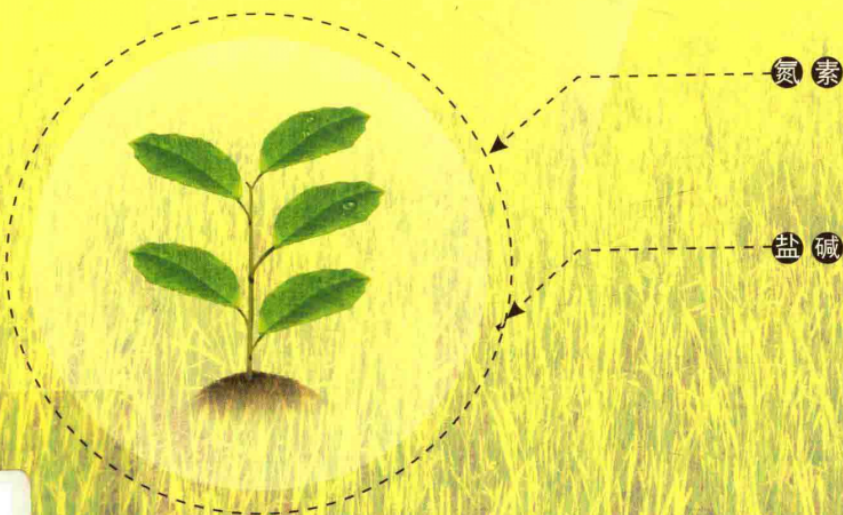


宁夏大学优秀学术著作出版基金资助

氮素和盐碱胁迫下 作物与土壤光谱特征研究

张俊华 张佳宝 贾科利 著



黄河出版传媒集团
宁夏人民出版社

氮素和盐碱胁迫下

作物与土壤光谱特征研究

张俊华 张佳宝 贾科利 著



黄河出版传媒集团
宁夏人民出版社

图书在版编目 (CIP)数据

氮素和盐碱胁迫下作物与土壤光谱特征研究 / 张俊华, 张佳宝, 贾科利著. —银川: 宁夏人民出版社, 2016.5

ISBN 978-7-227-06357-5

I. ①氮… II. ①张… ②张… ③贾… III. ①光谱分辨率—光学遥感—应用—作物—氮素营养—营养诊断—研究 ②光谱分辨率—光学遥感—应用—盐碱土—盐化—预测—研究 IV. ①S143.1-39 ②S156.4-39

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第128613号

氮素和盐碱胁迫下作物与土壤光谱特征研究 张俊华 张佳宝 贾科利 著

责任编辑 杨敏媛

封面设计 赵倩

责任印制 肖艳

 **黄河出版传媒集团**
宁夏人民出版社 出版发行

出版人 王杨宝

地址 宁夏银川市北京东路139号出版大厦 (750001)

网址 <http://www.nxp-ph.com> <http://www.yrpubm.com>

网上书店 <http://shop126547358.taobao.com> <http://www.hh-book.com>

电子信箱 nxrmcbs@126.com renminshe@yrpubm.com

邮购电话 0951-5019391 5052104

经销 全国新华书店

印刷装订 宁夏凤鸣彩印广告有限公司

印刷委托书号 (宁) 0001321

开本 787mm × 1092mm 1/16

印张 15.25 字数 270千字

版次 2016年6月第1版

印次 2016年6月第1次印刷

书号 ISBN 978-7-227-06357-5/S · 359

定价 32.00元

版权所有 侵权必究

前 言

N 是作物生长的重要营养元素之一，其丰缺程度直接影响作物产量，农业上施肥也主要为了满足作物对养分的需求。20 世纪内，世界人口增长了 375%，耕地面积仅增长 152%，但全球谷物产量却增长了 400%，这主要依赖于化学肥料的大量施用。“绿色革命”之父 Stewart 说：20 世纪全世界作物产量增加的 30%~50% 归功于化肥的施用。也正是因为化肥对增产的重要作用，引起了肥料的过量施用，由此导致巨大的经济损失和环境污染。施用氮肥是提高作物产量的重要措施，但不合理施用是导致氮肥利用率偏低的主要原因之一，减少农田中氮肥的损失是提高利用率和降低环境污染的共同基础。寻求一种快速、可靠、廉价、非破坏性的作物氮素营养水平田间诊断方法，对指导作物氮肥管理具有重要意义。

土壤盐碱化是在特定气候、地形、水文、地质及土壤等自然因素综合作用下，以及人为引水灌溉不当引起土壤盐化与碱化的土地质量退化过程。盐碱地分布十分广泛，其范围遍及除南极洲以外的五大洲。联合国粮农组织的资料表明，其总面积约达 $9.5 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ，占地球陆地面积的 7.26%，土壤盐碱化及次生盐碱化现象日趋加重，已成为严重的环境问题之一。盐碱化又是一种动态现象和过程，因此，如何及时掌握有关盐碱地的性质、范围、盐碱化程度等方面的信息，及时采取应对措施，对治理盐碱地、保护生态环境、维护干旱区绿洲的稳定与安全、促进经济发展和进行农业可持续发展规划至关重要。

遥感是在不接触被测物体的情况下，使用一定的仪器设备，接收、记录物体反射或发射的电磁波信息，经过对信息的传输、加工处理及分析与解译，对物体的性质及其变化进行探测和识别的理论与技术。只要物体温度高于绝

对零度就会不断向外发射电磁波(热辐射),物体组成和结构不同,其反射、吸收、透射以及发射电磁波的特性差别也很大,物质的这种对不同波段光谱的响应特性叫光谱特性。利用遥感技术对作物和土壤进行快速诊断和实时监测,使得建立基于地物光谱特征的作物氮素诊断-施氮模型和盐碱化土壤的盐渍化信息成为可能,从而达到减少施肥量、提高了肥料利用率以及实时掌控土壤盐渍化程度并及时采取改良措施的目的。

小麦是世界上最重要的粮食作物,其种植总面积、总产量及总贸易额均居于粮食作物的第一位。以小麦为主要粮食的人口占全世界总人口的 1/3 以上。小麦分布极广,但主要分布在 67°N 到 45°S 之间。玉米是重要的饲料、工业原料和粮食作物,在国民经济中占有非常重要的地位,而且随着社会经济的发展,全球的玉米需求量持续增长。施肥是增加作物产量的有效途径,长期以来,农民为了获得高产稳产,大量施用化肥。此外,银川平原土壤虽然理化性状不良,多为低产田或撂荒地,但地势平坦,土层深厚,是主要的耕地后备资源。因此,我们分别选择黄淮地区春小麦和夏玉米、宁夏银北地区平罗的龟裂碱土为研究对象,研究作物和土壤光谱特征,进而构建氮素胁迫下作物氮素诊断和施氮模型以及盐碱地盐碱化程度的反演模型,为快速、实时诊断作物养分以及土壤的盐碱化信息提供依据。本研究成果能够为当地提高耕地质量、增加耕地面积、增加农民收入服务。

张俊华

2015 年 10 月于银川

目 录

1 氮素和盐碱胁迫下作物与土壤的光谱特征研究进展 / 1

1.1 氮素胁迫下作物光谱特征研究进展 / 2

1.1.1 作物氮素营养的重要性及存在问题 / 2

1.1.2 精准农业与精准变量施肥 / 3

1.1.3 作物氮素营养诊断的常规方法及存在问题 / 4

1.1.4 基于作物光谱特征的氮素营养遥感诊断方法 / 6

1.1.5 作物氮素诊断存在的主要问题 / 18

1.2 盐碱胁迫下作物与土壤光谱特征研究进展 / 19

1.2.1 土壤盐渍化程度预测研究背景 / 19

1.2.2 土壤盐渍化程度预测国内外研究现状及分析 / 21

1.3 本研究的目的与意义 / 28

2 研究思路与研究方法 / 30

2.1 氮素胁迫下作物光谱特征及氮素诊断研究 / 30

2.1.1 研究内容 / 30

2.1.2 技术路线 / 30

2.1.3 试验设计 / 30

2.1.4 试验期间当地气温和降雨量变化情况 / 35

2.1.5 测定方法 / 35

2.2 盐碱胁迫下土壤与作物光谱特征及龟裂碱土盐渍化程度预测研究 / 41

2.2.1 研究内容 / 41

2.2.2 研究目标 / 42

2.2.3 研究方案 / 43

- 2.2.4 技术路线 / 43
- 2.2.5 试验设计 / 44
- 2.2.6 光谱测量仪器 / 45
- 2.2.7 土壤样品采集与处理 / 46
- 2.2.8 光谱数据处理与方法 / 46
- 3 基于冠层反射光谱的作物氮素营养和叶绿素诊断 / 47
 - 3.1 作物地上部分氮素含量和叶片色素含量的变化 / 48
 - 3.1.1 作物全氮含量在各生育期的变化 / 48
 - 3.1.2 作物硝态氮含量变化及其与全氮含量之间的相关性 / 49
 - 3.1.3 作物叶片色素在各生育期的变化 / 50
 - 3.1.4 作物全氮含量与叶片色素之间的相关性 / 55
 - 3.2 氮素胁迫下作物冠层光谱特征曲线 / 56
 - 3.2.1 不同生育期不同氮素水平下冬小麦光谱特征曲线 / 56
 - 3.2.2 不同生育期不同氮素水平下夏玉米光谱特征曲线 / 59
 - 3.3 从作物光谱中提取作物含氮量和叶绿素含量的可行性分析 / 60
 - 3.3.1 氮素和叶绿素敏感波段的确定 / 60
 - 3.3.2 冠层 NDVI 和 RVI 与植株全氮和叶片叶绿素含量的关系 / 65
 - 3.3.3 常见光谱指数与冬小麦含氮量和叶绿素含量的关系 / 68
 - 3.4 基于作物光谱特征的氮素和叶绿素含量估算模型 / 71
- 4 基于作物光谱特征的长势及产量估测 / 74
 - 4.1 基于作物光谱特征的生物量估测 / 74
 - 4.1.1 作物地上部分生物量的变化趋势 / 74
 - 4.1.2 作物冠层单波段反射率与植株地上部分生物量的相关分析 / 75
 - 4.1.3 作物冠层植被指数与植株地上部分生物量的相关分析 / 77
 - 4.1.4 建立基于作物光谱特征的生物量估算模型 / 78
 - 4.2 基于作物光谱特征的夏玉米 LAI 估测 / 78
 - 4.2.1 夏玉米地上部分 LAI 的变化趋势 / 78
 - 4.2.2 夏玉米 LAI 与地上部分全氮含量的相关分析 / 79
 - 4.2.3 夏玉米 LAI 与单波段反射率的关系 / 79
 - 4.2.4 夏玉米 LAI 与常见植被指数的关系 / 80

- 4.2.5 夏玉米 LAI 与冠层 NDVI 的回归分析 / 82
- 4.3 基于作物光谱特征的产量估测 / 82
 - 4.3.1 作物产量组成成分与产量的关系 / 83
 - 4.3.2 作物冠层单波段反射率与产量组成及产量的相关分析 / 84
 - 4.3.3 常见植被指数与作物产量组成及产量的相关分析 / 86
 - 4.3.4 基于作物冠层 NDVI 的产量预测 / 87
- 5 不同品种夏玉米光谱特征及其与农学参量相关性的研究 / 91
 - 5.1 不同品种夏玉米农学参量的变化 / 92
 - 5.2 不同品种夏玉米光谱反射率的差异 / 93
 - 5.2.1 利用 DUNCAN 法分析不同品种单波段反射率的差异 / 93
 - 5.2.2 利用 DUNCAN 法分析不同品种在整个光谱波段反射率的差异 / 94
 - 5.2.3 利用 F 检验分析不同品种单波段反射率的差异 / 95
 - 5.3 作物冠层光谱与作物农学参量的相关性 / 97
 - 5.3.1 作物冠层单波段反射率与植株地上部分农学参量的相关分析 / 97
 - 5.3.2 作物冠层植被指数与植株地上部分农学参量的相关分析 / 99
 - 5.3.3 冠层 GRVI 对植株地上部分农学参量的估测 / 102
- 6 基于 GreenSeeker 的冬小麦植被指数的氮素诊断研究 / 103
 - 6.1 GreenSeeker 光谱仪测定的植被指数 / 104
 - 6.2 两种光谱仪测定的植被指数与植被农学参量间的异同 / 106
 - 6.2.1 两种光谱仪测定的植被指数差异 / 106
 - 6.2.2 不同生育期冬小麦植被指数(NDVI 和 RVI)与相应时期农学参量的关系 / 107
- 7 基于作物光谱特征的施氮模型研究 / 111
 - 7.1 原始施氮模型简介 / 112
 - 7.1.1 原始模型 1 / 112
 - 7.1.2 原始模型 2 / 113
 - 7.2 建立基于作物光谱特征的施氮模型 / 114
 - 7.2.1 作物地上部分吸氮量与冠层光谱的关系 / 114

- 7.2.2 应用 GreenSeeker 光谱仪对原始模型 1 的验证 / 120
- 7.2.3. 冬小麦施氮模型的建立 / 123
- 7.2.4 夏玉米施氮模型的建立 / 126
- 8 长期试验地不同养分胁迫条件下作物光谱特征研究 / 130
 - 8.1 长期施肥试验地情况介绍 / 131
 - 8.1.1 试验设计 / 131
 - 8.1.2 光谱数据及其他指标的测定 / 131
 - 8.2 长期试验地夏玉米光谱特征及对叶绿素和 LAI 的估测 / 132
 - 8.2.1 不同生育期玉米叶片叶绿素含量和 LAI 的变化 / 133
 - 8.2.2 不同生育期玉米冠层光谱反射率的变化 / 134
 - 8.2.3 不同波段反射率与植株叶片叶绿素和 LAI 的关系 / 136
 - 8.2.4 不同组合波段的 NDVI 与叶片叶绿素和 LAI 的关系 / 136
 - 8.3 长期定位试验地作物冠层光谱特征及养分预测研究 / 138
 - 8.3.1 收获期玉米秸秆氮、磷、钾含量差异 / 139
 - 8.3.2 不同波段反射率与玉米氮、磷、钾及产量的关系 / 139
 - 8.4 长期试验作物光谱特征对主要养分吸收量的预测 / 142
 - 8.4.1 收获期作物地上部分养分吸收情况 / 143
 - 8.4.2 不同作物典型生育期冠层光谱特征差异 / 144
 - 8.4.3 不同施肥处理间作物光谱特征差异 / 145
 - 8.4.4 作物冠层光谱反射率与主要养分吸收量的相关性 / 146
 - 8.4.5 作物养分吸收量预测模型的建立 / 149
 - 8.4.6 作物养分吸收量预测模型的验证 / 150
- 9 典型龟裂碱土光谱特征分析及盐渍化程度预测研究 / 151
 - 9.1 龟裂碱土表层盐渍化信息指标和光谱特征变化规律 / 152
 - 9.1.1 龟裂碱土表层盐渍化信息指标变化规律 / 152
 - 9.1.2 碱化土壤 pH 与 ESP 的关系 / 154
 - 9.1.3 龟裂碱土表层光谱特征变化规律 / 154
 - 9.2 龟裂碱土表层碱化程度预测 / 156
 - 9.2.1 龟裂碱土表层土壤光谱与 pH 的相关性 / 156
 - 9.2.2 龟裂碱土表层土壤光谱与 ESP 的相关性 / 159

- 9.2.3 土壤碱化指标的预测模型 / 160
- 9.3 龟裂碱土表层盐化信息预测 / 162
 - 9.3.1 表层土壤光谱与全盐含量的相关性 / 162
 - 9.3.2 表层土壤光谱与土壤阴离子含量的相关性 / 163
 - 9.3.3 表层土壤光谱与土壤阳离子含量的相关性 / 164
 - 9.3.4 土壤盐分指标预测模型的建立 / 165
 - 9.3.5 土壤盐分预测模型的验证 / 168
- 10 龟裂碱土对其上覆植被冠层光谱特征及长势预测的影响 / 170
 - 10.1 试验基本情况 / 171
 - 10.1.1 试验地基本情况 / 171
 - 10.1.2 不同生育期土壤指标 / 171
 - 10.1.3 光谱数据及其他指标的测定 / 172
 - 10.1.4 部分光谱数据处理方法 / 172
 - 10.1.5 预测模型的建立与验证 / 173
 - 10.2 龟裂碱土上覆植被冠层光谱特征 / 173
 - 10.2.1 向日葵冠层光谱特征 / 173
 - 10.2.2 土壤背景对龟裂碱土上覆植被冠层光谱特征的影响 / 174
 - 10.2.3 不同碱化程度下向日葵不同生育期光谱特征 / 175
 - 10.2.4 不同碱化程度下向日葵不同生育期红边光谱特征 / 176
 - 10.2.5 不同碱化程度土壤与向日葵红边参数的相关性分析 / 178
 - 10.3 基于作物冠层光谱特征对其叶片叶绿素和 LAI 的预测 / 178
 - 10.3.1 不同生育期向日葵生理参数的变化 / 178
 - 10.3.2 不同生育期冠层光谱与向日葵叶片叶绿素和 LAI 的关系 / 179
 - 10.3.3 上覆植被叶片叶绿素和 LAI 的反演模型 / 182
 - 10.3.4 上覆植被叶片叶绿素和 LAI 模型的验证 / 184
- 11 典型龟裂碱土光谱特征主要影响因素研究 / 186
 - 11.1 典型龟裂碱土光谱特征主要影响因素研究实验介绍 / 187
 - 11.1.1 试验地基本情况 / 187
 - 11.1.2 土壤样品采集与处理 / 187
 - 11.1.3 光谱数据的测定 / 187
 - 11.1.4 光谱数据的处理 / 187

11.2	典型龟裂碱土土壤水分光谱特征及预测研究 / 188
11.2.1	不同水分条件下龟裂碱土光谱特征分析 / 188
11.2.2	土壤光谱反射率变换与土壤水分相关分析 / 189
11.2.3	龟裂碱土水分含量的光谱反射率反演模型建立 / 191
11.2.4	龟裂碱土水分含量模型验证 / 192
11.3	典型龟裂碱土土壤光谱特征主要影响因素研究 / 193
11.3.1	不同碱化程度龟裂碱土野外光谱特征 / 193
11.3.2	不同碱化程度龟裂碱土室内光谱特征 / 194
11.3.3	不同粒径条件下龟裂碱土光谱特征 / 195
11.3.4	不同表面粗糙度条件下龟裂碱土光谱特征 / 195
12	基于水稻冠层植被指数的龟裂碱土盐渍化信息预测研究 / 197
12.1	试验介绍 / 198
12.1.1	试验材料 / 198
12.1.2	试验设计 / 198
12.1.3	光谱数据的测量及其他指标的测定 / 198
12.2	基于水稻光谱特征的龟裂碱土碱化程度预测 / 199
12.2.1	水稻不同生育期植被指数的变化规律 / 199
12.2.2	植被指数与土壤 pH 的关系 / 199
12.2.3	植被指数对土壤 pH 和 ESP 的估算 / 200
12.3	基于水稻光谱特征的龟裂碱土盐化程度预测 / 201
12.3.1	水稻不同生育期 NDVI 和土壤盐分的变化 / 201
12.3.2	不同生育期水稻冠层 NDVI 与土壤盐分指标之间的关系 / 202
13	讨论与结论 / 205
13.1	氮素胁迫下作物光谱特征与其生理指标的关系 / 205
13.2	不同营养元素胁迫下作物光谱特征异同点 / 207
13.3	盐碱胁迫下作物/土壤光谱特征及对土壤盐渍化信息的预测 / 209
13.4	存在问题及研究展望 / 211
13.4.1	存在问题 / 211
13.4.2	研究展望 / 212

参考文献 / 213

后记 / 235

1 氮素和盐碱胁迫下作物与土壤的光谱特征研究进展

遥感的优势在于可频繁和持久地提供地表特征的面状信息，这对于传统的以稀疏离散点为基础的对地观测手段是一场革命性的变化（李小文和王伟婷，2013）。

不同地物（植被、干土、水体）的反射波谱不同，因此不同地物在遥感影像上形成不同的纹理、形状，从而可以通过遥感判断、解译图像来识别不同地物。与干土和水体的反射光谱曲线相比，植物冠层反射光谱的规律性明显而独特，所以可以根据植物冠层光谱反射率来诊断作物养分丰缺状况。植物冠层反射光谱具有上述基本特征，但仍有不同程度的差别，这种差别与植物种类、养分丰缺、盐碱胁迫、病虫害、含水量等有关，是作物光谱特性与背景土壤光谱特性的综合。土壤盐渍化是指易溶性盐分在土壤表层积累的现象或过程，主要发生在干旱、半干旱和半湿润地区。一般高土壤盐分会造成植物细胞脱水、植物生长减缓、产量降低，严重的会导致植物死亡。为了适应土壤盐分胁迫，植物往往会改变自身属性，如叶变多肉汁、颜色变暗绿等。这些差别往往会夸大植物在某些光谱区域的光谱响应，因而可以利用植被光谱信息来推断下覆土壤盐渍化程度。

许多国家已普遍重视过量施肥对环境的危害（张宏威等，2013）。当施肥水平为资源、环境所不容许时，应谋求减少肥料施用量，采用新型施肥方法及农业综合措施达到增产的目的。其重要途径之一就是寻求简便、廉价、快速、无破坏地监测作物氮素营养状况的方法，进而指导作物氮肥管理，在提高生产效率、降低生产投入的同时减少化肥对环境的污染。此外，通过遥感技术获取土壤反射光谱可以便捷、无破坏地对土壤进行快速诊断和实时监测，

而上覆植被生长状况和土壤特性密切相关,通过上覆植被冠层光谱特征反映土壤的盐碱化程度,为土壤盐碱化程度的估测提供了另外一条途径,这样可以基于土壤或其上覆植被光谱特征来估测土壤盐碱化程度,进而进行盐碱地的改良,达到提高盐碱地资源的利用率,使经济效益、社会效益与生态效益相统一的目的。

1.1 氮素胁迫下作物光谱特征研究进展

1.1.1 作物氮素营养的重要性及存在问题

植物所必需的营养元素虽然多达 16 种,但并不是等量地被植物所吸收。植物是按照其生物学特性根据生长发育的需要来吸收这些元素的。所以,植物所吸收的各种营养元素的总量及不同生育阶段内所吸收的营养元素的种类和数量都是不同的。氮是植物生长发育所必需的营养元素之一,也是土壤肥力中最活跃的因素。在农业生产中氮是重要的限制因子,人们常常称氮为生命元素,因为:(1)氮是蛋白质的重要成分。没有蛋白质,作物体内新细胞的形成会受到抑制,生长发育缓慢,以致停滞。(2)氮是核酸和核蛋白的成分,而核酸和蛋白质是一切作物生命活动和遗传变异的基础。(3)氮是叶绿素的成分。高等植物的叶片含有 20%~30%的叶绿体,而叶绿体又含有 45%~60%的蛋白质。叶绿素是作物进行光合作用的场所。供氮水平的高低与叶片中叶绿素的含量呈正相关,而叶绿素含量的多少,又直接影响到光合作用的产物——碳水化合物的形成。(4)氮是作物体内许多酶、多种维生素和一些植物激素的成分。总之,氮对作物的长势、产量的形成与品质的好坏有着极为重要的作用(张继澍,1999)。植物缺氮时,叶片中的叶绿素含量下降,叶色呈浅绿或黄色,光合作用也随之减弱,从而使碳水化合物的合成量减少,导致植物生长缓慢,植株矮小;但植物吸收氮过多时,常常表现为组织柔软,叶色浓绿,茎叶徒长,贪青晚熟,并容易遭病虫危害,最终也会造成减产。

由于氮素与作物长势息息相关,使得氮肥在农业生产中具有举足轻重的地位(李金梦等,2014)。20 世纪内,世界人口从 16 亿增至 60 亿(增长 375%),耕地面积仅由 9 亿 hm^2 增至 13.7 亿 hm^2 (增长 152%),但全球谷物产量却由 5 亿 t 增至 20 亿 t (增长 400%),这主要依赖于化学肥料的大量施用。

“绿色革命”之父，诺贝尔奖金获得者 Stewart (2005) 在全面分析了 20 世纪农业生产发展的各相关因素后得出结论：20 世纪全世界作物产量增加的 30%~50% 归功于化肥的施用。在过去 30 多年里，全世界农业增施了 6.87 倍的氮肥、3.48 倍的磷肥，增加了 1.68 倍的灌溉农田和 1.1 倍的耕地面积才使产量增加了 1 倍。如果按照这种关系进行简单的线性延伸，下一个产量翻番将会增加 3 倍的氮肥和磷肥、双倍的灌溉面积和 18% 的耕地面积 (Tilman, 1999)。

也正是因为化肥对增产的重要作用，引起了肥料的过量施用，由此导致巨大的经济损失和环境污染。美国密西西比河入口附近海域，存在 2 万 km² 的缺氧死区，影响了每年 28 亿美元产值的渔业。究其原因与美国中西部农场每年有 160 万 t 氮流入密西西比河有关。2000~2001 年度世界和我国氮肥消费量分别为 8163 万 t、2269 万 t，通过气态、淋洗和径流离开农田的损失量分别为 35% 和 45%，折合约 143 亿美元和 400 亿人民币。我国长江流域过量施用氮肥（江苏南部水稻田每公顷施氮 270~300 kg），已使长江河口硝酸盐含量高达 0.49~0.95 mg L⁻¹，而世界河口平均值为 0.1 mg L⁻¹，致使水域底层水溶氧低于 3 mg L⁻¹（正常值为 7 mg L⁻¹）造成鱼虾因缺氧而死亡（许秀成，2004）。

施用氮肥是提高作物产量的重要措施，但不合理施用是导致氮肥利用率偏低的主要原因之一，减少农田中氮肥的损失是提高利用率和降低环境污染的共同基础。寻求一种快速、可靠、廉价、非破坏性的作物氮素营养水平田间诊断方法，对指导作物氮肥管理具有重要意义。

1.1.2 精准农业与精准变量施肥

随着一系列农业和环境问题的提出，“精准农业”的概念和技术应运而生。精准农业（precision agriculture, precision farming, site-specific agriculture, site-specific crop management, prescription farming）首先是美国农业工作者于 20 世纪 90 年代初倡导并实施的。通俗地讲就是综合应用现代高新科技，以获得农田高产、优质、高效的现代化农业生产模式和技术体系。具体说就是利用遥感（RS）、卫星定位系统（GPS 或 WWPS）等技术实时获取农田每一平方米或几平方米为一个小区的作物生产环境、生长状况和空间变异的大量时空变化信息，及时对农业进行管理，并对作物苗情、病虫害、墒情的发生趋势进行分析、模拟，为资源有效利用提供必要的空间信息（戎恺等，2000）。在获

取上述信息的基础上,利用智能化专家系统、决策支持系统,按每一地块的具体情况做出决策,准确地进行灌溉、施肥、喷洒农药等。遥感是精准农业技术体系中支持大面积快速获得田间数据的重要工具,是获取农作物信息的重要手段。它可以利用高分辨率空间定性、定位分析,为定位配方农作提供大量的田间时空变化信息。

精准变量施肥是精准农业的重要组成部分,它是以不同空间单元的产量数据与其他多层数据(土壤理化性质、病虫草害、气候等信息)的叠合分析为依据,以作物生长模型、作物营养专家系统为支持,以高产、优质、环保为目的的变量处方施肥理论和技术(金之庆等,2003)。这种按需施肥的方法与当今实行的按村平均施肥完全不同,因而大大地提高了肥料利用率,同时也减少了肥料的浪费以及多余肥料对环境的不良影响。

1.1.3 作物氮素营养诊断的常规方法及存在问题

1.1.3.1 化学诊断法

作物氮素营养诊断的化学方法包括对植株和土壤氮素含量的测定。作物体内养分状况是土壤养分供应、作物对养分需求和作物对养分吸收能力的综合反映。因此,通过对作物体内养分状况进行诊断完全可以反映作物当时的营养状况,并以此来进行施肥决策(张金恒,2003)。植物对氮素的吸收主要是通过根系从土壤中获得,氮肥的施用也主要是针对土壤进行的,因此,土壤氮素的丰缺也可以直接反映植株的氮素营养状况。主要的实验室化学分析方法有杜马氏(Dumas)方法,该法的主要仪器是全自动定氮仪,通过计算氮气的体积来计算样本的全氮量。该方法的主要缺点是仪器太贵,不能普及。另一种实验室常用的方法是开氏法(Kjedahl),即用浓硫酸和混合的加速剂或者氧化剂消煮样本,将有机氮转化为 $\text{NH}_4\text{-N}$ 后用蒸馏滴定法测定(鲁如坤,1999)。植株全氮诊断研究的最早、最充分,大多数作物的不同生育期和不同部位器官的氮诊断临界浓度已基本清楚,植株全氮含量可以很好地反映作物氮营养。但化学分析方法普遍要求破坏性样本。从采集大量的样本、烘干、称重、研磨直到测定,需要耗费大量的时间、人力和物力。而且由于花费时间过长,以至于结果不具有适时性,实验室化学分析需要有经验的专业人员和大量的分析试剂和设备,在很多情况下不具有这些条件,尤其是发展中国

家 (Carlos & Lianne, 2001; 郭燕等, 2013)。

植株氮素诊断化学方法还包括植株茎基部 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 以及作物的氮吸收 (植株全氮含量与干重的乘积) 等的测定。茎 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量对作物氮素营养状况的变化很敏感, 植株 $\text{NH}_4\text{-N}$ 也可作为作物氮营养的诊断指标, 预测作物氮缺乏较为可靠, 但氮临界值在地点间的变异很大, 且随时间变化迅速, 因此在实际应用中存在一定的局限性。土壤氮素诊断除了全氮的测定之外, 还包括土壤有效氮、土壤无机氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$) 的测定等。

1.1.3.2 肥料窗口诊断法

此法是在大田中留出施氮水平稍低的微区, 当微区中作物表现缺氮时, 即表明大田作物处在缺氮边缘。此法简单实用, 可对土壤变异不明显的区域的下一次追肥做出判断, 但不能量化追肥量, 还需进行常规测试。

1.1.3.3 长势诊断法

长势, 即作物生长的状况与趋势。作物的长势可以用个体与群体特征来描述。发育健壮的个体所构成的合理群体, 才是长势良好的作物区。群体特征可用生物量、群体密度、叶面积指数 (Leaf area index, LAI)、布局与动态来描述 (杨邦杰和裴志远, 1999)。通过作物长势的动态监测可以及时了解农作物的生长状况、土壤墒情、肥力及植物营养状况, 便于采取各种管理措施, 从而保证农作物的正常生长。同时可以及时掌握大风、降水等天气情况对农作物生长的影响以及自然灾害、病虫害将对产量造成的损失等, 为农业政策的制订和粮食贸易提供决策依据, 也是作物产量估测的必要前提。

但是, 这种诊断方法通常只在植株仅缺一种营养元素的状况下有效, 在植株同时缺乏 2 种或 2 种以上营养元素, 或出现非营养因素 (如病虫害、药害、生理病害) 而引起的症状时, 易于混淆, 造成误诊。再者, 植株出现某种缺素症状时, 表明植物缺素状况已相当严重, 此时再采取补救措施为时已晚, 而且由于近年来作物品种更新换代频繁, 它们外观的长势长相变化多端, 没有固定的模式, 应用受到限制。因此, 该方法在实际应用上存在明显的局限性。

1.1.3.4 叶色诊断法

另外一种传统的氮素诊断方法是根据叶色来判断作物是否缺氮。由于作物叶色级与叶片全氮含量间存在很好的线性关系, 因此可用叶色级来表征叶

片的氮素营养状况（张俊华和张佳宝，2010）。我国农民素有看作物叶色施肥的传统经验，但是这种方法缺乏定量标准，很难推广应用。有研究者用比色卡目力比色测定水稻叶色级，根据均匀颜色空间及色差公式研制了水稻标准叶色卡（陶勤南等，1990），总体来说，叶色卡法简单、方便、营养诊断半定量化，但是不能区分作物失绿是由于缺氮引起的还是由于其他因素引起的。该法还受到品种、植被密度等的影响（Balasubramanian et al., 1999）。另外人们对颜色的视觉在不同的个体之间存在差异，这些都制约着叶色卡法诊断作物氮素营养的应用和精度。

20 世纪 90 年代出现了一种量化叶片叶绿素含量的仪器——叶绿素计，它是既简单又方便的诊断工具，是光谱诊断作物氮素营养方法的一种特例。叶绿素计的读数是基于特定光谱波段叶绿素对光的吸收测定获得的（Saberioon et al., 2014）。许多学者对此都进行了研究（Ploschuk et al., 2014）。叶绿素计的读数受到太阳辐射的影响，其测定的最高值出现在辐射最弱的凌晨和黄昏，而最低值出现在中午辐射最强的时候，对于小麦，随太阳辐射的不同，测定值会有 8% 的变异（Hoel & Solhaug, 1998）。由于环境和其他胁迫因素的作用，或者是由于叶绿素浓度及光吸收能力的变化，仅在一定的品种范围内，叶绿素计测量值和叶绿素总含量之间存在正相关关系，然而就在这一一定的品种范围内还需要计算每一个品种特定生长条件和叶绿素之间的相关性。另外，叶绿素值的影响因素除了品种（基因型）、生育期、植株密度、环境条件、营养状态和测量的叶片部位等外，还有导致植株枯黄的各种生物和非生物胁迫以及其他养分亏缺，这都妨碍了叶绿素计用于适时监测氮素状况的潜力（张金恒，2003）。

1.1.4 基于作物光谱特征的氮素营养遥感诊断方法

1.1.4.1 诊断原理

遥感是指在不接触被测物体的情况下，使用一定的仪器设备，接收、记录物体反射或发射的电磁波信息，经过对信息的传输、加工处理及分析与解译，对物体的性质及其变化进行探测和识别的理论与技术（常庆瑞等，2004）。物体组成和结构不同，其反射、吸收、透射以及发射电磁波的特性差别也很大。物质这种对不同波段光谱的响应特性叫光谱特性。植物光谱诊断