

# 马铃薯表观特征及 空间分布信息提取与分析

何英彬 罗其友 季维春 著  
张胜利 徐 飞 焦伟华



张外信

中国农业科学技术出版社

# 马铃薯表观特征及 空间分布信息提取与分析

何英彬 罗其友 季维春  
张胜利 徐 飞 焦伟华 著



中国农业科学技术出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

马铃薯表观特征及空间分布信息提取与分析 / 何英彬等著. —北京:  
中国农业科学技术出版社, 2018. 8

ISBN 978-7-5116-3825-0

I. ①马… II. ①何… III. ①马铃薯-栽培技术 IV. ①S532

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 181826 号

责任编辑 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)82109705(编辑室) (010)82109702(发行部)

(010)82109709(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 北京建宏印刷有限公司

开 本 710mm×1 000mm 1/16

印 张 10.75 彩插 8 面

字 数 202 千字

版 次 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

定 价 88.00 元

▶ 版权所有·翻印必究 ◀

## 致 谢

中国农业科学院科技创新工程从2013年起开始执行，该项目旨在连续支持科研工作者持续长期从事自身领域的研究，自由选题，这为我课题组长期积累相关数据，深入马铃薯表观特征及空间分布研究提供非常好的平台；在科技创新工程项目的连续支持下，经过几年的研究及合作，本著得以定稿问世。此外，还要感谢国家自然科学基金“基于动态过程导向的马铃薯种植适宜性时空精细化评价研究”（项目号：41771562）对本研究的资助。

本著顺利完成过程中，离不开诸多领导、同事、学生、朋友和亲人的帮助。首先，感谢中国农业科学院院长、中国工程院院士唐华俊研究员，农业资源与农业区划研究所周清波所长、郭同军书记、王秀芳副所长、金轲副所长、杨鹏副所长，科研处刘爽副处长及科研处各位同事，农业布局与区域发展团队罗其友首席、姜文来副主任及团队同仁；此外，还要感谢吉林省农业委员会相关领导在联系马铃薯野外实习基地过程中给予的大力支持，感谢吉林省蔬菜花卉科学研究院现任和原院领导给予工作的大力支持，感谢研究院马铃薯研究所张胜利所长、徐飞副所长、韩忠才、孙静、李天亮、王中原以及吉林省农业科学院经济植物研究所王忠伟书记和李闯。

马铃薯田间试验是本著重要的关键性基础工作，试验结果准确与否直接关系到马铃薯表观特征各项研究的科学性和应用性，课题组成员们不但秉承了严谨的态度，而且为此付出了辛勤的汗水，在酷热的环境里、在暴晒的条件下一丝不苟的进行测量工作，积累了大量宝贵的一手数据，感谢研究团队成员焦伟华、周扬帆、段丁丁、王卓卓、罗善军、张远涛、朱娅秋、于金宽、徐瑞阳，他们不但很好地完成了田间测量和野外考察工作，还参与了本著的撰写。

最后，我要着重感谢我的家人一直以来对我无条件的支持和关爱，由于马铃薯生长季时间长且较为集中，日常事务烦琐，因此不能经常陪伴家人，我愿将本著作为给家人的献礼，以答谢家人的支持！

著 者

2018年8月

## 作者简介



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—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，并与国际马铃薯中心（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面上基金、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。发表论文50余篇，其中SCI/EI论文10余篇；发表有关马铃薯方面的专著1部，译著2部，其他以主编身份专著编著5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。



季维春，吉林省蔬菜花卉科学研究所所长。熟悉掌握吉林省农业发展现状，在吉林省农业现代化研究、农村经调查研究等方面做了大量工作。结合农业生产实际，开展“智慧农业遥感监测系统”建设，实现了农情监测的信息化、数字化、标准化、智能化和可视化，为吉林省打造设施农业、智慧农业和现代农业，起到引领和示范的作用。研究取得的多项科研成果应用在农业生产服务中。主持和参加各级科研项目9项，其中主持科研项目5项，获有6项科研成果奖。获2012年吉林省优秀调研成果二等奖1项，获2012年吉林省社会科学界联合会第四次社会科学优秀成果奖1项，获2013年吉林省自然科学学术成果三等奖1项，获2009—2010年度吉林省农业技术推广奖二等奖1项，获2015年中国农业资源与区划学会科学技术三等奖2项。第一作者在学术刊物和全国区划学会学术会议上发表论文4篇。其中获得中国农业资源与区划学会学术年会论文二等奖2篇，三等奖2篇。



张胜利，吉林省蔬菜花卉科学研究所研究员，毕业于东北师大学生物学专业，1990年分配到吉林省蔬菜花卉科学研究所工作，现任吉林省蔬菜花卉科学研究所马铃薯研究所所长。任中国作物学会马铃薯专业委员会理事，吉林省马铃薯品种审定委员会委员。以严谨的科研态度，主持与参加吉林省马铃薯产业技术体系、省科技厅项目及省财政厅项目等工作。负责完成马铃薯国家“十一五”“十二五”科技攻关项目，先后获国家、省政府奖十余项，审定育成新品种2个。获得“马铃薯贮藏保鲜关键技术推广示范”全国农牧渔业丰收奖农业技术推广合作奖；“优质马铃薯旱作节水大垄机械化栽培技术示范与推广”2010—2011年度吉林省农业技术推广奖一等奖；“春薯9号马铃薯新品种示范与推广”吉林省科技进步三等奖马铃薯贮藏技术示范与推广吉林省农业技术推广一等奖等，发表论文15篇。



徐飞，吉林省蔬菜花卉科学研究所副研究员。2001年延边大学农学院农学专业本科毕业，2004年吉林农业大学园艺学院蔬菜学专业硕士毕业，2007年华南农业大学蔬菜学专业博士毕业。现任吉林省蔬菜花卉科学研究所马铃薯所副所长，中国作物学会马铃薯专业委员会委员。2009年1—11月，农业部委派赴泰国 Kasetsart University 访问学者。主要从事马铃薯育种、病害防控及贮藏技术研究。主持与参加吉林省马铃薯产业技术体系、省科技厅项目及省财政厅项目等工作。获得“马铃薯贮藏保鲜关键技术推广示范”全国农牧渔业丰收奖农业技术推广合作奖；“优质马铃薯旱作节水大垄机械化栽培技术示范与推广”2010—2011年度吉林省农业技术推广奖一等奖；“春薯9号马铃薯新品种示范与推广”吉林省科技进步三等奖马铃薯贮藏技术示范与推广”吉林省农业技术推广一等奖等，发表论文10篇。



焦伟华，山东财经大学农业与农村经济研究中心讲师，主要从事土地资源管理、农业产业经济等方面研究，参与农业部、科技部等国家和省部级课题5项，以第一作者发表论文5篇，SCI/EI论文3篇，参编著作3部。

# 前 言

我国地域广阔，人口众多，是全球主要的粮食生产与消费大国之一，粮食安全已成为关系我国国民经济发展、社会稳定和国家自立的全局性重大战略问题。然而，诸多全球性环境问题，如水资源短缺、土地沙漠化加剧及水土流失等因素导致我国粮食生产环境恶化。在人口数量不断增长、耕地总面积有限的背景下，如何提高我国粮食产量与品质水平已经成为政府部门和学术界共同关注的重要议题。马铃薯凭借其种植适宜地区广阔、耐寒耐贫瘠等优势已成为新时期确保国家粮食安全的重要途径。2015年初，随着我国马铃薯主粮化战略的启动，马铃薯被确认为继水稻、小麦和玉米之后的第四大粮食作物。近年来，我国马铃薯生产发展较快，逐步成为世界上面积和产量最大的马铃薯生产国。

获取具有较高时效性和准确性的全国或区域尺度马铃薯面积和产量数据，是确保政府宏观决策科学性的基本前提。马铃薯表观特征信息提取可以为实现马铃薯大面积种植空间格局精准信息的获取、时空格局动态变化的追踪及变化机理的分析打下较好的基础，从而能够为马铃薯种植布局优化提供技术支持。马铃薯表观特征及空间分布提取是一个跨学科的研究领域，随着数学理论的不断发展和学科交叉日益活跃和科技的持续进步，未来可预见的马铃薯表观特征及空间分布提取研究方法将越来越丰富。本书着眼于马铃薯产业布局优化层面，遵循从微观到宏观的逻辑顺序，首先基于2016—2017两年连续田间试验的一手资料对马铃薯的各类表观特征进行研究，然后在此基础上尝试对马铃薯的空间分布信息进行提取，最后对马铃薯空间分布的变化机理进行分析。本书借助遥感、地理信息系统和全球定位系统等高新技术手段，采取多种研究方法，力求从多个角度对马铃薯生长过程各种信息进行获取，并为该研究领域未来发展方向提出见解。编写本著之根本目的在于对过去五年科技创新工程和自然科学基金项目资助下的研究成果进行总结和梳理，同时为未来的相关研究提供借鉴。

本著分为七章。各章节主要内容如下：第一章，马铃薯田间试验设计与数据采集是对马铃薯田间试验情况、试验数据的采集和处理进行介绍，

主要由王卓卓、焦伟华、徐飞等完成。第二章，马铃薯物候期信息获取与分析，是基于收敛式有效积温的计算方法对马铃薯生长周期内的有效积温进行计算，并对马铃薯干物质积累与有效积温的关系进行分析，主要由何英彬、季维春、张胜利、王忠伟、焦伟华、段丁丁完成。第三章，马铃薯高光谱获取与数据分析，介绍了构建7种作物高光谱曲线特征差异性指标，并以马铃薯、玉米、大豆和水稻为研究对象，对不同指标区分马铃薯与其他作物的适用性进行了实证分析，并利用高光谱特征参数法、连续统去除法和马氏距离法3种不同的方法对马铃薯不同品种之间的辨别进行研究，该章由何英彬、罗其友、段丁丁、周扬帆、罗善军、王卓卓、徐飞、韩忠才、孙静完成。第四章，马铃薯LAI值反演与分析，主要阐述了通过相关分析确定敏感波段并构建7个植被指数，应用连续统去除法提取7个连续统去除光谱特征参数，最后将植被指数和不同特征参数分别与马铃薯叶面积指数进行统计分析并精度验证，该章主要由罗善军、何英彬、季维春、张胜利完成。第五章，马铃薯荧光信息获取与分析，主要阐述应用FluorMOD模型对3种日光诱导叶绿素荧光提取的常用方法提取叶绿素的精度进行对比分析，以马铃薯和玉米为研究对象，验证3种方法提取荧光的适用性，主要由王卓卓、何英彬、徐飞、于金宽、朱娅秋、张远涛完成。第六章，马铃薯空间分布信息提取，主要阐述运用BP神经网络法和最大似然法2种遥感图像识别分类方法对马铃薯空间分布进行研究，并对分类精度进行分析，主要由周扬帆、罗善军、张远涛、何英彬、罗其友完成。第七章，马铃薯空间分布变化机理分析，主要介绍基于多元线性回归模型建立相应的变量指标体系，并通过豪斯曼检验确定随机效应的面板数据回归模型，得出引起马铃薯种植面积变化的影响因素，以探寻引起马铃薯种植面积变化的各种原因，为我国马铃薯种植中长期战略决策提供参考，主要由何英彬、张文博、苏伟伟完成。

全书由何英彬、焦伟华统稿，何英彬最终定稿。

由于研究问题复杂且著者水平有限，加之时间仓促，偏颇之处在所难免，我们真诚地希望广大专家、学者能在这一领域进行更多的交流与合作，同时对本书提出宝贵的意见和建议，为各级农业部门在推动马铃薯产业发展过程中的决策提供科学依据。

著者

2018年8月

# 目 录

第一章 马铃薯田间试验设计与数据采集.....	(1)
第一节 大田试验设计.....	(1)
第二节 大棚试验设计.....	(2)
第三节 数据采集及处理.....	(4)
参考文献.....	(5)
第二章 马铃薯物候期信息获取与分析.....	(6)
第一节 作物物候期信息获取研究进展.....	(6)
第二节 马铃薯收敛式积温获取.....	(7)
第三节 以收敛式积温标定的马铃薯生长信息获取与分析 .....	(10)
参考文献 .....	(14)
第三章 马铃薯高光谱获取与数据分析 .....	(17)
第一节 作物高光谱分析研究进展 .....	(17)
第二节 基于高光谱参数的作物辨别方法 .....	(18)
第三节 基于高光谱参数的马铃薯品种辨别方法 .....	(29)
参考文献 .....	(53)
第四章 马铃薯 LAI 值反演与分析 .....	(61)
第一节 作物 LAI 值反演研究进展 .....	(61)
第二节 马铃薯 LAI 值反演方法与数据处理 .....	(62)
第三节 马铃薯 LAI 值反演与分析 .....	(65)
参考文献 .....	(73)
第五章 马铃薯荧光信息获取与分析研究 .....	(77)
第一节 叶绿素荧光信息获取研究进展 .....	(77)
第二节 叶绿素荧光信息提取反演方法及结果 .....	(78)

## 2 | 马铃薯表观特征及空间分布信息提取与分析

第三节 马铃薯叶绿素荧光提取方法验证 .....	(79)
参考文献 .....	(92)
第六章 马铃薯空间分布信息提取 .....	(95)
第一节 基于 BP 神经网络方法的马铃薯空间分布信息提取 .....	(96)
第二节 基于最大似然法的马铃薯空间分布信息提取 .....	(127)
参考文献 .....	(132)
第七章 马铃薯空间分布变化机理分析 .....	(137)
第一节 马铃薯空间分布及变化信息提取 .....	(137)
第二节 马铃薯种植面积变化机理分析 .....	(142)
参考文献 .....	(150)

# 图目录

- 图 1-1 马铃薯大田实验示意图 ..... (2)
- 图 1-2 马铃薯大棚水氮组合实验方案 ..... (3)
- 图 2-1 温度对马铃薯生长的影响 ..... (8)
- 图 2-2 有效温度和有效积温不同计算方法差异 ..... (8)
- 图 2-3 不同品种马铃薯块茎及全株干重变化 ..... (10)
- 图 2-4 延薯 4 号生长曲线 ..... (11)
- 图 2-5 延薯 4 号积温生长曲线 ..... (12)
- 图 2-6 费乌瑞它生长曲线 ..... (13)
- 图 2-7 费乌瑞它积温生长曲线 ..... (14)
- 图 3-1 作物原始高光谱曲线 ..... (22)
- 图 3-2 作物 SG 滤波后高光谱曲线 ..... (22)
- 图 3-3 作物高光谱一阶导数曲线 ..... (23)
- 图 3-4 4 种作物红边位置一阶导数值对比图 ..... (24)
- 图 3-5 4 种作物曲率最大值所对应的波长值及在波长值点  
曲率值对比 ..... (25)
- 图 3-6 马铃薯与其他作物高光谱反射率差异指数值与其一阶  
导数差异指数值对比 ..... (28)
- 图 3-7 马铃薯的原始冠层反射光谱 ..... (32)
- 图 3-8 滤波后马铃薯的冠层反射光谱 ..... (32)
- 图 3-9 同一生育期不同马铃薯品种光谱一阶导数 ..... (33)
- 图 3-10 马铃薯关键生育期的冠层反射光谱曲线对比 ..... (37)
- 图 3-11 马铃薯关键生育期的一阶导数光谱曲线对比 ..... (38)
- 图 3-12 不同马铃薯品种滤波光谱曲线 ..... (45)

## 2 | 马铃薯表现特征及空间分布信息提取与分析

图 3-13	不同马铃薯品种连续统去除光谱曲线	(45)
图 3-14	3 种马铃薯冠层光谱数据	(50)
图 3-15	不同预处理光谱的马氏距离	(52)
图 4-1	马铃薯冠层光谱反射率与 LAI 的相关性	(66)
图 4-2	植被指数拟合叶面积指数 LAI 的反演模型	(67)
图 4-3	光谱反射率与 LAI 的相关性	(68)
图 4-4	吸收特征参数反演模型	(70)
图 4-5	植被指数反演模型验证	(71)
图 4-6	吸收特征参数反演模型验证	(72)
图 5-1	不同温度下 687nm、760nm 处荧光真实值与 3 种算法的估计值	(81)
图 5-2	不同温度下 687nm、760nm 处荧光真实值与 3 种算法的估计值	(82)
图 5-3	不同荧光量子效率下 687nm、760nm 处荧光真实值与 3 种算法的估计值	(82)
图 5-4	不同荧光量子效率下 687nm、760nm 处荧光真实值与 3 种算法的估计值	(83)
图 5-5	不同叶面积指数下 687nm、760nm 处荧光真实值与 3 种算法的估计值	(83)
图 5-6	不同叶面积指数下 687nm、760nm 处荧光真实值与 3 种算法的估计值	(84)
图 5-7	不同叶绿素含量下 687nm、760nm 处荧光真实值与 3 种算法的估计值	(85)
图 5-8	不同叶绿素含量下 687nm、760nm 处荧光真实值与 3 种算法的估计值	(85)
图 5-9	荧光量子效率与温度变化下多种光谱指数的估计值与荧光真实值	(87)
图 5-10	荧光量子效率与温度变化下多种光谱指数的估计值与荧光真实值	(87)

图 5-11	叶面积指数 ( $LAI$ ) 与叶绿素含量 ( $C_{ab}$ ) 与 荧光真实值的相关性系数	(88)
图 5-12	3 种方法计算荧光结果与 $PAR$ 日变化	(90)
图 5-13	荧光相对强度与叶绿素荧光参数 $Y(II)$ 相关性分析	(92)
图 6-1	研究区位置	(98)
图 6-2	神经元模型	(100)
图 6-3	BP 神经网络结构	(102)
图 6-4	BP 神经网络隐层传递函数	(103)
图 6-5	BP 神经网络信息由输入层传递至隐层过程	(103)
图 6-6	BP 神经网络信息由隐层传递至输出层过程	(104)
图 6-7	中勾画地块	(110)
图 6-8	野外调查路线	(111)
图 6-9	地区遥感监测地面调查	(112)
图 6-10	纪家镇、兴隆镇本底	(113)
图 6-11	纪家镇、兴隆镇检验样方分布	(114)
图 6-12	活化函数调节结果	(116)
图 6-13	初始权值调节结果	(118)
图 6-14	学习速率调节结果	(119)
图 6-15	动量因子调节结果	(119)
图 6-16	RMS 调节结果	(120)
图 6-17	隐层数目调节结果	(121)
图 6-18	训练次数调节结果	(122)
图 6-19	TM0704 分类面积统计	(123)
图 6-20	不同时相分类结果	(123)
图 6-21	不同遥感数据源影像分类结果	(125)
图 6-22	2017 野外调查路线	(129)
图 6-23	监督分类基本流程	(130)
图 6-24	分类样本可分离性计算报表	(131)
图 6-25	混淆矩阵表	(132)

#### 4 | 马铃薯外观特征及空间分布信息提取与分析

图 7-1	建水县地理位置及地形 .....	(139)
图 7-2	建水县作物种植 .....	(140)
图 7-3	调查路线设计 .....	(140)
图 7-4	区域内田间调查点 .....	(141)
图 7-5	野外采点照片 .....	(141)
图 7-6	基础图件 .....	(142)
图 7-7	TM 7-5-4 合成影像 .....	(143)
图 7-8	马铃薯空间分布及变化信息 .....	(144)
图 7-9	技术流程 .....	(146)

## 表目录

表 2-1	马铃薯育期内有效积温变化情况 .....	(9)
表 2-2	不同品种马铃薯生育期内干重变化情况 .....	(10)
表 2-3	模型汇总 .....	(11)
表 2-4	模型汇总 .....	(12)
表 2-5	模型汇总 .....	(13)
表 2-6	模型汇总 .....	(13)
表 3-1	红边位置与幅值 .....	(24)
表 3-2	曲率最大值与对应波长位置 .....	(25)
表 3-3	4 种作物植被指数值及相应的差异性指数值 .....	(26)
表 3-4	马铃薯高光谱特征参数 .....	(30)
表 3-5	高光谱位置参数的对比 .....	(33)
表 3-6	高光谱宽度参数的对比 .....	(34)
表 3-7	高光谱振幅参数的对比 .....	(34)
表 3-8	高光谱面积参数的对比 .....	(35)
表 3-9	高光谱反射率参数的对比 .....	(35)
表 3-10	高光谱特征参数的对比 .....	(36)
表 3-11	3 个马铃薯品种关键生育期高光谱位置参数对比 .....	(38)
表 3-12	3 个马铃薯品种关键生育期高光谱振幅参数对比 .....	(39)
表 3-13	3 个马铃薯品种关键生育期高光谱面积参数对比 .....	(40)
表 3-14	3 个马铃薯品种关键生育期高光谱反射率参数对比 .....	(41)
表 3-15	3 个马铃薯品种关键生育期高光谱宽度参数对比 .....	(42)
表 3-16	不同马铃薯品种连续统去除光谱特征参数 .....	(45)

表 3-17	不同马铃薯品种反射率差异性指数 .....	(46)
表 3-18	不同马铃薯品种一阶导数差异性指数 .....	(47)
表 3-19	不同马铃薯品种连续统去除特征参数差异性指数 .....	(48)
表 3-20	根据马氏距离选取的特征波段 .....	(52)
表 3-21	判别精度 .....	(52)
表 4-1	本研究采用的植被指数 .....	(63)
表 4-2	马铃薯植被指数与叶面积指数的相关系数 .....	(66)
表 4-3	植被指数反演 LAI 模型构建与验证 .....	(67)
表 4-4	光谱吸收特征参数与叶面积指数的相关系数 .....	(69)
表 4-5	吸收特征参数反演 LAI 模型构建与验证 .....	(69)
表 5-1	<i>FluorMOD</i> 模型的主要输入参数 .....	(79)
表 5-2	夫琅和费暗线算法的波段设置 .....	(81)
表 5-3	叶面积指数 (LAI) 与叶绿素含量 ( $C_{ab}$ ) 变化下 多种光谱指数与荧光真实值相关系数 .....	(86)
表 5-4	3 种方法波段设置 .....	(89)
表 6-1	训练样本可分离性统计 .....	(113)
表 6-2	不同输入特征分类精度 .....	(116)
表 6-3	不同活化函数分类精度 .....	(117)
表 6-4	不同初始权值分类精度 .....	(117)
表 6-5	不同学习速率分类精度 .....	(118)
表 6-6	不同动量因子分类精度 .....	(119)
表 6-7	不同 RMS 分类精度 .....	(120)
表 6-8	不同隐层数目分类精度 .....	(121)
表 6-9	不同训练次数分类精度 .....	(122)
表 6-10	马铃薯 TM0704 分类面积与实际面积对比 .....	(122)
表 6-11	不同时相分类精度 .....	(123)
表 6-12	不同遥感数据源影像分类精度 .....	(124)
表 7-1	冬作马铃薯生长日历 .....	(142)
表 7-2	小麦生产函数投入要素变量 .....	(144)