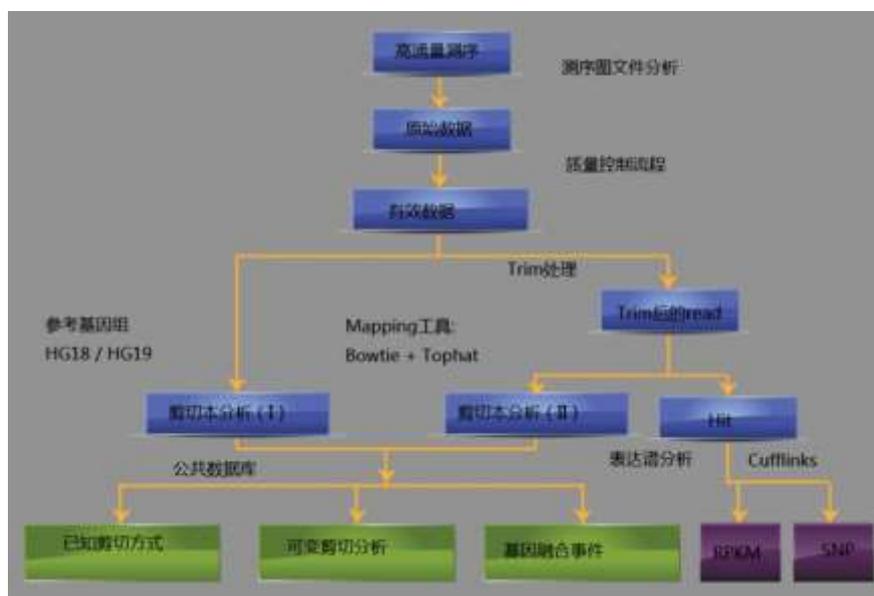


图 5-3 转录组测序分析技术路线

5.4 外显子捕获测序（exon-capture sequencing）

外显子组是指全部外显子区域的集合，该区域包含合成蛋白质所需要的基因编码信息；研究表明，其中大量的位点与个体表型和功能变异相关。外显子捕获测序是将感兴趣的基因组区域定

制成特异性探针与基因组 DNA 在序列捕获芯片（或溶液）进行杂交，将目标基因组区域的 DNA 片段进行富集后再利用第二代测序技术进行测序的研究策略。我们在同一张芯片上以高特异性和高覆盖度捕获基因组区域，后续利用 Solexa/SOLID 测序技术直接解析数据，使您将精力专注在您感兴趣的区域。

与全基因组重测序相比，外显子组测序只是针对外显子部分的 DNA，覆盖度更深、数据更有针对性，更加简便、经济、高效。我们能为您设计最适合您的研究的、最高效便捷的研究策略。在农业应用中，可以根据模式植物基因组上，研究人员感兴趣的基因组区域，设计捕获芯片，用于抓取特定区域进行高深度的测序，分析基因型和表型的关联。

技术路线

- 1) 基因组 DNA 随机打断
- 2) DNA 片段末端修复和连接接头
- 3) 根据 exon 区域设计捕获芯片
- 4) 进行芯片杂合捕获特定序列
- 5) 构建测序所需的文库
- 6) 进行 Solexa/SOLiD 高通量测序
- 7) 对测序数据的质量进行评估
- 8) 将测序片段映射到基因组上
- 9) 评估外显子捕获的效率
- 10) 进行 SNP 和 INDEL 的鉴定和分析
- 11) 使用公共数据库进行 SNP/INDEL 注释
- 12) 与表型关联研究等

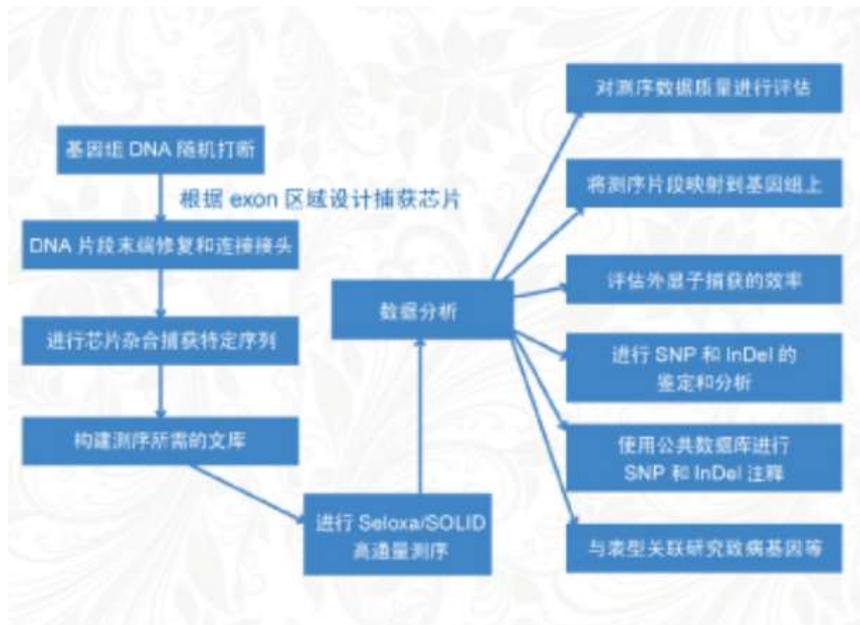


图 5-4 外显子捕获测序技术路线

5.5 基因组重测序数据及表型关联分析

通过上述的分析，我们在基因组水平和转录组水平均能鉴定到大量的突变位点。高通量数据分析的核心在于结合基因组的突变信息（包括每个个体的 SNV，INDEL），以及表型组的数据，如生育期、株高、叶数、分蘖数、小穗数、穗粒数、千粒重等进行关联分析。水稻除了要关注与一般的农艺性状外，还关注剑叶长、剑叶宽、穗长等；玉米则更看重千粒重、穗粗、株高、穗行数、行粒数、穗重等；大豆关注单株粒数、百粒重、单株荚数、株高、单株荚数等，通过全基因组关联分析（Genome-wide association study），在全基因组范围内找出存在的序列变异，从中筛选出与表型相关的 SNPs。

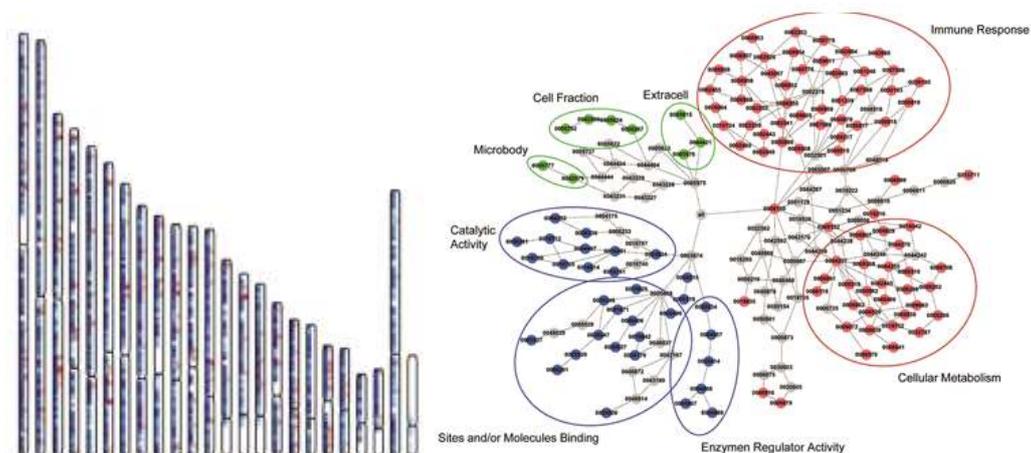
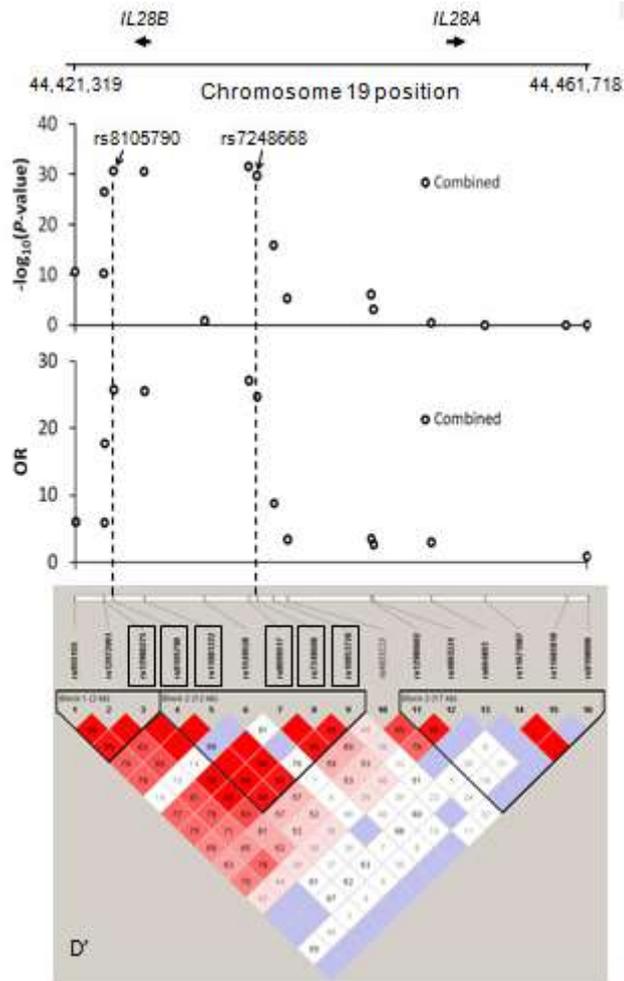


图 5-5 基因组突变鉴定及其功能富集分析

关联分析及其在植物遗传学研究中的应用基础包括连锁不平衡 (linkage disequilibrium, LD) 亦称为配子相不平衡 (gametic phase disequilibrium)、配子不平衡 (gametic disequilibrium) 或等位基因关联 (allelic association), 是指群体内不同座位等位基因。同一染色体或不同染色体的基因座之间均可呈现连锁不平衡。群体内存在的 LD 均是由突变产生的等位基因出现后座位间所有重组事件累积的结果。位点间连锁越紧密, 其 LD 水平越高。LD 在染色体上的分布一般用 LD 衰减散点图和 LD 配对检测的矩阵图来描述。前者可以观测 LD 随遗传或物理距离的衰减速率, 后者可以直接观测同一染色体的基因座或基因的多态性位点之间 LD 的线性排列。突变和重组是影响 LD 最重要的因素。突变是 LD 形成的原因, 新突变的产生可打破原有 LD, 形成新的 LD。多态位点间的重组也可打破 LD, 无连锁和自由交配的重组使位点间等位基因处于连锁平衡状态。群体中的 LD 是突变、重组和其它因素影响累积的结果。此外, 物种交配方式、染色体位置、群体大小、自然与人工选择、遗传漂变和基因转换等也是影响 LD 的因素。

连锁不平衡与关联分析在群体中, 个体等位基因差异是表型差异的根本原因。连锁分析是利用标记位点与引起表型差异的位点 (QTL) 之间的重组来定位 QTL。关联分析则是利用引起表型差异的位点与标记之间的连锁不平衡来定位 QTL。在自然群体的基因组中存在数目庞大的多态性, 由于连锁的存在及群体形成过程中突变、重组和选择等因素的影响, 多态位点的等位基因间存在广泛的非随机关联, 亦即连锁不平衡状态。多个基因座的等位基因间的 LD 形成了一系列的单倍型 (haplotype), 单倍型的大小取决于 LD 的衰减水平。LD 的衰减水平越高, 则形成的单倍型越小。根据单倍型可把群体内个体区分为不同类型或亚群。由于存在引起表型变异的等位基因, 使得不同的单倍型群体具有表型上的差异, 分析不同单倍型群体与表型变异的协变性 (关联), 就可把引起表型变异的位点定位到相对应的单倍型上。因此, 分析标记与引起表型变异位点 (QTL) 的关联性, 根据分子标记的信息即可定位 QTL 在染色体上的位置。



QTL mapping methodology and its applications

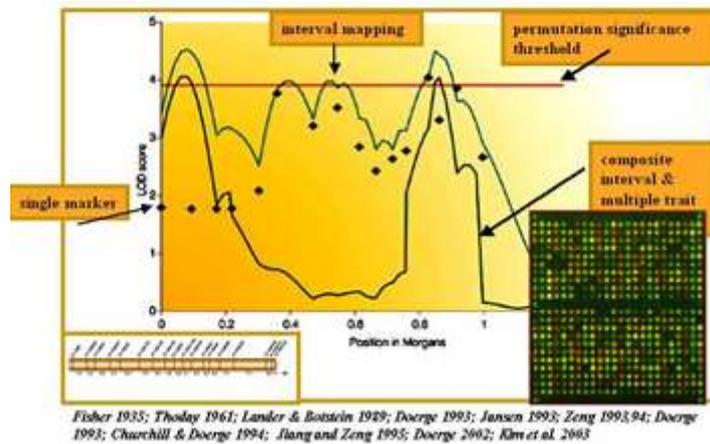


图 5-6 QTL 及其功能分析

表型组和基因组数据关联分析中最常见的方法之一是主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA), 即将多个变量通过线性变换以选出较少个数重要变量的一种多元统计分析方法,

又称主分量分析。在实际课题中，为了全面分析问题，往往提出很多与此有关的变量（或因素），因为每个变量都在不同程度上反映这个课题的某些信息。通过 PCA 分析，能将可能影响表型的基因组特征进行简化，多轮 PCA 分析能筛选出最有可能影响植物表型的基因。此外，其他多元回归模型，例如有监督的聚类/回归模型，能有针对性的选择目标表型，通过 PLS-DA 等方法，筛选出可能影响目标表型的基因组特征的组合，并有效的量化估计每个相对独立的基因组特征可能对表型的贡献值。

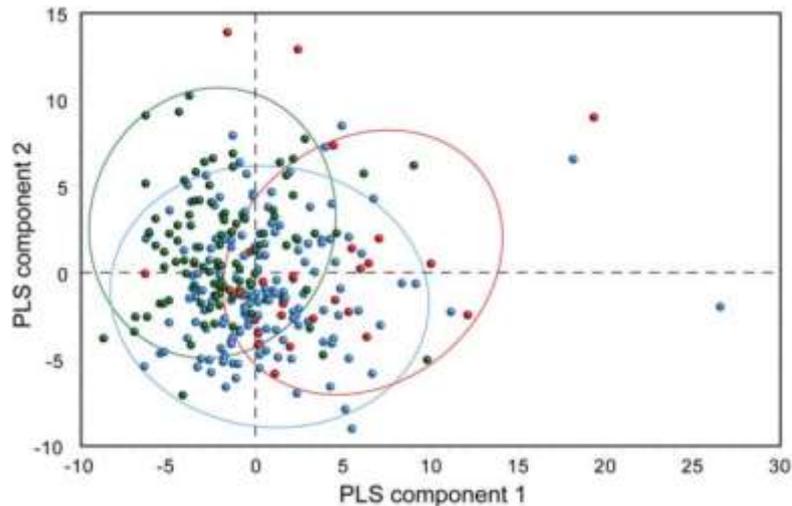


图 5-7 基于多元回归算法的主成分分析

此外，植物转录组也能进行转录组水平的 SNV 的分析和鉴定，参考基因组重测序分析的标准以及表型关联分析，同样可以进行转录组水平的 SNV 与植物重要表型之间的关联分析。

一般认为植物的表型组数据属于可观察的外表型，植物转录组数据可以理解为内表型。决定外表型和内表型特征的主要是基因组背景、表观遗传学特征、生理生长环境等等综合因素。结合基因组的数据，转录组的数据以及表型组数据，能系统化的研究导致植物生理生长特性的各个因素，从而为分子育种提供理论依据和数据基础。

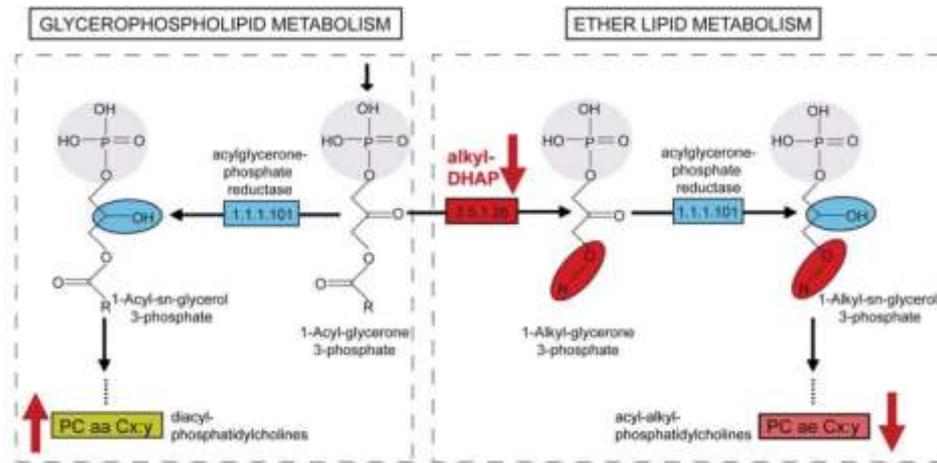


图 5-8 影响植物功能表型的代谢通路分析

6 人工气候室平台

进口成套植物生长室采用国际上首屈一指的大型植物培养箱/生长室品牌加拿大 Conviron，该设备为步入式设计，整套系统精密控制光、温、湿、CO₂ 和通风，适合安装在现有实验室中。

6.1 进口成套植物生长室

加拿大 Conviron 是世界上生产植物生长箱最著名的厂商之一。其拥有 FXC、SPC、TPC、TPR、TPRF、MTPC 等系列多种不同类型的植物生长箱。其生长箱具有精度高、全自动、模拟度强、远程服务、全面定制化等多种优点。Conviron 植物生长箱所有产品均为定制化，即根据客户自己的实验需求定制生产机器，真正做到产为所用，甚至产为专用。Conviron 以其优质的产品和服务，已经奠定了其在北美植物生长箱领域的龙头地位。目前，Conviron 正在掀起全球的风潮。

6.1.1 应用领域和主要功能

Conviron 被广泛应用于植物的发芽、育苗、栽培，组织细胞、微生物的培养等实验。它是生物、遗传、医学、农业、林业等生产和科研部门不可缺少的实验设备。

它可以对温度、湿度、光照、CO₂ 浓度等环境参数进行全自动精确控制，维持植物稳定的生长环境。可以根据用户实验需求调整植物培养环境，并可根据客户具体需求添加相应的附件。



图 6-1 植物生长室内观



图 6-2 植物生长室外观

7 植物生理生态平台

7.1 平台建设框架

7.1.1 植物光合生理深入研究平台

光合作用是地球上最重要的化学反应，与作物的生产能力及作物对逆境胁迫的耐受响应密切相关。测量作物的光合作用一直是评价作物生理状况、判断生产能力的重要方法。

传统的光合作用测量主要包括调制叶绿素荧光（PAM 技术）、CO₂ 气体交换和光合放氧三大技术，几十年来在国际科研界均得到了广泛应用。由于调制叶绿素荧光和 CO₂ 气体交换都可以做到无损、原位、活体测量，对同一个样品可以进行长期的胁迫处理研究（光合放氧需要破碎叶片），因此应用更广泛一些。

此外，还有一种差式吸收技术，可以通过测量光合组分在氧化还原（或加亚基、去亚基）过程中的差式吸收来反映他们的活性。如通过测量光系统 I 反应中心叶绿素 P700 的差式吸收来测量光系统 I 的活性（DUAL-PAM-100），通过测量 P515/535 的差式吸收来测量跨膜质子梯度 ΔpH 和玉米黄素（Zea）的变化（DUAL-PAM-100 的 P515/535 模块）。这种技术信号弱、难度高，但也具有无损、原位、活体测量的特点。

基于 CO₂ 气体交换测定技术的光合仪 GFS-3000 可以测定植物的光合作用、呼吸作用及蒸腾作用，同时，可与 DUAL-PAM-100 或 KLAS-100 同步测定 CO₂ 气体交换、叶绿素荧光及光合电子传递链上其他组分的活性。

功能指标与设备：

测量功能	所需设备
单独测量 CO ₂ 气体交换（光合作用、蒸腾作用、呼吸作用）	GFS-3000
单独测量调制叶绿素荧光	PAM
单独测量 P700	DUAL-PAM-100
同步测量叶绿素荧光与 P700	DUAL-PAM-100
同步测量 CO ₂ 气体交换与叶绿素荧光	GFS-3000 与 PAM
同步测量 CO ₂ 气体交换、P700 与叶绿素荧光	GFS-3000 与 DUAL-PAM-100
同步测量 CO ₂ 气体交换与跨膜质子动力势（pmf）、跨膜质子梯度（ ΔpH ）、跨膜电位（ $\Delta\Psi$ ）和玉米黄素（Zea）等	GFS-3000 与 DUAL-PAM-100 和 P515/535 模块

7.1.2 农作物光合突变株快速筛选平台

近些年出现的调制叶绿素荧光成像设备，可对植物叶片或其他小样品进行叶绿素荧光参数成像分析，快速分析其光合能力的差异，用于光合突变株的筛选，同时微探头的成像放大倍数高，可用于植物病理深入研究；包括

- 光合突变株的快速筛选（农作物幼苗、小植株、愈伤组织等，培养在平板上。小麦等禾本科植物，可以在出苗后，将大探头横向放置，与小麦幼苗呈 90 度角测量）
- 平板培养、人为设置不同水分梯度、盐分梯度等，用于抗旱、抗盐突变株的快速筛选
- 人为接种各种不同的植物病菌，用于快速筛选抗病植物

功能指标与设备：

测量功能	所需设备
成像面积 10×13 cm，植株表型数据测量，如株高，叶片数量，叶面积，叶倾角，以及不同水平面叶片的叶绿素荧光	Imaging-PAM 3D
成像面积 10×13 cm，可进行叶绿素荧光参数成像分析	Maxi-Imaging-PAM
成像面积 2.4×3.2 cm，放大倍数 6 倍，可进行叶绿素荧光参数成像分析	Mini-Imaging-PAM

7.1.3 作物光合-蒸腾长期连续监测平台

农作物在实际的田间生长过程中，受到各种环境因子（如光、温湿度、土壤水分等）的影响，常规的便携式仪器设备无法实时跟踪测定其变化过程及与环境因子直接的关系。

作物光合-蒸腾长期连续监测平台可以在不影响植物正常生长的条件下，实现对植物光合气体交换、叶绿素荧光等光合生理指标进行长期多点连续监测，结合对其他生理指标及多种环境因子的监测，从而精确反映环境因子的变化对植物光合生理状态的动态影响，为作物生理生态研究、作物栽培、灌溉决策、农作物对环境因子的胁迫响应研究提供一套有效的解决方案。

功能指标与设备：

测量功能	所需设备
CO ₂ 气体交换（光合作用、蒸腾作用、呼吸作用）的长期连续监测	PTM-48A
叶绿素荧光参数（F _o 、F _m 、F _v /F _m 、F _t 、F _m '、ΦPS II (Yield)、qP、qN、NPQ、qL、Y(NO)、Y(NPQ)、rETR 等）的长期连续监测	Monitoring-PAM

空气温湿度、土壤温湿度、叶片温湿度、总辐射、光合有效辐射、茎流速率、茎秆微变化、果实微变化等长期连续监测	Eco-watch
--	-----------

7.1.4 作物生长发育研究平台

作物生长发育平台可以提供能够精确控制温度、湿度、光照 CO₂ 的大型植物培养箱，并能够在室内或野外精确测量植物不同器官释放的乙烯气体含量，探究植物的生长发育情况。

功能指标与设备：

测量功能	所需设备
提供植物生长空间，精确控制温度、湿度、光照、CO ₂	Conviron /Heliospectra LED
室内测量植物各个组织器官释放的痕量乙烯气体浓度	ETD
野外便携式测量植物释放的乙烯气体浓度	F-900

7.1.5 农作物水分生理代谢研究平台

了解植物从土壤里吸收了多少水，蒸腾了多少水，实际利用了多少水？

植物健康生命过程所需的最低水量是多少？（需水量的定义，是植物的表面积、体积、重量需水量？植物健康的生长不一定达到最大产量和良好的生态效果，也许亚健康状态才是我们需要的结果。高产本身就是对自然界原始状态的破坏，我们需要研究，通过灌溉和其他措施，使植物处在某种生理状态，即高产又对生态破坏达到最小，通过植物生理生态的指标，让长在自然界的植物为我们所用。灌溉策略是控制植物生理状态一个非常有效的方法。同时可以做植物不同生长发育期的灌溉策略，如生长期，结穗期等。不同季节的灌溉策略等。）

构建模型表达其关系。（利用目前的科研手段和研究方法完全通过力学角度研究水分运输的动力学尚有所欠缺。这个过程中涉及一些植物本身体内水分与物质的转化，如根部吸水，水势推动力是个主导因素，可能根系的毛细管张力、水分跨膜运输、根土界面的一些作用力也是推动水分运动的因素。不同条件下这些作用力都是在发生变化的。传统的黑匣子理论不能满足我们对整个输水过程的理解，是否可以分段处理，把整个过程分成若干个黑匣子来研究？）

能否控制植物水分的无效损失？（通过不充分给水，减少蒸腾，同时保证一定的干物质形成效率，也许是个有效方案。）

功能指标与设备:

测量功能	所需设备
土壤体积含水量	高精度土壤水分测定仪 Mini-Trase
土壤水势	压力膜仪 1500F1
植物水势	3115 植物水分压力室
植物茎流长期监测	SAPFlow 包裹式植物茎流测定系统
植物茎杆变化长期监测	生长测量仪 Dendrometer
植物蒸腾作用及光合作用便携测定	CI-340 手持式植物光合测定仪
作物冠层的水热交换	手持式高精度作物冠层红外测温仪

7.1.6 农作物矿质营养研究平台

农作物在生长过程中，从土壤中吸收水分的同时，也从土壤中吸收各种矿质元素和氮素，以维持正常的生命活动。有的作为植物体的组成部分，有的参与调节生命活动。

矿质元素中，主要关注植物生长的必须矿质元素（如氮、磷、钾、钙等）的测定，既有土壤或水培时营养液中的测定需求，也有植物体中矿质元素的测定需求，还有影响矿质元素吸收的环境微环境的测定（如土壤温度、土壤 pH 值、土壤氧气状况及土壤溶液中各种溶质浓度等）。

功能指标与设备:

测量功能	所需设备
土壤养分便携快速测定（N、P、K、Ca、Mg、Al 等）	土壤养分测定仪 SK-500
植物体中矿质元素精确测定（总氮、硝态氮、氨态氮、硫酸盐、硅酸盐、总磷、钙、铝等）	间断化学分析仪 CleverChem
土壤 pH	土壤原位 pH 计
土壤 O ₂	光纤式氧气测量仪 Firesting O ₂
土壤重金属	土壤重金属分析仪 Innov-X
土壤 VOC，快速测定土壤中碳氢化合物和其它有机物含量	土壤污染检测仪 EcoPROBE5

7.1.7 农作物根系研究平台

根系对植物起着支撑作用，是植物的吸水器官，吸盐器官，在生态系统的生物地球化学循环中扮演着重要角色。但是，由于根系是大多数陆地生态系统“隐藏的一半”，对它进行准确取样、

测定、观察存在一定困难。长期以来，对根系的研究主要还是采用挖掘法、土钻法、土柱法、容器法、剖面法等传统方法，采样破坏性大、工作量大，严重阻碍了根系研究的深入开展。

该平台的建设既需要满足常规的离体根系结构及生长参数的测定，也需要实现野外原位、非破坏长期监测植物根系生长动态，更需要获取植物在可控生长条件下全面的、整体的、三维的精确变化过程。

功能指标与设备：

测量功能	所需设备
离体植物根系的根长、根面积、根系茎级、根系构型的测定	根系分析系统 WinRhizo Pro LA2400
野外土壤中植物根系的生长动态监测（根长、根面积、根茎级）	植物根系生长监测系统 CI-600
可控环境下根系的整体三维构型（根长、根面积、根系茎级、根系构型）	植物根系 X-光扫描成像分析系统 RootViz FS
专门用于植物研究的 CT 三维成像系统，可对土壤中的根茎、种子、茎秆等部分进行三维成像分析，无需专业的图像处理知识，可获取形态学以及内部性状信息	植物 CT 三维成像系统 CT Lab

7.1.8 土壤-植物-大气连续体（SPAC）长期监测平台

植物在正常生长的环境中，水分经由土壤到达植物根系，被根系吸收，通过细胞传输，进入植物茎，由植物木质部分到达叶片，再由叶片气孔扩散到静空气层，最后参于大气的湍流变换，形成一个统一的、动态的、互相反馈的连续系统，即土壤-植物-大气连续体(Soil-Plant-Atmosphere Continuum,简称 SPAC)。

以水在大气、植物、地表、土壤和地下水层中的传递为核心，充分考虑植物与大气、土壤与大气、土壤与根系、土壤水与地下水等之间的多个界面过程，跟踪植物在生长过程中的变化过程，野外现场长期连续监测 SPAC 研究所需的指标，包括总辐射、光合有效辐射、净辐射、紫外辐射、CO₂、风速、风向、温度、湿度、气压、降雨、蒸发、叶片温度、叶片湿度、茎流、茎秆变化、果实变化、土壤水分、土壤水势、土壤温度、土壤盐分、土壤热通量、土壤蒸散。

功能指标与设备：

测量功能	所需设备
总辐射、光合有效辐射、净辐射、紫外辐射、CO ₂ 、风速、风向、温度、湿度、气压、降雨、蒸发、叶片温度、叶片湿度、茎流、茎秆变化、果实变化、土壤水分、土壤水势、土壤温度、土壤盐分、土壤热通量、土壤蒸散长期连续监测	生态环境监测系统（SPAC 系统）Eco-Watch

7.1.9 便携式田间作物生理生态研究平台

在作物的田间生长过程中，有很多生长的参数是需要现场便携测定的，以快速反映作物生长过程中的各项生理生态指标，评价田间条件下各种作物的生理状况、指导农作物栽培管理等。

功能指标与设备：

测量功能	所需设备
Fv/Fm、 $\Delta Fv/Fm'$ 、qL、qP、qN、NPQ、ETR、PAR 和叶温等叶绿素荧光参数的测定	便携式调制叶绿素荧光仪 PAM-2500
光合速率、蒸腾速率、呼吸速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度等植物气体交换参数测定。	手持式植物光合作用测量系统 CI-340
植物叶片长度、宽度、周长、叶面积的快速测定	手持式激光叶面积仪 CI-203
植物冠层结构测定（叶面积指数、消光系数、辐射透过率、叶片平均倾斜角度和叶片方位分布等）	数字植物冠层图像分析仪 CI-110
植被群体 NDVI 参数测定，（反映植物健康状况、N 素利用效率、病虫害、营养胁迫、除草剂等对植物的影响）	手持式植物光谱仪 ACS-470 HandHeld
可实现多酚的实时无损测量，能同时准确测量叶片的叶绿素含量、叶片表层的类黄酮和花青素含量	植物多酚-叶绿素测量计 DUALEX SCIENTIFIC+
12 种荧光信号，实时无损测量氮平衡指数（NBI）、SFR_R 和 SFR_G 叶绿素指数、FLAVL 类黄酮指数、ANTH 花青素指数	便携式紫外-可见光荧光仪 MULTIPLEX RESEARCHTM
以紫外光作为激发光源，实时、无损地测量荧光颗粒和植物抗毒素。应用于植物病理学、逆境生理学研究。	植物早期病害检测荧光仪 MULTIPLEX 330
便携式快速测定植物叶片叶绿素相对含量	便携式叶绿素仪 SPAD502 PLUS
植物叶片及茎干水势的便携测定	植物水势压力室 SEC3115
非接触式快捷测定作物冠层温度及与环境温度差	手持式高精度作物冠层红外测温仪 61104 型

便携式高精度测定土壤体积含水量	便携式高精度土壤水分测量系统 MiniTrase
快速测土壤紧实度。	数显型土壤紧实度仪 SC-900
快速测定土壤养分	便携式土壤养分测定仪 SK-500
快速原位测定土壤 pH 值	土壤原位 pH 计 pH400
快速原位测定土壤盐分	便携式土壤盐分计 2265FS

7.1.10 种子成熟度研究

种子成熟度是种子活力的重要内在指标。成熟度不好的种子其芽率、芽势、拱土能力、成苗率和苗整齐度等综合指标下降，严重影响种子质量，从而影响整个生产，为此，提高种子的成熟度十分必要。随着生产的发展，人们对种子质量要求更高。生产中迫切需把种子成熟度纳入种子质量标准中，实现种子优质优价，促进种子生产者对种子成熟度的重视。而能否在生产中把种子成熟度的关，取决于能否对种子成熟度进行简便、快速的测量！

在种子成熟过程中，种皮内的叶绿素会逐渐分解。因此，通过叶绿素荧光技术可以测量种子的成熟度，来协助判定最合适的收获期。一般而言，相同的种子样品，测得的叶绿素荧光越高，表明种子成熟度越低或/和种子破裂度/破损度越高；测得的叶绿素荧光越低，表明种子的成熟度越高。种子的成熟度越高，种子发芽率越高！

功能指标与设备：

测量功能	所需设备
种子成熟度、完整度和抗病性	荷兰“Fytagoras”种子成熟度分析仪 SA-10

7.1.11 花粉质量研究

在植物育种与生产的过程中，花粉的质量关系着后期结籽率及作物产量，精确分析花粉特性扮演着越来越重要的角色。当前，研究花粉最主要的方法还是基于荧光染色的流式细胞分析方法或者显微镜直接观察，这些方法都需要花费很长的时间进行预处理，通量低且实验结果受人为因素影响较大。如右图，当在显微镜下观察时，我们可以观察花粉的形态特征，但是不能得到量化的形态参数；当使用基于荧光信号的流式细胞分析方法时，预处理时间长，实验结果可重复性低。



针对这些情况，泽泉科技推出了采用阻抗流式细胞分析技术的花粉质量分析仪 Ampha Z30，揭开了花粉研究的新篇章。该仪器将样品预处理的时间大大缩短，其测量的核心微流体分析芯片分析速度快，并且不需要染料，大大节省了科研工作者的时间及支出。目前荷兰安莎种业公司已经广泛使用 Ampha Z30 对花粉特性进行研究。

功能指标与设备：

测量功能	所需设备
分析参数：细胞大小，细胞形态，样品浓度，细胞活性，细胞凋亡，细胞分化，非生物颗粒形态参数； 可用于花粉活力分析、花粉倍性分析、花粉分化阶段分析。	瑞士“Ampha”花粉质量分析仪

7.1.12 种子活力研究

种子活力是指在广泛的田间条件下，种子本身具有的決定其迅速而整齐出苗及正常幼苗发育的全部潜力的所有特性，是衡量种子质量的重要指标。高活力种子具有明显的生长优势和生产潜能，能提高出苗率和幼苗的抗逆能力，同时能提高作物产量。

呼吸作用是种子本身主要的生理特性，种子萌发首先伴随着旺盛的呼吸代谢，凡是活的种子就会产生呼吸，即使处于非常干燥或休眠状态的种子，其呼吸作用也未停止。呼吸提供了全部活动所需要的能量，在呼吸过程中，种子贮藏物质（主要是淀粉、蛋白质和脂肪）必须在有氧的条件下才能氧化分解，转化为合成代谢的中间物质，并为种子生理活动提供所需的能量。因此，呼吸作用是种子进行生命活动的主要标志和集中表现，呼吸作用的强弱直接关系到种子活力的高低，由此可见，检测种子萌发过程中的耗氧情况能更有效地反映种子的活力水平。

在氧气测量过程中，可根据测量的氧气浓度和时间自动绘制成耗氧曲线，每条曲线代表一粒种子萌发过程中的耗氧情况，打破休眠且活力较高的种子的耗氧曲线一般呈反 S 型。根据耗氧曲线的特征，可以设定不同的氧代谢值，包括萌发启动时间（IMT）、氧气消耗速率（OMR）、临界氧气压强（COP）、理论萌发时间（RGT）等。IMT 表示氧气消耗速率从初始的缓慢速度开始迅速增加所需用的时间；OMR 是种子胚根突破种子后受低氧胁迫氧气消耗速率变慢之间的呼吸速率；COP 是呼吸速率开始减速时的氧气浓度，它反映了种子耐低氧胁迫的能力；RGT 为非低氧胁迫条件下的理论萌发时间。一般来讲，种子活力越高，OMR 值越高，IMT、COP 和 RGT 值越低

功能指标与设备:

测量功能	所需设备
种子活力测量，包括：包括萌发启动时间（IMT）、氧气消耗速率（OMR）、临界氧气压强（COP）、理论萌发时间（RGT）等。可应用于快速萌发测量、种子加工及处理过程标准监控、种子引发及其他技术的筛选、辅助育种、种子库存管理、种子细菌和真菌污染水平检查、种子一致性及种子萌发均一性判定。 每 15 分钟最多可一次性检测 1536 颗种子活性！	荷兰“Callas”种子活力测定仪 Q2

7.1.13 种子性状研究

种子是种子植物进行有性繁殖的最重要器官之一，是联系上下代植物体的纽带，其形态特征为数量分类学的基础，可为种子形态学、种子生态学、植物生态学研究提供依据。分析种子的形态指标间内在联系，对于探索种子生长，发育和成熟过程以及各形态因子间的相互作用有重要意义。同时种子发芽后，通过对幼苗的形态特征研究，可研究不同特征指标与植株抗性的相关性等，也可作为评价种子质量或者种苗的标准。

功能指标与设备:

测量功能	所需设备
通过干燥的热空气处理，杀灭种子中的病毒，从而大量生产脱毒种子。该仪器可对无法进行化学处理的种子或无法通过化学方法杀灭的病毒进行脱毒，例如黄瓜绿色斑点花叶病毒、烟草花叶病毒等。	韩国“Koecon”种子处理干燥箱
高通量分析种子形态特征、发芽速度和发芽率，兼容 Jacobsen 发芽床。	法国“ALCI”种子性状自动分析系统 SAGA
无损测量种子整体形状大小、胚芽胚乳的大小测量、种皮厚度测量、种子空腔形状和大小测量等等。 德国著名 Fraunhofer 研究院研究成果！	德国“WALZ”植物 CT 三维成像系统 CTportable
利用 PL 可对种子形态分析和幼苗形态特征分析	德国“LemnaTec”台式植物成像系统 Scanalyzer PL
利用机器人视觉识别技术，可全自动将批量种子分粒拣到发芽床或 96 微孔板上，全程自动化，无需人工用于种子 DNA 提取，发芽率实验，小植株移取和表型	德国 LemnaTec 高通量全自动化种子处理系统 Seed Picker

研究	
利用 HTS 系统的可见光成像模块,可实现 PL 系统的所有形态分析,同时可实现高通量。 利用 HTS 系统的近红外成像模块,可对种子吸水过程中,种子含水率的变化进行分析	德国“LemnaTec“实验室型高通量植物表型平台 Scanalyzer HTS
可计算种子萌发率和分析幼苗形态特征 同时具有专门的玉米棒研究模块,可以得到玉米棒长度、玉米棒宽度、颜色和图像中粒数	荷兰“KeyGene“便携式植物表型平台 KeyBox
可自动对种子和针叶的图像进行分析	加拿大“Regent”种芽和针叶图像分析系统 WinSEEDLE
多光谱设计,用于坏死/孢子提取、自动测量孢子数和表面积、病斑占叶片表面积的百分比、受伤/受损的区域、发病速率、病斑密度研究等。	法国“ALCI”植物病理自动分析系统 -APAS
种子密度筛选;种子密度是加工过程中一个重要的原始数据,可应用于种子和杂质的分离、种子分级、种子纯度测定以及成熟度评定和料仓设计。	荷兰“Hoopman”种子密度筛选仪

7.2 平台建设所需设备一览表

序号	仪器名称	型号	产地	数量	用途
1	便携式光合-荧光测量系统(含联用叶室)	GFS-Dual	德国 WALZ	1	室内光合、蒸腾及呼吸作用测定,并可与 WALZ 公司其他仪器联用实现同步测定。
2	双通道 PAM-100 测量系统	Dual-PAM-100	德国 WALZ	1	同步测定光系统 II 和 P700 活性,两个光系统的电子传递动力学、电子载体库的大小、围绕 PSI 的环式电子传递动力学及跨膜质子动力势等功能测定
3	调制叶绿素荧光成像系统	Imaging-PAM(或 Imaging-PAM 3D)	德国 WALZ	1	含大探头和微探头,对样品叶绿素荧光参数成像分析,用于光合突变株筛选及植物病理学研究。
4	叶绿素荧光远程监测系统	MONITORING-PAM	德国 WALZ	1	野外连续监测作物的叶绿素荧光参数,跟踪其生理状态变化
5	便携式调制叶绿素荧光仪	PAM-2500	德国 WALZ	1	野外便携测定植物叶片叶绿素荧光参数;

6	手持式植物光合作用测定系统	CI-340	美国 CID	1	野外便携测定田间植物的光合、呼吸、蒸腾作用。
7	手持式激光叶面积仪	CI-203	美国 CID	1	便携式快速测定植物叶片形态参数。
8	数字植物冠层图像分析仪	CI-110	美国 CID	1	野外便携式快速测定植被冠层结构，计算叶面积指数等。
9	大型植物培养箱	Conviron	加拿大 Conviron	1	培养植物，精确控制温度、湿度、光照和 CO2
10	痕量植物乙烯气体监测系统	ETD	荷兰 SensorSense	1	室内精确测量植物个器官释放的痕量乙烯气体
11	便携式乙烯气体分析仪	F-900	美国 Felix	1	业务便携式测量植物释放的乙烯气体
12	便携式叶绿素仪	SPAD 502 PLUS	日本 Minolta	3	快速测定作物叶片叶绿素相对含量
13	便携式植物水势压力室	3115	美国 SEC	1	快速测定植物叶片及茎干水势。
14	手持式高精度作物冠层红外测温仪	61104	美国 Agri-Thermal	2	快速便捷测定植物冠层叶片温度及与环境温度差
15	植物茎流测定系统	Crop Sap	澳大利亚 DT	1	长期监测植物茎干茎流的变化动态
16	根系分析系统	WinRHIZO Pro LA2400	加拿大 Regent	1	测定离体根系的形态结构、拓扑结构等
17	植物根系生长监测系统	CI-600	美国 CID	1	长期监测植物根系的生长动态及周转速率。
18	植物根系 X-光扫描成像分析系统	RootViz FS	美国 Phenotype Screening	1	测定可控条件下植物根系的整体三维结构及实时的生长动态。
19	植物 CT 三维成像系统 CT HTS	CT HTS	德国 WALZ		专门用于植物研究的 CT 三维成像系统，可对土壤中的根茎、种子、茎秆等部分进行三维成像分析，无需专业的图像处理知识，可获取形态学以及内部性状信息
20	便携式土壤养分测定仪	SK-500	英国 Palinstest	1	便携式快速测定土壤中矿质营养元素含量。
21	全自动间断化学分析仪	CleverChem	德国 Dechem-Tech	1	精确测定土壤、营养液或植物体内的各种矿质营养元素含量
22	便携式高精度土壤水分测量系统	MiniTrase	美国 SEC	1	便携式高精度快速测定各种类型土壤的体积含水量。
23	土壤多参数测定仪	Hydra	美国 Stevens	1	测量土壤水分、电导率、盐度和土壤温度数据等多种参数，同时提供无线

					版本
24	压力膜仪	1500F1/1600	美国 SEC	1	测定土壤水分特征曲线, 便于通过土壤体积含水量快速获取土壤水势。
25	土壤重金属分析仪	Innov-X	日本 Olympus	1	快速、高精度测定土壤中的重金属
26	数显型土壤紧实度仪	SC-900	美国 Spectrum	1	快速测定土壤紧实度
27	土壤原位 pH 计	pH400	美国 Spectrum	1	原位便捷测定土壤 pH 值
28	便携式土壤盐分计	2265FS	美国 Spectrum	1	直接测定土壤、水和有机溶液的电导率, 从而获取盐分浓度。
29	生态环境监测系统	Eco-watch	澳大利亚 DataTaker	1	长期连续监测土壤、植物生长、气象等各个要素的变化动态。
30	高通量全自动化种子处理系统	Seed Picker	德国 LemnaTec	1	利用机器人视觉识别技术, 可全自动将批量种子分粒拣到发芽床或 96 微孔板上, 全程自动化, 无需人工。用于种子 DNA 提取, 发芽率实验, 小植株移取和表型研究
31	种子成熟度分析仪	SA-10	荷兰 Fytagoras	1	种子成熟度、完整度和抗病性
32	种子活力测定仪	Q2	荷兰“Callas”	1	种子活力测量分析, 每 15 分钟最多可一次性检测 1536 颗种子活性!
33	种子性状自动分析系统	SAGA	法国“ALCI”	1	高通量分析种子形态特征、发芽速度和发芽率, 兼容 Jacobsen 发芽床
34	植物 CT 三维成像系统	CTportable	德国“WALZ”	1	利用 CT 技术测量种子内外部结构
35.1	台式植物成像系统	Scanalyzer PL-I	德国 “LemnaTec”	1	利用 PL 可对种子形态分析和幼苗形态特征分析
35.2	实验室 3D 植物成像系统	PL-II PhenoBOX	德国 “LemnaTec”	1	自动化对植物表型结构、叶片形态、植物生理如水分分布、温度等的变化进行分析
36	实验室型高通量植物表型平台	Scanalyzer HTS	德国 “LemnaTec”	1	高通量对种子形态分析和幼苗形态特征分析, 同时可对种子含水率的变化进行分析
37	便携式植物表型平台	KeyBox	荷兰 “KeyGene”	1	可计算种子萌发率和分析幼苗形态特征
38	种芽和针叶图像分析系统	WinSEEDLE	加拿大 “Regent”	1	可自动对种子和针叶的图像进行分析

39	种子密度筛选仪		荷兰 “Hoopman”	1	荷兰“Hoopman”种子密度筛选仪
----	---------	--	-----------------	---	--------------------

7.3 产品详细资料

7.3.1 便携式光合-荧光测量系统 GFS-DUAL

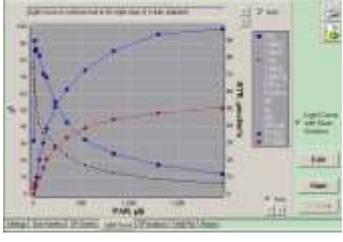


图 7-1 便携式光合-荧光测量系统



- 高精度 4 通道绝对 NDIR 气体分析器 (CO₂ 和 H₂O 各 2 个通道), 数据测量更加准确、稳定
- 可测量净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、水气压饱和亏、胞间 CO₂ 浓度等等指标
- 大屏幕触摸式显示器, 带背景光, 可在所有环境下清楚显示
- 出色的温度控制 (从低于环境温度 10℃ 到 +50℃)
- 整合式干湿双重湿度控制系统, **加湿系统可以避免干旱区由于气孔关闭引起的测量误差**
- 外置过滤器, 方便更换
- 外置流量计, 方便检查夹住叶片后叶室是否密封
- 多种叶室可选, 野外更换极其方便
- 3 个 PAR 探头, 分别跟踪记录环境 PAR、叶片正面 PAR 和叶片背面 PAR, **在世界上第一次可以同步测量叶片正面和叶片背面光合产量, 避免了忽略叶片背面光合产量造成的误差**
- CO₂ 小钢瓶气密性极佳, 一次未用完可完全密闭以待后续使用
- 可与荧光附件连用, 可与 Junior-PAM, MINI-PAM、MINI-IMAGING-PAM 连用
- 多种方式同步同步测量气体交换和叶绿素荧光、P700 活性
- 在自然光下 (完全不遮荫) 同步测量气体交换和叶绿素荧光
- 同步测量气体交换和全叶片荧光成像
- 同步测量气体交换和叶绿素荧光、P700 活性

7.3.2 双通道 PAM-100 测量系统 DUAL-PAM-100

	<ul style="list-style-type: none"> ● PS I 和 PS II 的光化学量子产量 ● 叶绿素荧光淬灭参数 ● 系统间电子传递动力学 ● 系统间电子载体库的大小（特殊的 ST/MT 方法） ● 围绕 PS I 的环式电子传递动力学 ● PS I 和 PS II 能量传递的光响应曲线 ● 荧光快速上升相（线性时间和对数时间） ● 测量 PQ 库的还原态 ● 测量光系统 II 的吸收截面积 ● 通过测量 P515/535 信号变化测量跨膜质子动力势 pmf 及其组分跨膜质子梯度 ΔpH 和跨膜电位 $\Delta \psi$ ● “P515Flux” 信号能原位反映活体样品处于稳态的偶联电子和质子的流动速率 ● 可以与 GFS-3000 联用，实现植物光合作用、蒸腾作用、叶绿素荧光参数及 P700 活性的同步测定
<p>图 7-2 双通道 PAM-100 测量系统</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> ● 一个主机可连接四种不同版本的探头，满足从单细胞到全叶片，从分子生物学到生态学研究的全面需要。 ● 采用能够发出超强 PAR 的蓝光 LED，保证待测叶片上任何一点所接受到的光强是完全相同的； ● 17 个叶绿素荧光参数的成像分析； ● 全叶片光合作用分析 ● 同时测量多个样品，幼苗期可同时测量上百个 ● 特别适合于抗旱突变株的快速筛选：农作物幼苗、小植株、愈伤组织等，培养在平板上。小麦等禾本科植物，可以在出苗后，将大探头横向放置，与小麦幼苗呈 90 度角测量） ● 平板培养、人为设置不同水分梯度、盐分梯度等，用于抗旱、抗盐突变株的快速筛选 ● 人为接种各种不同的植物病菌，用于快速筛选抗病植物 ● 可进行深入的植物病理学研究 ● 植物表型：叶片形态和莲座形态参数，测量植株叶片数，角度，常态，形状，面积，莲座形态，结构，总面积，莲座周长
<p>图 7-3.1 调制叶绿素荧光成像系统</p>	
	
<p>图 7-4.2 调制叶绿素荧光 3D 成像系统</p>	

7.3.3 调制叶绿素荧光成像系统 Imaging-PAM

	<ul style="list-style-type: none"> ● 一个主机可连接四种不同版本的探头，满足从单细胞到全叶片，从分子生物学到生态学研究的全面需要。 ● 采用能够发出超强 PAR 的蓝光 LED，保证待测叶片上任何一点所接受到的光强是完全相同的； ● 17 个叶绿素荧光参数的成像分析； ● 全叶片光合作用分析 ● 同时测量多个样品，幼苗期可同时测量上百个 ● 特别适合于抗旱突变株的快速筛选：农作物幼苗、小植株、愈伤组织等，培养在平板上。小麦等禾本科植物，可以在出苗后，将大探头横向放置，与小麦幼苗呈 90 度角测量） ● 平板培养、人为设置不同水分梯度、盐分梯度等，用于抗旱、抗盐突变株的快速筛选 ● 人为接种各种不同的植物病菌，用于快速筛选抗病植物 ● 可进行深入的植物病理学研究 ● 植物表型：叶片形态和莲座形态参数，测量植株叶片数，角度，常态，形状，面积，莲座形态，结构，总面积，莲座周长
<p>图 7-3.1 调制叶绿素荧光成像系统</p>	
	
<p>图 7-4.2 调制叶绿素荧光 3D 成像系统</p>	

7.3.4 叶绿素荧光远程监测系统 Monitoring-PAM



图 7-5 叶绿素荧光远程监测系统

- 多个叶绿素荧光探头集成到数据采集器上，对植物的光合生理进行无人值守、长期、连续监测
- 太阳能供电，数据远程无线传输
- 利用每天凌晨测量的 F_o 和 F_m 计算一天中的淬灭系数变化
- 可以集成测量气象、植物、土壤、水质等指标
- 整套系统全防水设计，适合于全天候野外测量
- 测量参数： F 、 F_m' 、 F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 、 $Y(II)=DF/F_m'$ 、 $rETR$ 、 qP 、 qL 、 qN 、 NPQ 、 $Y(NPQ)$ 、 $Y(NO)$ 、 PAR 和 T 等参数
- 叶绿素荧光探头数目：1-30 个（根据客户需求定制）
- 数据采集器：标准 16 个模拟通道（可扩展），18 位分辨率，最大采样频率 25 H 组，包括 SDI-12 传感器输入通道，内存 32 MB（约 5 000 000 个数据点），带 RS232 接口，可用 U 盘下载数据。
- 工作环境：环境温度 $-5-50^{\circ}C$ ，相对湿度 $0-90\%$
- 供电：12 V / 65Ah 充电电池组，20 W 太阳能板

7.3.5 便携式调制叶绿素荧光仪 PAM-2500



图 7-6 便携式调制叶绿素荧光仪

- PAM-2500 是全球最畅销的调制荧光仪 PAM-2000 的升级版，既可连电脑操作，也可单机操作。其强大优势在于快速、可靠的在野外现场测量植物的光合作用。
- PAM-2500 特别适合于在盆栽、温室和大田水平上研究干旱胁迫对作物光合作用的影响，以及快速诊断作物是否受到胁迫。
- 仪器特有的 RLC 快速光曲线功能，可以在一定时间内（如 1 到 2 小时内）做多个平行或对照实验，现场给出植物有关胁迫方面的光合数据。同时可以研究植物光合作用的日变化，即时提供有关灌溉决策的生物信息。测量荧光诱导曲线、快速光曲线、淬灭分析、弛豫分析等
- 可自编程测量
- 带曲线拟合功能
- 可测量快速诱导动力学
- 测量参数： F_o 、 F_m 、 F 、 F_o' 、 F_m' 、 F_v/F_m 、 $Y(II)$ 、 qL 、 qP 、 qN 、 NPQ 、 $Y(NPQ)$ 、 $Y(NO)$ 、 ETR 、 C/F_o 、 PAR 和叶温等
- 一秒钟一个数据：**yeild**,实时反映作物的光合生理情况（**实际光合能力、实际光合效率**）。当植物受到干旱胁迫（Stress）时， F_v/F_m 显著下降。

7.3.6 手持式植物光合作用测量系统 CI-340

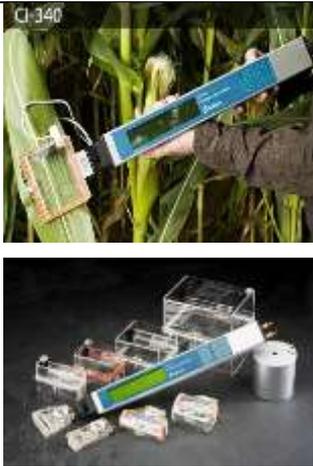


图 7-7 手持式光合作用测量系统

- 全部系统集成于一个手持式的机盒内
- 重量轻（含叶室和电池仅重 1.5kg）
- 具有闭路测量方式，精确测量微弱光合、呼吸
- 9 种可更换叶室，适合不同类型的叶片
- 可测量土壤呼吸或植物的群体光合
- 可选控光、控温、控制 CO₂/H₂O 模块和叶绿素荧光部件
- 利用红外方式非接触式测量叶片温度
- 同步测量气体交换与叶绿素荧光
- CO₂ 测量：0~2500 ppm，分辨率 0.1 ppm
- H₂O 测量：0~100% rh
- 温度测量：低于环境温度 10℃ ~ +50℃
- PAR 测量：0~2500 μmol m⁻² s⁻¹

7.3.7 手持式激光叶面积仪 CI-203



图 7-8 手持式激光叶面积仪

- 利用先进的激光技术来进行叶面积分析，测量指标包括叶片的面积、宽度、长度、周长、形状因子和长宽比等信息。
- 形状因子可用于快速区分不同品种间的叶片形态差异
- 测量范围：长 3m、宽 150 mm、厚 25 mm
- 分辨率：0.1mm²
- 精度：±1%（样品面积大于 10 cm² 时）
- 扫描速度：400 mm/s
- 连续工作 15 h 以上
- 重量：910 g

7.3.8 数字植物冠层图像分析仪 CI-110



图 7-9 数字植物冠层图像分析仪

- 快捷测定植物冠层指标，如叶面积指数、太阳光透光度、冠层空隙率、叶片平均倾角、植物冠层消光系数等指标对于了解植物生理状态、植物-大气界面过程具有重要价值。
- 仪器轻便、操作简便、测量灵活，可以非破坏性的测量冠层数据
- 现场屏蔽、躲开影响冠层数据计算结果的人影、天空等无用影像
- 软件带有 GPS 数据显示功能
- 图像和数据可以储存在 UMPC 数据终端处理器里，便于以后继续进行分析研究
- 鱼眼镜头：视角 180°、150°，可调焦距
- 总重量：0.5 kg

7.3.9 大型植物培养箱 Conviron



图 7-10 大型植物培养箱

- 精确控制温度、湿度、光照、CO₂ 等环境参数
- 客户需求定制化设计
- 通过以太网远程访问和控制
- 通过 E-mail 和短信可以将信息发送到手机
- 在客户自己的电脑上监测数据，通过轻点鼠标查看和获取每个培养箱的数据
- 光强可达 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

7.3.10 痕量植物乙烯气体监测系统 ETD



图 7-11 痕量植物乙烯气体监测系统

- 全球检测限和灵敏度最高的植物乙烯测量系统
- 最适合超高灵敏度测量，特别是连续监测
- 测量技术：激光声学技术
- 测量范围：0-5 ppm
- 检出限： 0.3 ppb（利用特殊测量模式可检出 ppt 级的乙烯）
- 精度： <1%读数或 0.3 ppb
- 空气流量： 0.25-5 L/h
- 测量时间： 5 s
- 响应时间： 30 s（当流量为 1 L/h 时）

7.3.11 便携式乙烯气体仪 F-900



图 7-12 便携式乙烯气体分析仪

- 全球第一套专为植物设计的野外便携式乙烯气体分析仪
- 实时、定时精密测量植物不同器官释放的乙烯浓度
- 采用专利工艺技术纳米多孔金膜传感器
- 灵敏度高，可测量 10 ppb 的乙烯浓度
- 适用于植物逆境/胁迫研究、植物生长、种植、储藏加工、生产诊断等领域

7.3.12 植物多酚测量系列产品

 <p>图 7-13-1 植物多酚-叶绿素测量计 DUALEX SCIENTIFIC+</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 测量光源：5 个 LED:1 个紫外光，1 个绿光，1 个红光和 2 个近红外光（NIR） ● 检测器：1 个硅光二极管 ● 测量参数：4 种测量参数 <ul style="list-style-type: none"> Chl: 叶绿素指数 Flav: 类黄酮指数 NBI: 氮平衡指数 Chl/Flav 比值 Anth: 花青素指数 ● 位置参数：内置 GPS
 <p>图 7-14-2 便携式紫外-可见光荧光仪 MULTIPLEX RESEARCH</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 测量样品：叶片、果实、种子、花等任何植物样本 ● 测量参数：12 种荧光信号 <ul style="list-style-type: none"> NBI: 氮平衡指数 SFR_R and SFR_G:叶绿素指数 Flav: 类黄酮指数 Anth: 花青素指数 ● 测量方法：非接触式测量，可在不直接接触材料的情况下测量 ● 测量光源：LED（脉冲）；4 个激发通道：UV,蓝、绿和红 ● 检测器：硅光二极管；3 个检测通道：黄（蓝），红和近红外 ● 位置参数：内置 GPS
 <p>图 7-12-3 植物早期病害检测荧光仪 MULTIPLEX330</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 测量样品：任何植物样品：叶片、果实和种子 ● 测量参数：9 种荧光信号，可根据需要定制 <ul style="list-style-type: none"> BF_UV:紫外光发的蓝色荧光（植物抗毒素） ANTH:花青素（胁迫） FLAV:类黄酮（光保护） SFR_R and SFR_G:叶绿素指数（黄化病） 根据实际需要，可以定制测量参数 ● 测量光源：LED（脉冲），3 个激发通道：UV,绿和红 ● 检测器：硅光二极管，3 个检测通道：蓝，红和红外

7.3.13 便携式植物水势压力室 3115 型



图 7-15 便携式植物水势压力室

- 植物水势的测量对于了解水分在植物中的传输以及土壤—根系、植物-大气界面过程研究具有重要价值。利用压力室测量植物的水势的方法既快速又准确。测量时将一片叶子或茎秆或根放置在样品室中，切口一端通过固定装置露在外面。给样品室加压，直到压力超过植物材料的张力，体液开始从切口流出，这一压力可以直接从压力表中读出。
- 自带一个压力气罐，可便携式野外使用。硬木样品准备台可安装到重型铝底盘上。3005 压力室一般可提供 0—40 bar 或 0—80 bar 的压力，可用于测量宽度达到 2.5 cm 的批针形叶子，或直径 0.08 cm—1.27 cm 的圆形/茎秆/叶子/叶柄/叶脉/根。

7.3.14 手持式高精度作物冠层红外测温仪 61104



图 7-16 手持式高精度作物冠层红外测温仪

- 非接触式手持红外测温仪，用来测量植物叶片、牧草表面的温度。测量目标红外温度、周围干球空气温度或者两者之间的差量（美国专利号：4301682）
- 测量范围：-40℃-100℃（或从-40°F 到 212°F）
- 精确度：±0.25℃（0~50℃）；
- ±0.5℃（-40℃~0℃ & 50~100℃）
- 分辨率：0.1℃（或 0.1°F）
- 噪音影响<0.1℃ or °F
- 测量波长：8 < Wavelengths

7.3.15 植物茎流测定系统 Crop SAP



图 7-17 植物茎流测定系统

- 直接测量植物茎流量来确定植物的水分消耗（蒸腾）
- 长期监测植株每时每刻的茎流变化动态
- 探头功耗：Min 0.05W；Max 0.5W；
- 数据采集器精度：<± 1.0%；
- 茎流探头缆线长度：最大 30.5 米；
- 数据采集内存：4 M；
- 显示：LCD 液晶显示；
- 电池组：12V，70Ah 铅酸电池，供电时间由探头类型和数据采集间隔决定。
- 不同径级的植株需要不同型号和尺寸的茎流传感器探头

7.3.16 根系分析系统 WinRHIZO Pro LA2400

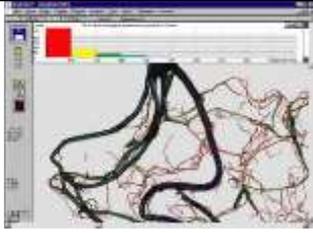


图 7-18 根系分析系统

- 用于洗根后获取根系扫描图像，进行根系分析，扫描面积 $31 \times 42 \text{cm}$;
- 可分析根系长度、直径、面积、体积、根尖计数、根系颜色分析、根系连接分析、根系拓扑分析、根系分级伸展分析
- 利用专门的双光源照明系统，去除了阴影和不均匀现象的影响，有效提供高分辨率的彩色图像或黑白图像
- 采用非统计学方法测量交叉重叠部分根系长度等参数

7.3.17 植物根系生长监测系统 CI-600

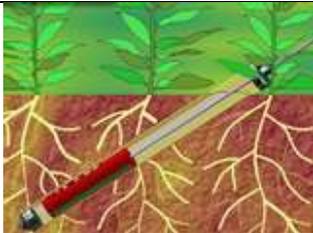


图 7-19 植物根系生长监测系统

- 微根窗技术对野外原位生长的植物根系生长动态进行长期监测
- 首先在土壤中埋设透明根管，然后定期将扫描头插入根管中进行“原位 360 度多层次旋转式扫描”，扫描结果利用根系分析软件进行专业分析，并可不同深度、不同时间获得的图片进行拼接，对根系进行时空变化分析。
- 不干扰根系的生长、根角测量准确、可动态监测、可获得根系在土壤中的原位分布信息等。
- 扫描头分辨率：最大 1200 dpi 或 188 兆像素
- 单图尺寸：21.56 x 19.56 cm
- 扫描速度：5-15 s
- 根管尺寸：内径 6.4 cm，长度可定制
- 测量参数：根长、表面积、投影面积、体积、平均直径、数目、根角等等

7.3.18 植物根系 X-光扫描成像分析系统 RootViz FS



图 7-20 植物根系 X-光扫描成像分析系统

- 全球第一款为植物根系拍摄 X-光照片的系统
- 获得 2007 年美国 R&D100 大奖 (“发明界的奥斯卡奖”) 产品;
- 原位、非破坏的研究植物根系
- 全方位分析植物根系所有部分
- 长期监测植物根系的生长动态
- 大容量、高效率、高精度的获取根系信息
- 大批量快速筛选根系突变株
- 完全可控条件下进行根系的生理、病理研究
- 精确的三维调节工作台: 精度达 25 微米;
- 速度: 平面图 25 株/h
- 范围: 最大根长 0.6m; 最大高度 2.1m;
- 分辨率: 2000×2048 像素

7.3.19 植物 CT 三维成像系统 CT Lab



图 7-21 植物 CT 三维成像系统 CT Lab

实验室植物 CT 成像系统广泛应用于植物对植物根系、茎杆的内部结构变化的研究。可以无损地探索土壤中不同植物的根系变化,也可以测量茎杆的 3D 结构。

- 旋转台: $n \times 360^\circ$
- 成像速度: 5min/盆
- 活动面积: 145 x 114 mm
- 分辨率: 约 2940 x 2304 像素
- 测量分析体积 (3DCT): 体素: $50\mu\text{m}@\text{直径} < 114 \text{ mm} * \text{高度} < 145 \text{ mm}$
- 同步图像采集及 3D 重建, 实时处理 3D 数据生成三维显示
- 可视化数据层
- 利用直方图、本地统计、手动图像、灰度值分布、查询表、测量工具等手动图像分析

7.3.20 便携式土壤养分测定仪 SK-500



图 7-22 便携式土壤养分测定仪

- SK500 配置: 10 型土壤检测光度计 1 台, 用于 pH、石灰需要量、硝酸盐氮、磷酸盐、钾、电导率、钙、镁、铝、氨氮、铜、氯化物、铁、锰、硫化物检测的试剂各 50 次, 袖珍式 pH 计和电导率/TDS 计各 1 支

7.3.21 全自动间断化学分析仪 CleverChem 380



图 7-23 全自动间断化学分析仪

- 多参数同时分析，一次性可以同时测定 119 个样品的多个参数；
- 一次可分析的样品量多，分析速度快，分析速度最高可达 350 个样/小时；
- 结果准确，稳定，数据可靠，分析方法符合 GB、ISO 及 EPA；
- 自动化程度高，实现自动取样、自动取试剂、自动稀释超标样品、自动制作标准曲线、自动清洗比色皿、自动光学测试，一键启动全程自动分析。
- 长远分析成本低，使用全自动间断化学分析仪不仅分析速度快、结果精确，同时由于配置有高精度微量取样器，取样量为 1-900 μL ，试剂量为 1-450 μL ，减少了样品和试剂的消耗，所用试剂仅是传统化学法的 1/20-1/30，所有试剂都可采用国产试剂，极大节约试剂成本。
- 实验室安全，所有测量过程均由仪器完成，最大程度上减少使用者接触化学试剂的机会；同时由于仪器配备废液传感及收集系统，可防止有毒有害气体的溢出，保证了操作者的人身安全，也降低了实验对分析环境的污染。

7.3.22 便携式高精度土壤水分测量系统 MiniTrase

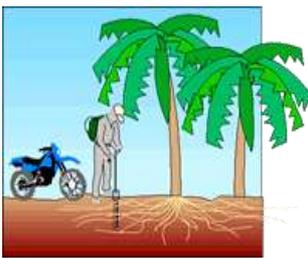


图 7-24 便携式高精度土壤水分测量系统

- 采用目前最成熟的土壤水分测量技术 TDR（时域反射法），高精度测量土壤水分变化，可适用于普通农田土壤及高盐碱等土壤环境，并可实现长期监测土壤含水量变化。
- 测量范围： 0~100%
- 高脉冲信号: 3GHz
- 单机记录 TDR 波形图, 连接电脑可查看波形图
- 标配内存: 256KB, 可选 4Mb 内存板可存贮大于 3900 幅图或 122880 个读数
- 原理: TDR 原理, 测量一定体积的土壤或其他介质的含水量
- 测定速率: 15 秒/次, 可立刻读数, 也可贮存备以后使用
- 脉冲类型: 步进式脉冲法
- 分辨率: $\pm 2\%$, 采样分辨率: 1200 点
- 波导管类型: 直插式、可埋式和 Slammer 重型波导管
- 总线类型: 即插即用
- 包装设计: 便携式设计
- 防护等级: 铝防水外壳

7.3.23 压力膜仪 1500F1/1600



图 7-25 压力膜仪

- 实验室内测定土壤水分特征曲线最经典最准确的解决方法
- 将土样放入压力膜仪中，外加一定压力，可压出低压下保持在土壤中的水分，用以测定土壤保水特性；
- 通过在几个不同压力下的样品分析，可确定土壤含水量与压力之间的关系，即土壤水分特征曲线
- 可通过便携快捷测定土壤体积含水量得出土壤水势，以判断土壤中水分的能量状态及流动方向；
- 配置包括 15bar 压力提取器和 5bar 压力提取器，同时快速测定土壤样品：

7.3.24 数显型土壤紧实度仪 SC-900



图 7-26 数显型土壤紧实度仪

- 测量范围：0-7000kPa (0-1000PSI)
- 分辨率：2.5cm, 35kPa (5PSI)
- 测量精度：1.25cm, ± 103 kPa (15PSI)
- 测量深度：450mm
- 电池寿命：大约 1 年
- 可存储 772 个数据（接 GPS 时可存储 579 个数据）
- RS232 接口，标准数据输出
- 数据采集软件操作需在英文 Windows 系统下进行。

7.3.25 土壤原位 pH 计 pH400



图 7-27 土壤原位 pH 计

- 简单实用，可方便地原位测量土壤 pH 值。
- pH 分辨率：0.01
- pH 精确度： ± 0.01
- pH 校准：支持 1 点校准和 2 点校准
- 自动温度补偿
- 温度精确度： $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- 温度分辨率： 0.1°C
- 温度量程： $-5\sim 120^{\circ}\text{C}$
- 手动存储测量值数量：最大 10

7.3.26 便携式土壤多参数测量

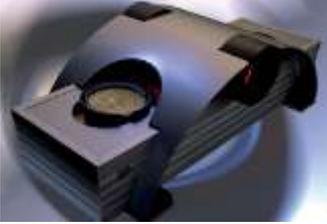
 <p>图 7-28-1 便携式土壤盐分计 2265FS</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 直接测量土壤、水和有机溶液的电导率，从而获知土壤盐分。 ● LCD 显示 ● 测量范围：0.00~19.99mS/cm ● 温度范围：-5~50℃；工作环境温度：0~50℃ ● 测量精度：EC ±2% FS；温度：±0.5℃ ● 分辨率：0.01mS/cm ● 温度补偿：0~50℃ ● 单点 2.76 mS/cm 标定 ● 电源：4 个 LR44 1.5V 电池
 <p>图 7-29-2 土壤多参数测定仪 Hydra</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 介电常数：量程：1-78（1 是空气，78 是蒸馏水）；精度：±1.5% ● 土壤水分：量程：从极干到完全饱和；精度：±2.0%或 0.005 S/m ● 电导率：量程：0.01~1.5 S/m；精度：±2.0%或 0.005 S/m ● 土壤温度：量程：-10~65℃；精度：±0.1℃
 <p>图 7-30-3 土壤重金属分析仪 DP4000</p>	<p>激发源：大功率高性能微型直板电子 X 射线管</p> <p>探测器：30mm² SDD 硅漂移探测器</p> <p>冷却系统：Peltier 恒温冷却系统，可-35° C 下工作</p> <p>滤波器：高性能 8 个滤波片可自动切换</p> <p>电压：15kV~40kV 多段可选择的电压</p> <p>电池：2 个锂电池，具有热插拔功能，更换电池是无需关机</p> <p>显示屏：一体化工业设计，坚固、防尘、防水；高分辨率 Blanview 透射背光彩色触摸屏</p>

7.3.27 生态环境监测系统 Eco-Watch

	<ul style="list-style-type: none"> ● 上海市高新技术成果转化产品 ● 定制化集成气象、植物、土壤、地下水监测指标（SPAC 水文循环研究） ● 全防水设计，适合于野外全天候条件下工作 ● 太阳能供电 ● 数据远程无线传输 ● 可定制化集成的部分传感器（包括但不限于）：风速、风向、空气温湿度、气压、总辐射、光合有效辐射、净辐射、紫外辐射、CO₂、降雨量、蒸发、叶片温度、光合作用、植物茎流、茎杆/树干/果实生长、土壤水分、土壤水势、土壤氧气、土壤温度、土壤盐分、土壤热通量、土壤蒸散、水位、水温、pH、电导率、溶解氧、浊度等等。
<p>图 7-31 生态环境监测系统</p>	

7.3.28 种子处理与分析

	<ul style="list-style-type: none"> ● 利用机器人视觉识别技术，可全自动将批量种子分粒拣到发芽床或 96 微孔板上，全程自动化，无需人工 ● 用于种子 DNA 提取，发芽率实验，小植株移取和表型研究 ● 高准确度，通过可视系统和质量控制系统进行监控整个过程 ● 完全定制化服务，根据需求，进行硬件等整合，适应个性化研究 ● 软件兼容性和可扩展性，能进行二次开发，兼容新硬件
<p>图 7-28-1 高通量全自动化种子处理系统 Seed Picker</p>	
	<p>便携式植物 CT 成像系统广泛应用于对植物种子、小型果实内部结构变化的研究。可以无损地探索不同植物种子腔体、胚和胚乳的变化，测量种子内部的三维结构和小型果实的内部变化。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 中分辨率体素 35μm&高分辨率体素 18μm ● 可 360 度旋转拍摄样品 ● 加速电压：50 keV ● 发射电流：1000 μA ● 焦点尺寸：< 50 μm ● 间接转换 X 射线探测器 ● 分辨率：1024 x 1024 像素 ● 放大率：1.3—2.7 ● 同步图像采集及 3D 重建 ● 设备自带 X 光屏蔽层，安全可靠
<p>图 7-28-2 便携式植物 CT 三维成像系统 CT Portable</p>	

 <p>图 7-28-3 种子成熟度分析 SA-10</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 激发光源：670 nm ● 检测器：光电二极管检测器，波峰 730 nm ● 荧光测量：在培养皿转动过程中，每个培养皿自动测量 3000 次 ● 测量时间：45-60 秒 ● 电脑：内置，带 4 个 USB 接口和 1 个网线接口，外接 21 寸显示器 ● 数据传输：USB，或通过网络传输
 <p>图 7-28-4 种子活力测定仪 Q2</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 测量范围：0-100% O₂ ● 精度：0.0001 ppm ● 传感器至样品盖距离：0-50mm ● 可自动测量 48/96 孔板或 48 微管中种子在萌发过程中的新陈代谢。 ● 通量：每 15 分钟最多可一次性检测 1536 颗种子活性（耗氧情况） ● 测量参数：自动生成耗氧曲线，可获得萌发启动时间（IMT）、氧气消耗速率（OMR）、临界氧气压强（COP）、理论萌发时间（RGT）、温度等

7.3.29 种子性状自动分析系统 SAGA

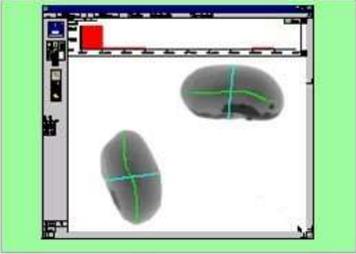
 <p>图 7-29 种子性状自动分析系 统</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 数据储存于数据库中，所有图片可按时间分类以元数据的形式存储 ● 可根据用户对照片的定义，分类提取数据并以表格形式呈现 ● 提供每个区域的照片（格式为 A5 至 A2） ● 温度控制精度为 1°C ● 无紫外辐射 ● 操作软件为可视化系统 <ul style="list-style-type: none"> ● SIEMENS S7-1200 自动化管理系统 ● 21 寸彩色 IHM 显示屏 ● 成像系统：三台高分辨率镜头
---	---

7.3.30 便携式植物表型平台 KeyBox

	<p>对植物体进行整株或器官（果实、种子、根系、叶片、幼苗等）的表型成像，根据图像信息获植株的生理生态信息。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 生物量测量 ● 形态大小测量 ● 种子萌发测量 ● 叶片大小测量 ● 瓜果性状分析
---	--

图 7-30 便携式植物表型平台	<ul style="list-style-type: none"> ● 玉米棒性状分析 ● 叶片病害性状分析 ● 芽橄榄性状分析
------------------	--

7.3.31 种芽和针叶图像分析系统 WinSEEDLE

 <p data-bbox="231 766 587 855">图 7-31 种芽和针叶图像分析系统</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 个体的投影面积和表面积，总投影面积和总表面积，以及平均投影面积和平均表面积 ● 个体的实际长度和直线长度(针叶两端间)，整体的平均长度 ● 最大宽度和平均宽度 ● 个体的曲率，整体的平均曲率 ● 个体的体积，整体的平均体积 ● 疾病部位统计 ● 针叶计数 ● 种子测量范围：大于 0.8mm 直径 ● 数据分析，数据可视化软件以 ASCII 格式保存的数据 ● 针/种子长度，宽度，面积在测量过程中或在屏幕上显示的直方图
---	---

7.3.32 植物病理自动分析系统-APAS

 <p data-bbox="231 1518 673 1608">图 7-32 植物病理自动分析系统-APAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 基于先进视觉系统研发而成，APAS 可以快速检测植物病害 <p data-bbox="699 1108 798 1137">主要功能</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 坏死/孢子提取 ● 自动测量孢子数和表面积 ● 病斑占叶片表面积的百分比 ● 受伤/受损的区域 ● 健康区域的测量 ● 发病速率 ● 病斑密度。
---	---

7.3.33 种子处理干燥箱 Koenco

 <p>图 7-33 小型种子处理干燥箱</p>	<ul style="list-style-type: none">● 可通过干燥的热空气处理，杀灭种子中的病毒，从而大量生产脱毒种子。该仪器可对无法进行化学处理的种子或无法通过化学方法杀灭的病毒进行脱毒，例如黄瓜绿色斑点花叶病毒、烟草花叶病毒等。● 温控范围：30℃ -- 90℃
---	--

7.3.34 花粉质量分析仪 Ampha Z30

 <p>图 7-34 花粉质量分析仪 Ampha Z30</p>	<ul style="list-style-type: none">● 分析参数：细胞大小，细胞形态，样品浓度，细胞活性，细胞凋亡，细胞分化，非生物颗粒形态参数；● 检测目标：细菌，酵母菌（含孢子），动植物细胞，花粉，藻类；● 运行方式：支持在线监测及离线数据分析；● 粒径范围：15-250um；● 样品体积：50-800ul；● 测量时间：30-60s；● 测量速度：1000cell/s；● 测量浓度：10-10000cell/ul；● 测量流速：5-400ul/min；● 前期准备：收集待测细胞，缓冲液稀释，无需染色；
--	---

7.3.35 植物 LED 光照培养系统

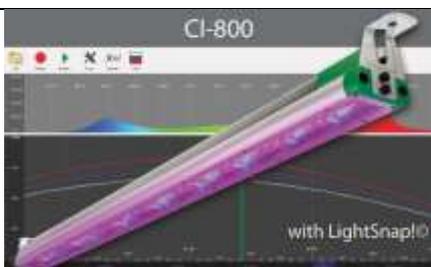
 <p>图 7-35-1 可控式 LED 植物光照系统 CI-800</p>	<ul style="list-style-type: none">● 功耗：200 瓦● 高功率因素：>0.95● PAR 输出：350 μ mol/m²/s(30cm 距离)● 光照覆盖面积达到 122cm×46cm(在 30.48cm 距离)● 光束角度：1100● 使用寿命：50000 小时
---	--



图 7-35-2 植物 LED 光照培养系统 LX601

- LED 数量：240 个；
- 光谱范围：C-Plate: 450nm、660nm、735nm、5700K, G-Plate: 450nm、660nm、5700K
- 光强：C-Plate 最大 862 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, G-Plate 最大 1011 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$;
- 连续控光性：0-100%;
- 建议照射高度：0.5m;
- 建议照射面积：1.44 m^2
- 其他要求可定制

7.3.36 台式植物表型成像系统 Scanalyzer PL



图 7-35-1 台式植物表型成像系统

- 多孔板成像时间：每次拍摄整块多孔板，4 s；每次拍摄 1/4 个多孔板，共需 20 s；每次拍摄 1/9 个多孔板，共需 40 s；每次拍摄 1/16 个多孔板，共需 80 s。
- 条形码读取系统：线性扫描模式，读取范围 50-300 mm，数据传输速率 300-57600 bit/s，扫描距离 300 mm。
- 可视角度（水平）：38°49'（广角端）~6°40'（远端）
- 最大光圈：1:1.8
- 光圈速度：4 s
- 可见光成像系统
- 分辨率：6579 x 4834 像素
- 图像传感器：2/3 英寸逐行扫描 CCD
- 最大帧率：17 帧/秒
- 可视角度（水平）：38°49'（广角端）-6°40'（远端）
- 可见光成像系统：分辨率：6579 x 4834 像素；图像传感器：2/3 英寸逐行扫描 CCD；最大帧率：17 帧/秒
- 近红外成像系统：分辨率：640 x 512 像素；图像传感器：1/2 英寸；像素大小：25 x 25 μm ；光谱范围：900-1700nm；最大帧率：30 帧/秒
- 红外（热）成像系统：分辨率：320 x 240 像素；图像传感器：uncooled microbolometer sensor NETD \leq 80 mK；光谱范围：红外成像 8~14 μm ；最大帧率：红外成像 40 Hz