

POTATO ECOLOGY AND MODELLING OF
CROPS UNDER CONDITIONS LIMITING GROWTH

气象因子 对马铃薯种植影响的研究

◎ [荷] A.J.Haverkort [英] D. K. L. MacKerron 编著

◎ 何英彬 罗其友 高明杰 译



中国农业科学技术出版社

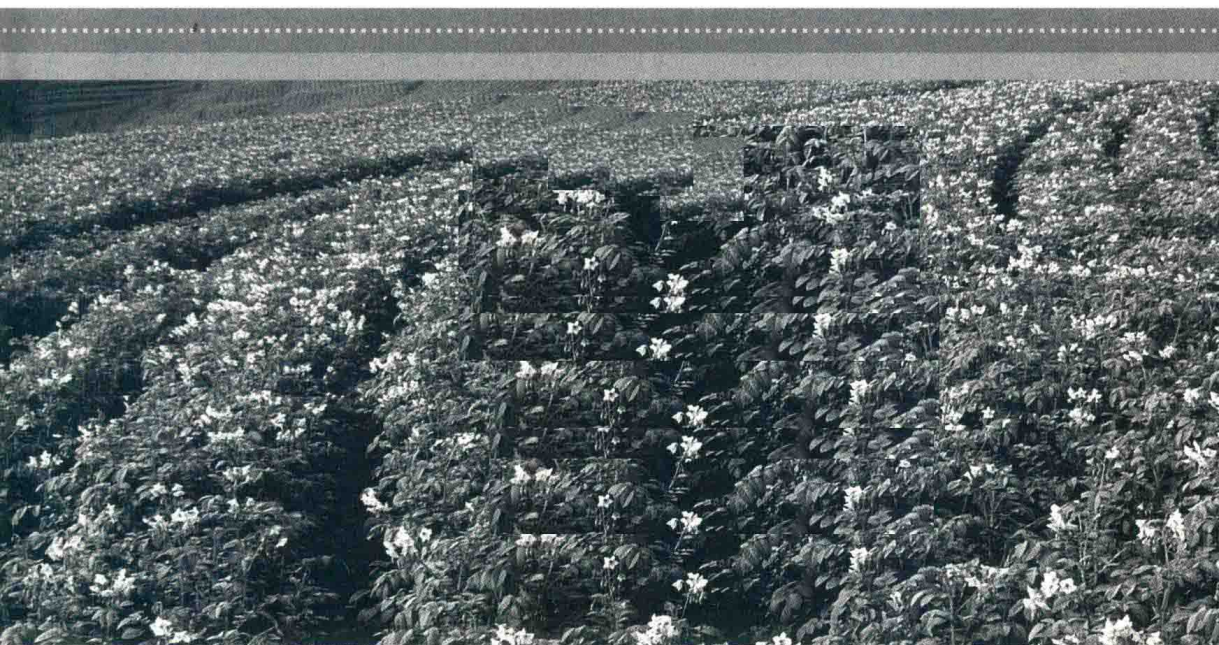
POTATO ECOLOGY AND MODELLING OF
CROPS UNDER CONDITIONS LIMITING GROWTH

气象因子

对马铃薯种植影响的研究

◎ [荷] A.J.Haverkort [英] D. K. L. MacKerron 编著

◎ 何英彬 罗其友 高明杰 译



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

气象因子对马铃薯种植影响的研究 / (荷) 哈文考特 (A. J. Haverkort), (英) 麦克凯文 (D. K. L. MacKerron) 编著; 何英彬, 罗其友, 高明杰译. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2016. 7

ISBN 978 - 7 - 5116 - 2674 - 5

I. ①气… II. ①哈…②麦…③何…④罗…⑤高… III. ①农业气象 - 影响 - 马铃薯 - 栽培技术 IV. ①S532

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 164488 号

All rights reserved

© 1995 Springer Science + Business Media Dordrecht

Originally published by Kluwer Academic Publishers in 1995

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1995

No part of the material protected by this copyright notice may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage and retrieval system, without written permission from the copyright owners.

著作权合同登记号: 图字 01 - 2016 - 5877

责任编辑 闫庆健 李冠桥

责任校对 贾海霞

出版者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010)82109704(发行部) (010)82106632(编辑室)
(010)82109703(读者服务部)

传 真 (010) 82106625

网 址 <http://www.castp.cn>

经销者 各地新华书店

印刷者 北京科信印刷有限公司

开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张 16.75

字 数 397 千字

版 次 2016 年 7 月第 1 版 2016 年 7 月第 1 次印刷

定 价 120.00 元

— 版权所有 · 翻印必究 —

前言

我国地域广阔，人口众多，是全球最主要的粮食生产与消费大国之一，粮食安全是我国国策中的头等大事。在人口数量不断增长、耕地总量基本稳定及饮食结构发生变化的情况下，我国粮食自给率已由 95% 下降到 87% 左右，如何提高我国粮食安全水平已经成为政府部门和学术界共同关注的重要议题。由于三大传统粮食作物增产空间有限，而马铃薯环境适应性强、耐旱耐贫瘠，与其他主要粮食作物相比，可以在更恶劣的自然条件下更快速地生产出更多富有营养的食物，因此，2015 年初，农业部将马铃薯列为我国第四大粮食作物，并启动了“马铃薯主粮化”工程。2016 年 2 月，农业部发布《关于推进马铃薯产业开发的指导意见》，为贯彻落实 2016 年中央 1 号文件精神和新形势下国家粮食安全战略部署、优化农业生产结构和区域布局奠定了基础。

马铃薯的生长环境主要受气候、土壤、水文及地形地貌等自然因素的影响，尤其是气候要素的波动对于马铃薯生长期生理状态及单产影响较大，因此，深入研究气象因子对于马铃薯种植的影响非常有意义。目前，国内科学界对于气候因素影响禾本科类粮食作物（如玉米、小麦、水稻）生长与单产的研究较为成熟，但是马铃薯相关领域的成果鲜见刊报。而作为茄科作物的马铃薯与禾本科作物从生理特征角度看有较显著的差异（如马铃薯果实或块茎生长在地下，而禾本科作物果实生长在地上），这些差异决定了以往有关禾本科作物的研究成果无法直接套用在马铃薯生长研究中；此外，气候因子如何影响块茎形成、膨大等关键问题的解决是马铃薯产量模拟的前提，而解决这一问题需要长期环控试验，我国在这方面的工作较为薄弱。国际上，马铃薯种植培育强国如荷兰、美国等相关研究成果极为丰硕，较有借鉴意义。因此，我们选择了由荷兰瓦赫宁根大学 Anton J. Haverkort 教授和英国邓迪大学 Donald K. L. MacKerron 教授联合主编的《Potato Ecology and Modelling of Crops under Conditions Limiting Growth》论文集进行编译。该论文集是 1994 年参加第二次国际马铃薯大会的 80 余位国际顶级马铃薯研究专家研究成果的集合，论文集最鲜明的特点是从微观

试验和宏观模拟两个角度较好地诠释了气候因子对马铃薯生理及产量的影响。这一成果对于后来马铃薯领域的研究产生了重大而又深远的影响。基于此，我们将其部分译成中文，供国内学者及大专院校师生开展相关研究参考，以图为马铃薯研究添砖加瓦。

由于译者英文及马铃薯业务知识水平有限，本书可能尚存不完善、不准确的文字表述，因此，我们真诚地希望广大学者、专家及博硕士能与我们多多交流，对本书的缺漏不足之处提出宝贵的建议和意见。愿携手为我国马铃薯研究更上层楼尽份微薄之力。

译 者

2016 年 7 月 29 日

译者简介



何英彬，中国农业科学院农业资源与农业区划研究所副研究员。2004—2005 年赴意大利海外农业研究所（IAO）学习，获得“3S 技术”与自然资源评价专业硕士学位；2006 年 9 月至 12 月赴日本国际农林水产业研究中心（JIRCAS）作访问学者；2008 年 12 月赴澳大利亚墨尔本作访问学者，从事土地适宜性评价研究；2014 年 5 月正式受聘于澳大利亚昆士兰大学，成为其农业遥感监测与预测领域的客座教授；2015 年 11 月，正式受聘于天津工业大学，成为其作物种植适宜性等研究领域的客座教授。曾多次出访澳大利亚、美国、日本、新加坡、加拿大、马来西亚等国家从事学术交流活动。此外，近年专注于马铃薯领域研究，而与国际马铃薯中心（CIP）开展了较为深入的互动与合作。先后主持国家自然科学基金青年基金、APEC 组织项目、中澳政府间合作项目、财政部专项、农业部专项等 10 余项；参加国家自然科学基金重点项目、科技部“973”课题、科技部国际合作重大项目、科技部国家科技支撑计划项目、科技部公益项目及平台项目 10 余项。以第一作者发表论文近 40 篇，SCI/EI 论文 10 篇；发表专著 2 部，以主编身份编著论著 3 部，参与编著论著 6 部；获得软件著作权 1 份；得奖 5 项。



罗其友，中国农业科学院农业资源与农业区划研究所研究员，博士研究生导师，中国农业科学院农业区域发展岗位杰出人才，农业布局与区域发展创新团队首席，国家马铃薯产业技术体系产业经济岗位专家，长期从事农业发展区域问题、马铃薯产业经济研究。



高明杰，中国农业科学院农业资源与农业区划研究所副研究员，主要从事农业布局与区域发展、产业扶贫等方面研究，主持和参与农业部、科技部、中国工程院、国家扶贫办等国家和省部级课题 10 余项，主编或参编著作 7 部。

目 录

第一章 马铃薯田间试验国际马铃薯中心准则·····	(1)
第一节 模拟模型输入数据田间试验获取准则·····	(1)
一、位置信息·····	(1)
二、试验设计·····	(2)
三、模型运行所需最少数据·····	(2)
第二节 物候参数数据田间试验获取准则·····	(3)
一、有效积温·····	(3)
二、冠层覆盖度·····	(4)
三、器官干重·····	(5)
参考文献·····	(8)
第二章 光周期和温度对马铃薯生理影响的研究·····	(10)
第一节 马铃薯各器官定义·····	(11)
一、植株、匍匐茎和块茎·····	(11)
二、芽系统·····	(12)
三、匍匐茎系统·····	(12)
四、块茎系统·····	(12)
五、种薯生长环境的影响·····	(14)
六、环境条件对种薯存储的影响·····	(14)
第二节 光温条件对茎和叶生长的影响·····	(15)
一、光温条件对茎数的影响·····	(15)
二、光温条件对叶片数和茎寿命影响·····	(15)
三、光温条件对叶片特性的影响·····	(16)
四、光温条件对马铃薯生长的其他影响·····	(17)
五、光照和温度对光合作用的影响·····	(17)
六、光周期和温度对干物质生产的影响·····	(18)
七、光周期和温度对干物质分配的影响·····	(18)
八、光周期和温度对匍匐茎形成的影响·····	(20)

九、光周期和温度对块茎形成的影响	(20)
十、光周期和温度对块茎生长的影响	(21)
十一、光周期和温度对块茎生理学的影响	(22)
十二、局部曝光对马铃薯生长的影响	(23)
十三、短期短日照影响	(24)
十四、短期高温或低温的影响	(24)
参考文献	(25)
第三章 Solanum 模型的应用	(34)
第一节 Solanum 模型引入历史回顾	(34)
一、IARRP 与 CIP 合作项目	(34)
二、Solanum 模型培训	(39)
第二节 模型的原理和应用	(40)
一、系统	(40)
二、模型的属性及类型	(40)
三、模型的价值	(41)
四、模型的评估	(42)
五、模拟实例	(43)
六、指导类模型	(43)
七、预测类模型	(44)
八、未来的作物模型	(45)
第三节 Solanum 模型基本原理	(48)
一、作物生长模型结构与运行	(48)
二、Solanum 模型的关键参数	(51)
三、冠层覆盖度 (Canopy cover)	(55)
四、块茎分配比例	(55)
第四节 Solanum 模型输入数据及其获取	(58)
一、气象数据输入	(58)
二、叶面积指数和冠层覆盖度 (CC) 获取	(59)
三、干物质含量的获取	(59)
参考文献	(60)
第四章 LINTUL - POTATO 试验模型	(66)
第一节 试验条件下温度和昼长对马铃薯生长和发育的影响	(66)
一、LINTUL - POTATO 模型概述	(66)
二、不同生长阶段昼长和温度对于马铃薯生长和发育的影响	(68)

三、昼长和温度对于光能利用效率的影响	(73)
第二节 LINTUL - POTATO 模型结构	(74)
一、LINTUL - POTATO 模型机理	(74)
二、LINTUL - POTATO 模拟温度和光响应	(74)
参考文献	(80)
第五章 干旱对马铃薯生长的影响	(84)
第一节 干旱对马铃薯生长的影响	(84)
一、光截获和叶片生长	(84)
二、光转换、光合作用、气孔导度和水分利用率	(86)
三、同化物到块茎的分配	(89)
四、块茎干物质浓度	(90)
第二节 马铃薯根系性状	(91)
第三节 马铃薯对于旱胁迫的响应	(92)
参考文献	(95)
第六章 CO ₂ 对马铃薯生长影响分析	(100)
第一节 气候变化对农业生产影响概论	(100)
第二节 CO ₂ 浓度对光合作用和水分关系的影响	(101)
一、CO ₂ 浓度对光合作用的影响	(101)
二、CO ₂ 浓度对水分利用率和季节性用水的影响	(102)
第三节 CO ₂ 浓度对马铃薯冠层的影响	(103)
第四节 CO ₂ 浓度和温度对马铃薯生长的影响	(105)
参考文献	(107)
第七章 不同 CO ₂ 浓度梯度和温度对马铃薯生产力影响模拟	(113)
第一节 CO ₂ 和温度对马铃薯生长影响模型概述	(113)
一、试验设计	(113)
二、潜在生产量模型描述	(114)
三、叶面积指数	(114)
四、干物质产量	(114)
五、干物质分配	(115)
六、叶片光合作用	(115)
七、植株早熟	(115)
八、土壤水分关系	(118)
九、碳分配	(119)
十、水分胁迫影响	(119)

十一、季节影响·····	(120)
第二节 CO ₂ 浓度升高对马铃薯生长的影响·····	(120)
一、光能利用率·····	(120)
二、CO ₂ 对单产影响的基本趋势·····	(121)
三、CO ₂ 吸收与温度的相互作用·····	(122)
参考文献·····	(123)
第八章 田垄栽培马铃薯作物水分和氮素吸收模型·····	(126)
第一节 马铃薯水分和氮素吸收模型组成·····	(127)
一、水分运输模块·····	(127)
二、水分吸收模块·····	(129)
三、营养运输模块·····	(130)
四、营养吸收模块·····	(130)
第二节 马铃薯水分和氮素吸收模型参数设置和函数·····	(131)
一、田垄尺寸和根系分布·····	(131)
二、初始和边界条件·····	(131)
三、土壤水利特性·····	(133)
四、氮素供应和需求·····	(133)
五、水吸收和蒸腾作用·····	(134)
第三节 马铃薯水分和氮素吸收模型模拟结果讨论·····	(134)
参考文献·····	(137)
第九章 未来马铃薯生理和模拟研究的重点方向·····	(141)
第一节 环境与健康食物·····	(141)
第二节 马铃薯生理研究趋势·····	(142)
一、马铃薯生理·····	(142)
二、马铃薯尺寸·····	(142)
三、氮·····	(142)
四、病害和虫害·····	(143)
第三节 马铃薯模拟研究重点·····	(143)
一、育种模型·····	(143)
二、商品马铃薯总体质量管理·····	(143)
三、马铃薯生长季的作物管理·····	(144)
四、马铃薯收获后处置·····	(144)
参考文献·····	(145)
附录 部分原文摘录·····	(147)

Crop physiology of potato (<i>Solanum tuberosum</i>): Responses to photoperiod and temperature relevant to crop modelling	(1)
Models in research and education, planning and practice	(19)
Modelling development and growth of the potato crop influenced by temperature and daylength: LINTUL – POTATO	(34)
Physiology of crop response to drought	(50)
Physiological effects of changes in atmospheric carbon dioxide concentration and temperature on growth and water relations of crop plants	(62)
Simulated effects of elevated carbon dioxide concentration and temperature on the productivity of potato	(71)
Modelling water and nitrogen uptake of a potato crop growing on a ridge	(83)
Future focus of physiology and modelling of potatoes	(96)

图表目录

图 1-1	CIP 马铃薯模型模拟田间试验设计	(3)
图 1-2	马铃薯物候阶段图	(4)
图 1-3	冠层覆盖度拍照图	(5)
图 1-4	冠层照片和提取结果	(6)
图 1-5	CIP 马铃薯试验布局	(8)
图 2-1	马铃薯植株地上结构	(13)
图 2-2	Désirée、Pentland Crown 和 Maris Piper Nodel 品种节点数与匍匐茎数关系	(14)
图 2-3	光周期和温度对茎系统最终叶数的影响	(16)
图 2-4	12h 与 18h 光周期循环数与 CVS 母本块茎化诱导管之间的关系	(21)
图 2-5	起始七日周期高温与 Désirée 每株块茎数间的关系	(25)
图 3-1	实地调查设计路线、田间调查照片和选点图	(34)
图 3-2	所用专题图、数字化图及遥感图像	(35)
图 3-3	数字化马铃薯实际种植区分布	(36)
图 3-4	Solanum 模型培训	(40)
图 3-5	作物模型模拟方法流程	(49)
图 3-6	作物生长模型单产影响因子及层次结构	(50)
图 3-7	生产生态学中分析单位的时间和空间尺度	(51)
图 3-8	马铃薯干物质分配	(52)
图 3-9	温度对马铃薯生长影响	(53)
图 3-10	非收敛性有效温度	(54)
图 3-11	收敛性有效温度	(54)
图 3-12	冠层覆盖度曲线	(55)
图 3-13	冠层覆盖度曲线一阶导数	(56)
图 3-14	块茎获取营养物质比例	(56)
图 3-15	块茎获取营养物质曲线二阶导数	(57)

图 3-16	Solanum 模型界面	(58)
图 3-17	气象数据输入界面及气象站气象数据收集仪器	(59)
图 3-18	LAI 和 CC 测量仪器及方法	(59)
图 3-19	马铃薯植株各器官及称重	(60)
图 4-1	荷兰和突尼斯种植马铃薯潜在总干物质产量	(68)
图 4-2	光截获比例和每日块茎获取营养物质比例示意图	(69)
图 4-3	LINTUL - POTATO 模型中温度对马铃薯发育 相对影响模拟	(70)
图 4-4	光截获比例、同化物质分配给块茎比例及块茎 总产值模拟	(79)
图 4-5	不同昼长条件下全生育期块茎单产与日平均温度 之间的关系模拟	(80)
图 5-1	干旱作物与灌溉作物叶膨胀率的比值	(86)
图 5-2	干旱作物光转化为干物质系数与土壤水分亏缺 (SMD) 关系	(87)
图 5-3	灌溉与干旱条件下马铃薯叶片在植株发芽 59d 后, PPFD、 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、 qp 在白天随时间的变化	(88)
图 5-4	水分充足的二倍体马铃薯叶片中同位素分辨率与气孔 导度关系	(89)
图 5-5	马铃薯 Cara 和 Desiree 品种在灌溉和干旱条件下的土壤水分 亏缺 (SMD) 及气孔导度变化	(92)
图 7-1	不同 PPFD 和 CO_2 浓度下 CO_2 同化量随温度变化模拟 ...	(116)
图 7-2	三种不同马铃薯品种枝叶发育情况比较	(116)
图 7-3	植株早熟对 16 个马铃薯品种块茎单产的影响	(118)
图 7-4	连续 4 年的土壤重量含水率模拟	(119)
图 7-5	不同 CO_2 浓度下植株早熟与吸收辐射效率	(121)
图 8-1	FUSSIM2. 模型的马铃薯田垄中心和一侧表示方法 示意图	(129)
图 8-2	土壤中根长密度二维分布	(132)
图 8-3	降雨量 (实线) 和潜在蒸散量 (虚线) 变化	(132)
图 8-4	砂质黏壤土模拟第 1 天水分吸收分布	(134)
图 8-5	砂质黏壤土模拟第 14 天水分吸收分布	(135)
图 8-6	施肥 7 周后氮素累积吸收分布	(136)
图 8-7	施肥 7 周后氮素累积吸收分布	(137)

表 1-1	相机佳能 A640 覆盖范围 (10MP x)	(5)
表 2-1	光周期和温度对品种 Atzimba 和 Van Gogh 每假单枝花序或每茎总数的影响	(15)
表 2-2	六种不同的光周期和温度组合	(19)
表 2-3	不同品种在不同光周期和温度环境下生理参数	(22)
表 3-1	研究区冬种马铃薯物候	(37)
表 3-2	为确定 NDVI 和实际产量统计关系选择的样品点	(37)
表 3-3	样品点 NDVI 值	(38)
表 3-4	模型总结	(38)
表 3-5	不同发展阶段某些用途的相对值	(42)
表 4-1	LINTUL - POTATO 模型描述马铃薯生长与发育的方程序列	(70)
表 4-2	LINTUL - POTATO 模型中使用的缩写和公式列	(75)
表 4-3	不同模拟阶段及光周期条件下马铃薯块茎单产	(77)
表 5-1	不同马铃薯品种土壤水分亏缺下的叶片扩展率	(85)
表 5-2	接穗和砧木对灌溉及干旱马铃薯芽、茎和根干物质分配影响值	(94)
表 6-1	季节性作物水分利用效率	(104)
表 6-2	季节性作物水分利用效率	(105)
表 6-3	PPF 对三个马铃薯品种总重量影响	(106)
表 7-1	产量构成因素相关矩阵	(117)
表 7-2	不同马铃薯品种单产和干物质浓度	(117)
表 7-3	马铃薯累积蒸腾量、总干重和块茎单产模拟值	(123)
表 8-1	Rusthoeve 和 Vredepeel 不同位置 Van Genuchten - Mualem 模型等式表层土和底土参数	(133)

第一章 马铃薯田间试验国际马铃薯中心准则

马铃薯模型模拟的重要性不言而喻，而模型中有关马铃薯重要生理参数的获取决定了马铃薯模型模拟的结果精度。现在模型重要参数获取有两种手段，一种是通过多年田间试验获取，另外一种是通过数学算法推导获取，两种方法各有利弊、相辅相成，田间试验方法扎实可信，是从田间获取的第一手资料，可信度高，但缺点是所需时间较长，尤其是参数获取，多年田间试验才能获取较为可信可用的关键参数，而数学方法反演较为经济时效，但结果往往需要反复验证，才能够应用。本章阐述的国际马铃薯中心（International Potato Center, CIP）马铃薯田间试验原理及规程是国际上较为被认可的试验操作规程，对于其的了解和应用可以提高马铃薯试验水平，获取较为科学的试验结果。

第一节 模拟模型输入数据田间试验获取准则

准则概述了获取简易生长模型运行需要的最基本信息。试验应在马铃薯最适生长条件下开展，即水分和营养充足、无病虫害或杂草竞争影响的环境。

一、位置信息

记录试验地的地理坐标，使用六十进制球面坐标系表示（度：分：秒），或指定使用的坐标系和基准，应用GPS或1：25 000或1：100 000的国家地图。所需的模型运行最少信息包括：国家、行政辖区、地块、纬度（度：分：秒）、经度（度：分：秒）、海拔（m. a. s. l.）、生态分类区或农业生态区。

二、试验设计

选择一块均匀的试验田进行潜在生长模型试验。田间品种试验可以分区以减少不同位置间的土壤肥力差异。当试验单元可以被分组时,采用完全随机区组设计,这样的一组被称为一个区组或一个重复。分组的目的是使区组里的试验单元尽可能均一;不同区组单元间的差异平均要比同区组单元间显著。理想情况下,试验单元间的差异被调控,因此,区组间的差异将最大化,而区组内的差异最小化(Steel 和 Torrie 1997)。不同品种也将被分组,为了完成田间非顺序抽样,每个区组将包括 6 个小的随机子区组,每个子区组栽培 20 棵植株,3 个区组,6 个随机性抽样,每个子区组 20 棵植株,大约共需要 360 个块茎种子,每个品种大约需要 250m^2 土地。

三、模型运行所需最少数据

试验的品种数量、品种名称、克隆代码或 CIP 号。生长周期分为三类:短($<120\text{d}$),中($120\sim150\text{d}$),长($>150\text{d}$)。光周期反应:短($N<13$),适中($N=13\sim15$),长($N>15$)。对生物或非生物因素的耐受性抵抗力及亲本材料。

农艺数据:最少数据包括栽培日期、栽培方法、种薯类型(原种、原原种、商业、植物种子、切块)、种薯平均大小(重量 g, 直径 mm)、种植时芽平均长度(mm)、植株密度(N/m^2)、行距(m)、植株间距(m)、种植深度(cm)、收获日期。补充数据包括灌溉的日期和体积(m^3/hm^2)、灌溉方式、肥料来源和施肥剂量、施肥日期、有机质施用量(t/hm^2)、病虫害控制。

气象数据:试验地点需要安装一个自动气象站来记录每天的气象数据(图 1-1)。根据世界气象组织(WMO)程序,如果没有气象站,则寻找一个地理位置最为接近的地方放置相关设备,并检查传感器和数据记录器是否连续运行。模型运行需要最少气象数据包括:气象站的位置、经度(度:分:秒)、经度(度:分:秒)、海拔(m. a. s. l.)、每日最低温度($^{\circ}\text{C}$)、每日最高温度($^{\circ}\text{C}$)、每日太阳辐射和日照时长 [$\text{MJ}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$]。推荐数据:每日降雨量(mm/d)、每日相对湿度(%)、每日参考作物蒸散量(mm/d)、每日露点温度($^{\circ}\text{C}$)、每日风速和方向(km/h)。

土壤数据最少数据:土壤质地类型、含沙量(%)、粉土量(%)、黏土量(%)。推荐数据:经实验室对土壤成分分析得出的土壤特性、田间持水量和枯萎点(% vol) 每日土壤温度($^{\circ}\text{C}$) 和土壤含水量(% vol)。

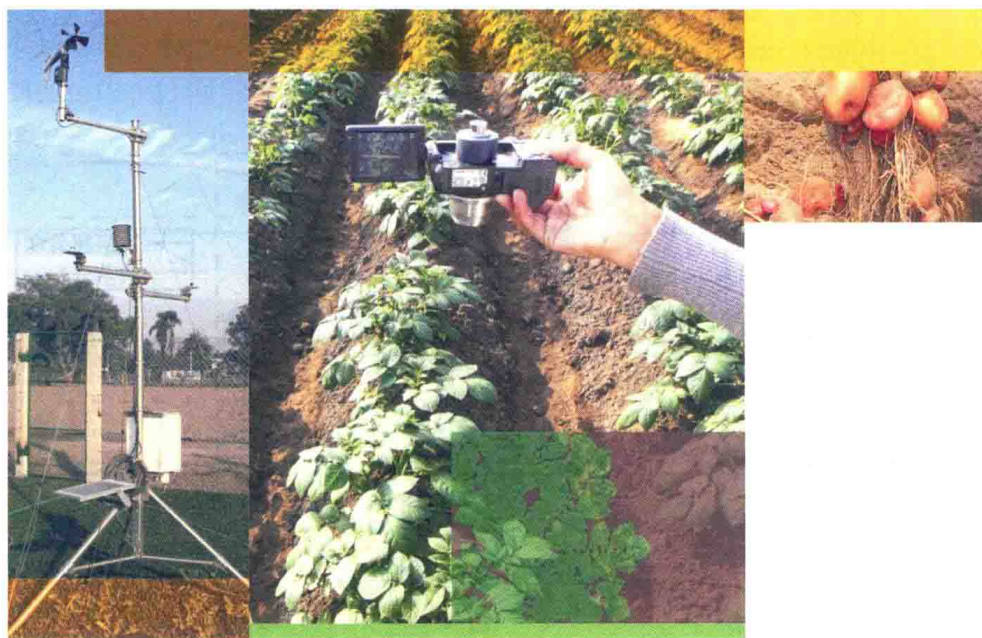


图 1-1 CIP 马铃薯模型模拟田间试验设计

第二节 物候参数数据田间试验获取准则

一、有效积温

作物物候学特征与很多科学领域有关，从生物多样性、农业、农业气象、林业到人类健康等与之关联。马铃薯物候阶段包括：发芽、块茎形成、块茎膨大和衰老（Haverkort & MacKerron, 1995）等 4 个阶段（图 1-2）。这些阶段的识别会为气候对作物生长发育的影响提供重要信息。1730 年 Reaumur 首次提出对作物生长和温度进行定量研究。热量单位或积温的概念作为超过一定温度阈值的总和，用于评估马铃薯生理时间尺度。积温的使用大大提高了对物候事件的描述和预测。为确定马铃薯发芽日期，需要每天对每一小区或区组内萌芽的植株个数进行监控。萌芽百分比等于每个小区或区组萌芽的植株数除以总植株数，当萌芽率达到 50%，即可认为马铃薯已经萌芽，萌芽的初始可以使用有效积温（GDD）来描述。其他物候阶段将通过冠层覆盖度和干物质周期性数据确定。