



本书受国家“863”计划课题
“水稻氮素营养光谱诊断实用化关键技术研究”
(课题编号: 2007AA10Z205) 资助

高光谱技术

GAOGUANGPU JISHU

在水稻氮素营养诊断 中的应用研究

ZAI SHUIDAO DANSU YINGYANG ZHENDUAN
ZHONG DE YINGYONG YANJIU



张金恒 唐延林 ◇ 著

 中国农业出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

国家“863”计划课题“水稻氮素营养光谱诊断实用化关键技术
研究”(课题编号:2007AA10Z205)项目资助

高光谱技术 在水稻氮素营养诊断中的 应用研究

张金恒 唐延林 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高光谱技术在水稻氮素营养诊断中的应用研究 / 张金恒, 唐延林著. —北京: 中国农业出版社, 2012. 9
ISBN 978-7-109-17162-6

I. ①高… II. ①张… ②唐… III. ①光谱分辨率-
光学遥感-应用-水稻-氮素营养-营养诊断-研究
IV. ①S511.06-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 214631 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

策划编辑 黄 宇

文字编辑 郭 科

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 5.25 插页: 2

字数: 106 千字 印数: 1~1 000 册

定价: 40.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书作者结合所在课题组多年从事水稻氮素营养高光谱研究的实践经验，系统地介绍了氮素的生理功能和水稻缺素病症、水稻氮素营养常规诊断方法、水稻氮素营养叶绿素仪诊断方法、水稻氮素营养高光谱诊断研究现状和主要理论依据、水稻高光谱数据分析技术和方法、高光谱参数及其提取方法。在此基础上，以较大篇幅介绍了主要高光谱变量和构建的植被指数、引进的方法及氮素营养预测回归模型等。最后介绍了用于水稻氮素营养快速诊断研究的仪器原理和方法。本书内容新颖，叙述深入浅出，可供从事植物营养和高光谱应用等学科领域的科研人员、大专院校师生阅读参考。

前 言

氮素对生态环境的影响是全球性和持续性的。随着社会经济的发展，氮素消耗量将不断增加，因此氮素循环与合理利用及氮素引发的环境问题已经引起各国政府和科学家的高度关注。氮素是植物生长需要的重要元素之一，植物对土壤中的有效氮吸收量是反映其生长状况的重要指标，也是改善植物生长发育的主要环境因素，氮素在植物体的各个器官之间的分配和循环对于植物的生长和生理活动具有重要的影响，尤其是对农作物的产量和品质有很大的影响。氮是水稻营养三要素中的主要营养元素，在作物生长发育中起到关键的作用，因此成为作物营养诊断和肥水管理决策的重点。

传统的水稻氮素营养诊断主要是采用植物组织的化学分析方法。其中主要有杜马氏法和凯氏定氮法，从采样到测试，需耗费大量的时间、人力和物力，结果不具有时效性，并且在很多情况下不具备这些试验条件。有些研究者探索野外无损诊断水稻氮素营养的方法。其中，肥料窗口法只能在土壤变异不显著的区域对下一次追肥作出判断，是一种经验定性诊断法。20世纪70年代，日本研制出纸制水稻叶色卡和水稻标准叶色卡；90年代，又根据均匀颜色空间及色差公式研制出水稻标准叶色卡。叶色卡法简单、方便，但是受到品种、植被密度以及导致土壤氮素状况和叶绿素含量变化等作物胁迫因素的影响，不能区分作物失绿的原因。日本又

研制了测定叶片远红波段 (650 nm) 与近红外 (940 nm) 两个波段透射率的叶片光谱仪 (叶绿素仪)。虽然叶绿素仪读数与水稻氮素营养之间具有相关性, 但是读数受品种、生育期、环境条件、植株密度、营养状态和其他胁迫因素的影响很大, 因此至今一直没能得到应用。

高光谱具有高分辨率、波段多、数据量丰富等特点, 它的出现已使从光谱遥感数据中提取农学参数成为可能。植物叶片的光谱诊断原理是植物中某些化学组分分子结构中的化学键在一定辐射水平的照射下发生振动, 引起某些波长的光谱发射和吸收产生差异, 从而产生不同的光谱反射率, 且该波长处光谱反射率的变化对该化学组分的多少非常敏感。因此, 用高光谱数据能够估计叶片化学成分。已有不少研究通过地面干样本研磨粉末反射光谱和生化参数之间的多元线性回归分析成功地预测了植物叶片生化含量, 在可见光和近红外光约有 42 个光谱吸收特征和叶片生化含量之间成功地建立了相关关系, 这些生化参数包括氮素、蛋白质和木质素。但是这些基于干样本的光谱吸收特性和生化含量之间的关系模型并不能适时反映植物营养的变化。许多研究者曾经开展了基于鲜叶光谱评价水稻氮素含量的研究, 有的研究找出了氮素营养影响水稻光谱特性的敏感波段、不同早稻品种的光谱特征及其与农学参数的相关性以及杂交稻与常规稻的光谱特征差异, 建立光谱变量和水稻叶片及稻株含氮量之间的多种相关模式, 证明了各种作物的氮素营养状况和特定波长的反射率之间存在相关性。并且许多研究表明, 各种植被指数可以在一定程度上监测植物氮素丰缺。

《高光谱技术在水稻氮素营养诊断中的应用研究》是利用高光谱技术获取并定量解析水稻氮素营养的一种尝试,本书涉及的内容主要反映了著者承担的国家“863”计划课题“水稻氮素营养光谱诊断实用化关键技术研究”(2007AA10Z205)和2002年以来参加的国家自然科学基金项目(30070444、40271078、40171065)、国家“863”项目(2001AA115190-06)取得的部分成果。

对于参与本书中部分研究工作的研究者一并表示衷心感谢,主要有:浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所王珂教授、黄敬峰教授、邓劲松博士,贵州大学理学院刘子恒研究生,青岛科技大学生态环境与农业信息化研究所韩超、许丽娟、于鑫、李俊以及李大鹏、吕永亮、姚振璇、朱宇硕等研究生,山东省水稻研究所马加清研究员、赵庆雷助理研究员等。另外,青岛市农业科学研究院张守才研究员,青岛农业大学刘树堂教授、李曰鹏研究生,青岛云聚山庄生态园有限公司崔学华、崔学品等同志为本书所涉及的试验也都付出了辛勤的劳动。

鉴于多方面的原因,特别是作者水平所限,本书无论在内容上、结构上或文字上都有不足和缺陷,还望广大读者给予指正和谅解。

张金恒

2012年5月

目 录

前言

上篇 水稻氮素营养诊断概述..... 1

第1章 氮素营养的生理功能 3

1.1 氮是合成氨基酸和蛋白质的重要成分 3

1.2 氮素与酶 3

1.3 氮素与叶绿素及光合作用 4

1.4 氮素与糖类代谢 4

第2章 水稻氮素营养的变化规律 6

2.1 生育期氮素营养的变化规律 6

2.2 不同叶位之间水稻氮素营养运转规律 9

第3章 水稻氮素营养的常规诊断技术 16

3.1 化学诊断 16

3.2 外观诊断 19

3.3 叶色诊断 20

3.4 叶绿素仪诊断 22

中篇 水稻氮素营养高光谱诊断的理论基础 25

第4章 高光谱遥感技术的概述 27

4.1 高光谱遥感基本概念 27

4.2 高光谱遥感在植被研究中的应用 28

4.3 水稻氮素营养高光谱研究进展	31
第5章 不同氮素水平的水稻光谱特征	35
5.1 水稻冠层与田间背景的光谱特征比较	35
5.2 水稻冠层光谱特征	38
5.3 水稻叶片光谱特征	53
5.4 水稻光谱的红边特征	56
第6章 水稻氮素营养与水稻生物化学参数的相关性	61
6.1 叶片全氮含量和叶绿素、类胡萝卜素含量之间的相关性	61
6.2 谷穗粗蛋白和粗淀粉、直链淀粉之间的相关性	63
6.3 子粒全氮含量和茎、叶全氮含量之间的相关性	65
第7章 不同氮素营养水平的生物化学参数与高光谱参数的相关性	68
7.1 叶绿素含量与高光谱变量的相关性分析	68
7.2 氮素营养与高光谱变量的相关性分析	68
7.3 穗谷粗蛋白和粗淀粉含量与高光谱变量的相关性分析	78
下篇 水稻氮素营养高光谱诊断的技术与方法 ...	81
第8章 水稻高光谱数据的分析技术	83
8.1 多元统计分析技术	83
8.2 基于光谱特征位置变量的分析技术	85
第9章 高光谱参数及其提取方法	90
9.1 高光谱植被指数	90
9.2 高光谱数据的变换	91
9.3 光谱吸收指数	95
9.4 “三边”参数、绿峰参数和红光吸收谷参数	97

第 10 章 高光谱诊断模型的构建	101
10.1 主要回归模型概述	101
10.2 基于主要高光谱变量的模型	102
10.3 基于原始光谱与一阶导数光谱的特征波段的选择	105
10.4 反射光谱连续统去除法	116
第 11 章 可用于水稻氮素营养快速诊断的仪器	125
11.1 一种便携式植物氮素和水分含量的无损检测方法 & 测量仪器	125
11.2 便携式多通道作物叶片氮素营养指标无损监测装置	125
11.3 基于冠层的水稻氮素营养便携式诊断仪器	127
11.4 基于叶片光谱水稻氮素营养便携式诊断仪器	132
第 12 章 试验设计与采用的光谱测量仪器	136
12.1 试验设计	136
12.2 光谱测量仪器	137
12.3 可精确调控观测范围和倾角的冠层光谱观测装置	140
主要参考文献	141

上 篇

水稻氮素营养诊断概述

第1章 氮素营养的生理功能

水稻植株的含氮量一般为1%~4%。茎叶含氮量为1%~4%，穗的含氮量为1%~3%。稻株的含氮量虽然并不很高，但是，氮素对水稻生长发育却有巨大的作用。氮是水稻营养的三要素之一，是水稻最必需的营养元素，氮素对氨基酸、蛋白质、核酸、叶绿素、酶的生物合成，对提高水稻的光合作用、增加同化产物，以及对水稻的生长发育和提高水稻的单位面积产量都是十分必要的（王永锐，1989）。

1.1 氮是合成氨基酸和蛋白质的重要成分

氮素是合成蛋白质的主要元素。水稻种子蛋白的含氮量为16.8%。蛋白质经过无机酸或碱水解后产生构成蛋白质基本单位的氨基酸。植物蛋白质可分为种子蛋白和原生质蛋白两类。种子蛋白可分为各类种子的胚蛋白和双子叶植物子叶及胚乳中的贮藏蛋白。各类蛋白质的氨基酸成分不相同，但化学结构有一个共同特点，即在氨基酸分子中含有由羧基（—COOH）和氮素构成的氨基（—NH₂）。

1.2 氮素与酶

蛋白质所具有的水解作用、颜色反应等性质，酶都

具有，因此，酶都是蛋白质。氮是蛋白质的成分，因此，氮也是酶的组成成分。水稻种子萌发时，淀粉酶分解淀粉成为糖，蛋白酶分解蛋白质成为氨基酸，脂肪酶分解脂肪成为脂肪酸和甘油。由于酶具有专一性（或称特异性），就使水稻体内的一系列化学反应有条不紊地迅速进行。

1.3 氮素与叶绿素及光合作用

从叶绿素 a 的分子式 $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ 和叶绿素 b 的分子式 $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ 看出，氮是叶绿素 a 和叶绿素 b 的组成成分。叶绿体中还含有胡萝卜素和叶黄素。叶绿素含量与蛋白质含量有着密切的关系。增施氮肥使水稻茎、叶器官蛋白质含量增多，叶片中叶绿素含量也增多，叶片的光合作用强度就提高。叶绿素尤其是叶绿素 a 是能够直接引起光合作用的主要色素，其他辅助色素，如叶绿素 b、胡萝卜素等所吸收的光能只有传递给叶绿素 a，才能进行光合作用。

1.4 氮素与糖类代谢

水稻根从土壤中吸收的铵与糖在水稻体内分解代谢过程中产生的丙酮酸、草酰乙酸和 α -酮戊二酸，经氨基化作用生成相应的丙氨酸、天门冬氨酸和谷氨酸。这些氨基酸是合成蛋白质的原料。因此，施用氮肥的数量会直接影响水稻植株的糖代谢和蛋白质代谢，从而影响到水稻植株的

形态特征和抗性能力。增施氮肥，会促进蛋白质的合成代谢，提高植株蛋白质含量，同时加快糖的分解代谢，降低植株糖类含量。施氮量适当，既可能增加水稻植株的蛋白质含量，又可能提高糖类含量，使水稻植株生长良好，谷粒产量上升。

第2章 水稻氮素营养的变化规律

2.1 生育期氮素营养的变化规律

水稻对氮素营养的反应十分敏感。它的敏感程度可以从施肥后叶色变乌、分蘖增多、叶面积增大、茎叶繁茂、器官干物质增重、谷粒蛋白质含量和谷粒产量的提高等变化看到，尤其以叶色变化更为明显。冠层叶片全氮含量在移栽后 30 d（即无效分蘖期）出现明显的高峰，含氮量最高达到 4%~5%，随后一直是下降的（图 2-1）。这是由于分蘖期叶片生长旺盛，氮素营养主要供应叶片生长，在无效分蘖期进行“搁田”处理，限制分蘖，开始拔节。随着水稻生长进入孕穗期，施保促肥，氮素营养主要供应于穗的生长发育，因此冠层叶片氮素营养开始减少。随着穗的抽出，氮素营养主要向穗部转移，冠层叶片氮素营养继续下降，直到灌浆期。功能叶片全氮含量在移栽后 12 d 即有效分蘖期出现高峰，全氮含量达 4%~5%，随后下降。但是第一片完全展开叶在分蘖期全氮含量变化相对平缓，在无效分蘖期到孕穗期下降较为明显，随后在孕穗至灌浆期又出现下降较为平缓的趋势（图 2-2）。第三片完全展开叶全氮含量一直保持着相似的下降趋势（图 2-3）。这说明在孕穗开始，叶片氮素营养向穗部转移，特别是上位叶氮素营养迅速向上转移，导致在无效分蘖期到孕穗期第一片完全展开叶全氮含量下降较为明显。随后由于下位叶片氮素营养不断向上转移，导致上位叶片氮素含量在孕穗至灌浆期又出现下降较为平缓的现象（图 2-2）。

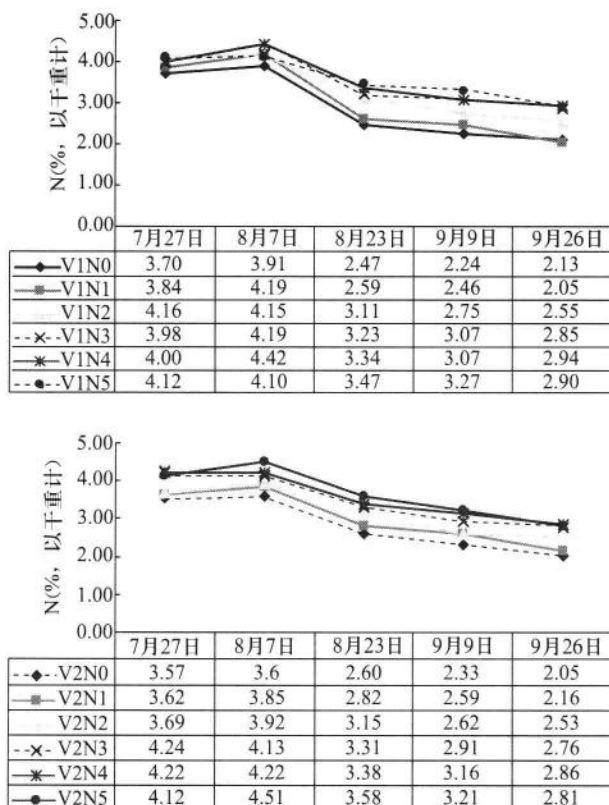


图 2-1 冠层叶片平均氮素含量

V1. 晚梗稻丙 9363 V2. 晚梗稻丙 9652 N0=0 N1=150 kg/hm²NN2=225 kg/hm²N N3=300 kg/hm²N N4=375 kg/hm²N N5=450 kg/hm²N

(引自张金恒, 2004)

水稻植株含氮量、叶片含氮量高峰发生时期与施肥水平关系不明显, 无论是高氮肥水平还是低氮肥水平甚至完全不施肥, 水稻植株含氮、水稻叶片含氮高峰期的发生时间几乎是一致的, 只有峰的高低有明显区别。会因为施肥量不同而每个生育期植株及叶片含氮量的差异很大, 供氮水平高的植株和叶片中、后