

Study on Model for Total Nitrogen of Wax Apple Leaves Based on the Spectrum by Analysis

Yongxia Liu¹, Bin Wu¹, Anbang Wang¹, Lixia Wang¹, Yingdui He¹, Junjie Ju², Bizun Wang^{1*}, Chuan Li³

¹Haikou Experimental Station, CATAS, Haikou Hainan

²Nanlin Electronics Co. Ltd., Nanjing Jiangsu

³Hainan Zhonghe Modern Agricultural Development Co., Ltd., Qionghai Hainan

Email: liuyongxia0926@163.com, `wbz366@yahoo.com.cn

Received: Jun. 20th, 2017; accepted: Jul. 7th, 2017; published: Jul. 10th, 2017

Abstract

With *Syzygium samarangense* as the research object and based on the field experiment, hyperspectral reflectance was measured by CropScan MSR16 in leaves of 5 and 6 years' *Syzygium samarangense*. This study has adopted stepwise regression to analyze the relationship between the original spectral reflectance and nitrogen concentration of in the leaf blade under different nitrogen levels to determine the sensitive wave bands and to build the model based on the original spectral reflection. Finally, the best estimate model has been attained after optimizing and testing. The results showed as follows: the sensitive wave lengths of the original spectrum under three levels of the content of nitrogen are 510, 560 and 1200 nm, and the correlation coefficients are 0.888**, 0.873**, 0.997** respectively. The quantitative monitoring model between different level of the content of nitrogen and the original spectrum band has been established with stepwise regression analysis and checking. Ultimately, the best prediction model is $Y = 0.63 X_{1200} + 4.104$. The research results will provide the theoretical basis for nutrition diagnosis, condition monitoring and yield estimation of *Syzygium samarangense*.

Keywords

Syzygium samarangense, Spectral, Nitrogen, Model

基于光谱分析的莲雾叶片全氮含量模型的研究

刘永霞¹, 吴斌¹, 王安邦¹, 王丽霞¹, 何应对¹, 鞠俊杰², 王必尊^{1*}, 李川³

¹中国热带农业科学院海口实验站, 海南 海口

*通讯作者。

文章引用: 刘永霞, 吴斌, 王安邦, 王丽霞, 何应对, 鞠俊杰, 王必尊, 李川. 基于光谱分析的莲雾叶片全氮含量模型的研究[J]. 自然科学, 2017, 5(3): 286-292. <https://doi.org/10.12677/ojns.2017.53039>

²南林电子有限公司, 江苏 南京

³海南中和现代农业发展有公司, 海南 琼海

Email: liuyongxia0926@163.com, wbz366@yahoo.com.cn

收稿日期: 2017年6月20日; 录用日期: 2017年7月7日; 发布日期: 2017年7月10日

摘 要

本研究以5年和6年莲雾为研究对象, 以田间试验为依托, 利用便携式光谱仪测定莲雾叶片的光谱反射率, 采用逐步回归法分析不同氮素水平下莲雾叶片原始光谱反射率与叶片氮素含量的关系, 确定敏感波段、构建基于原始光谱反射的模型, 最后, 经过对模型的优选与检验, 得出最佳的估测模型。研究结果如下: 莲雾叶片全氮含量的原始光谱的敏感波长为510、560、1200 nm, 相关系数分别为-0.888**、0.873**、0.997**, 对莲雾叶片全氮与原始光谱的敏感波段采用逐步回归分析法建立定量监测模型并进行检验, 最终确定的最佳预测模型为 $Y = 2.629 X_{1200} + 4.104$, 研究结果将为莲雾营养诊断、长势监测和估产等领域提供理论依据。

关键词

莲雾, 光谱, 氮素, 模型

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

氮素是莲雾(*Syzygium samarangense* (Bl.) Merr.et Perry)进行生命活动的必需元素, 缺氮会影响莲雾光合作用的正常进行, 莲雾结果膨大期, 由于结果过多, 莲雾树体营养消耗量较大, 养分供应不足, 会出现2~3次生理落果现象, 为了保证一定的产量, 应及早采取必要的措施防止大量落果现象的出现。因此, 适时可靠地监测莲雾开花结果期植株的氮素营养状况从而指导精确氮肥管理是现代莲雾栽培中迫切需要解决的问题。基于高光谱遥感和氮素营养状况估测, 可以弥补传统作物监测方法的不足, 为作物生产管理精确化和信息化提供有力的技术支持[1]。目前为了建立准确度更高、实用性更强的作物氮素营养监测与诊断模型, 国内外学者进行了大量研究: 牛铮等[2]发现2120和1120 nm处的叶片光谱反射率的一阶导数与鲜叶含氮量存在线性关系, 并建立了线性回归方程, 预测值与实测值相关度达80%; Osborne等[3]研究植物体内氮含量的预测在红光和绿光波段, 但是随着生育期不同具体预测波段也不同。朱艳等[4]提出的用归一化差值化植被指数NDVI监测稻麦叶氮含量具有较好的稳定性; 张金恒等[5]分析了水稻叶片红边一阶微分光谱与叶片光谱、叶绿素含量值、叶片光谱红边斜率和叶片含氮量之间的相关性, 建立了估测氮素含量的回归模型; 王纪华等[6]研究表明光谱反射率与叶片含氮量在820~1100 nm波段呈极显著正相关, 在1150~1300 nm波段呈显著相关。周启发等[7]研究表明水稻叶片 R_{NIR}/R_{Red} 值随着施氮量的增加而增加, 而稻穗 R_{NIR}/R_{Red} 值在不同氮处理下基本不变。谭昌伟等[8]在研究夏玉米光谱特征时发现 R_{653} 的导数值与叶片氮含量相关性较好。薛利红等[9]用近红外和绿光波段 R_{810}/R_{560} 的比值与群体冠层叶片氮积累量建立了线性关系, 定量监测了水稻冠导氮素营养状况; 王磊等[10]选择 R_{NIR}/Red 与叶片氮含量建

立估测模型, 经过回归分析和验证, 所建立的模型对玉米叶片氮素含量在玉米生育前期和生育后期估测具有较高可靠性和稳定性, 可进行玉米不同生育成长发育时期的氮素营养诊断。目前虽然利用光谱特征反演作物体内氮素研究已取得重要进展, 但多集中在玉米、水稻、小麦等禾谷类作物上, 而对莲雾的研究甚少。本研究拟通过建立基于各波段光谱反射率与莲雾叶片氮素含量估测模型, 以期今后遥感技术在莲雾生长与营养监测上的应用提供理论和技术依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验地概况

试验于 2015 年 1 月 9 日到 2016 年 8 月在琼海莲雾种植基地(阳江镇, 19°00'32.3"N, 110°14'06.2"E)进行。该地区属于热带季风及海洋湿润气候区, 年平均气温为 24℃, 年平均降雨量 2072 毫米, 年平均日照 2155 小时, 年平均辐射量为每平方 118.99 千卡, 终年无霜雪。选用种植在山地中的 4 年生黑金刚莲雾, 树高为 3 m, 每株有 5~6 个主枝, 株行距为 5 m × 5 m, 山地栽培。土壤 pH 值为 3.89, 有机质含量为 21.02 g/kg, 土壤水解性氮、有效磷和速效钾含量分别为 62.7、24.864、71.45 mg/kg, 肥力中等, 偏酸性。

2.2. 试验材料及试验设计

本试验设 5 个处理, 随机区组设计, 设有机无机配施(NPKM, N4)、50%有机无机配施(50% NPKM, N3)、当地施用有机肥(M, N2)量、当地传统单施化肥(NPK, N1)和不施肥(CK, N0)5 个处理, 每处理 15 棵树, 3 次重复。为了展示效果, 条状排列, 处理之间设隔离行。各处理的施肥量见表 1。施用肥料种类为尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 16%)和硫酸钾(含 K₂O 50%), 羊粪(含有机质 27.102%、N 2.03%、P₂O₅ 1.01%、K₂O 1.05%)。

2.3. 冠层光谱测定

冠层光谱反放射率采用 Cropscan MSR16 光谱辐射计, 分别于开花前、开花期、结果期选择天气晴朗、无风或微风条件下进行光谱测定, 测定时间为 10:00~14:00, 各光谱仪测量时探头均垂直向下测量时探头距冠层高度 1.5 m, 每处理测量 5 点, 取平均值作为该处理的光谱测量值。

2.4. 叶片养分测定

与光谱测定同步, 每处理分东、南、西、北四个方向各取 20 片叶子, 放入恒温干燥箱内烘干, 分别称重, 得干重, 粉碎, 再采用凯氏定氮法测定叶片全氮含量, 具体参考孙金英[1]。

Table 1. The experimental plan

表 1. 试验方案

处理编号	N (kg/plant)	P ₂ O ₅ (kg/plant)	K ₂ O (kg/plant)	羊粪(kg/plant)
N0	0	0	0	0
N1	0.2	0.12	0.2	0
N2	0	0	0	20
N3	0.1	0.06	0.1	10
N4	0.2	0.12	0.2	20

2.5. 数据处理

采用 SPSS17.0、EXCEL2010 及 Sigmaplot10.0 统计软件处理试验数据。2015 年数据用于建模，2016 年数据用于模型检验。

2.6. 模型检验

采用国际上通用的根均方差 RMSE (root mean square error), 对模拟值和观测值的误差进行统计分析, 具体参考刘永霞等[11]研究。

3. 结果与分析

3.1. 不同施氮水平对莲雾叶片全氮含量的影响

由表 2 可以看出, 不同施氮量对莲雾叶片全氮含量影响也不同, 随着施氮量的增加叶片全氮含量呈先增加后减小的趋势。不同处理叶片全氮含量表现为 $N_2 > N_3 > N_4 > N_1 > N_0$ 。不同施氮水平下莲雾叶片全氮含量的变化为光谱监测提供了可靠的生理基础。

3.2. 不同施氮水平对莲雾叶片光谱反射率的差异

对莲雾叶片进行光谱分析, 由图 1 显示, 不同施氮水平下叶片表现出明显的光谱差异。在可见光波段 460~710 nm 区间有个较高的光谱曲线峰, 其中在蓝光区 500 nm 和红光区 680 nm 左右是叶绿素的强烈吸收波段, 导致这两个波段处的反射率出现了低谷; 而在绿光区 550 nm 左右和 660 nm 左右是叶绿素的强烈反射波段, 出现了反射峰, 这与王植[12]、易时来[13]、李敏夏[14]等研究的光谱反射特征一致。在 760 nm~1100 nm 出现了一个平台, 在这个平台随着叶片氮素含量的增加, 原始光谱反射率逐渐降低, 这与李萍[15]等研究结果一致。因此, 这两个特征波段(550~760 nm, 760~1000 nm)都可以有效区分不同施氮水平的光谱差异。及近红外波段 1100~1260 nm。

在可见光波段, 随着莲雾植株氮积累量的提高, 反射率降低; 在红光到近红外的过渡区域(红边区域), 莲雾冠层光谱反射率迅速上升, 低氮积累量的冠层光谱反射率, 上升较快, 而高氮积累量的冠层光谱反射率上升较慢; 在近红外波段, 随着植株氮积累量的增加, 莲雾冠层光谱反射率也相应升高。

3.3. 莲雾叶片全氮含量与原始光谱反射率相关性分析

从表 3 相关分析结果可见, 叶片全氮含量与可见光波段(460~760 nm)反射率呈负相关关系, 与 560 与 610 nm 处呈极显著负相关关系。在 760~1100 nm 间相关系数均在 6.42~8.46 之间, 比较平稳, Walburg [16]等研究表明该波段光谱是叶面积和生物量反应敏感的区域, 主要是由于叶片全氮含量与叶面积指数和生物量等参数间存在显著的相关性。原始光谱反射率与叶片含氮量在 1200 nm 波段呈极显著正相关关系, 相关系数高达 0.997。

3.4. 莲雾叶片氮含量与叶片原始光谱之间的关系

在表 4 相关分析的基础上, 对莲雾叶片氮含量与原始光谱进行了逐步回归分析, 回归分析表明, 回归方程中包含常数项(Constant)和自变量 1200 nm 波段反射率; 叶片总含氮量模型为:

$$Y = 2.629X_{1200} + 4.104. \quad (1)$$

式(1)中常数项与 1200 nm 波段反射率的显著水平都小于 0.01, 在一定范围内, 随着叶片 1200 nm 原始光谱反射率的增强而增加, 这与王纪华等[6]研究结果相同。

Table 2. The total nitrogen content of Wax apple leaves under different levers of N
表 2. 不同氮肥处理的莲雾叶片全氮含量

处理编号	叶片全氮含量/(g/kg)
N0	16.180e
N1	18.146d
N2	26.658a
N3	24.224b
N4	22.056c

注：不同小写字母表示处理间显著性差异达 5% ($p < 0.05$)，即差异达显著水平。

Table 3. Correlation between the leaf total nitrogen concentration and the spectral reflectance
表 3. 莲雾叶片全氮含量与原始光谱反射率相关性

	N	nm 460	nm 510	nm 560	nm 610	nm 660	nm 680	nm 710	nm 760
Pearson 相关	1	-0.672	-0.837*	-0.973**	-0.319	-0.319	-0.863	-0.855	0.642
Sig. (2-tailed)		0.214	0.077	0.015	0.012	0.601	0.059	0.065	0.243
N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	N	nm 810	nm 870	nm 950	nm 1100	nm 1200	nm 1300	nm 1500	nm 1650
Pearson 相关	1	0.824	0.728	0.705	0.846	0.997**	0.807	0.353	-0.313
Sig. (2-tailed)		0.086	0.163	0.29	0.071	0.00	0.099	0.56	0.608
N	5	5	5	5	5	5	5	5	5

注：*表示处理间显著性差异达 5% ($p < 0.05$)，**表示处理间显著性差异达 1% ($p < 0.01$)，即差异达显著水平，下同。

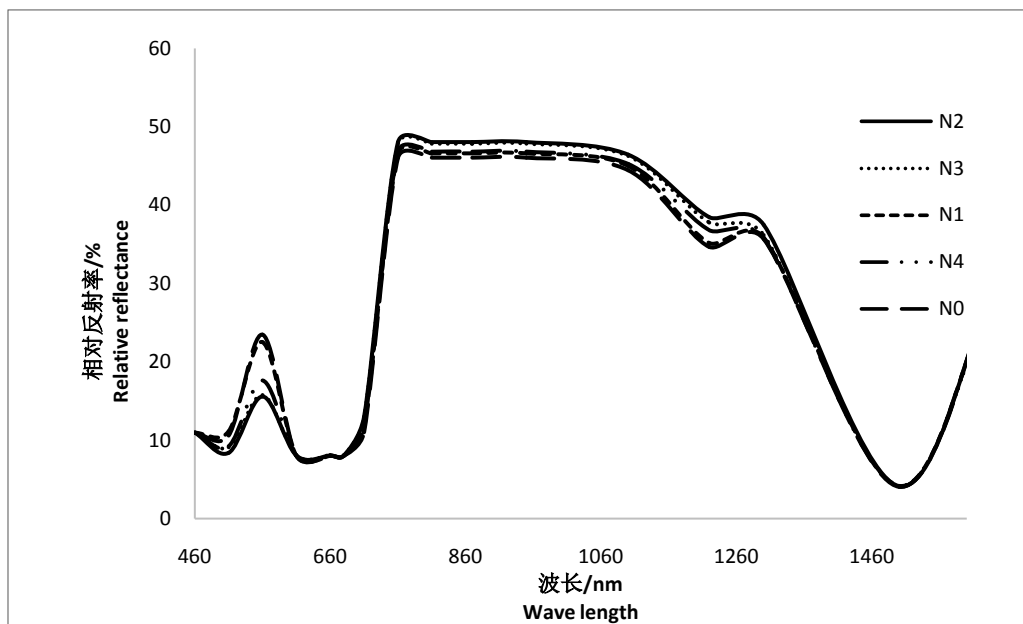


Figure 1. Changes in spectral reflectance of with Wax apple varied leaf nitrogen concentration
图 1. 不同施氮水平的莲雾叶片光谱反射率变化

Table 4. Regression analysis between the leaf total nitrogen concentration and the spectral reflectance
表 4. 莲雾叶片全氮含量与叶片反射率的回归分析

项目	回归系数 B	标准误	回归系数 显著水平 P.	共线性诊断	
				容忍度	膨胀因子
(Constant)	4.104	0.785	0.014		
nm 1200	2.629	0.116	0.045	1.000	1.000

$P < 0.05$, 说明回归系数达显著水平; $P < 0.01$, 说明回归系数达极显著水平。

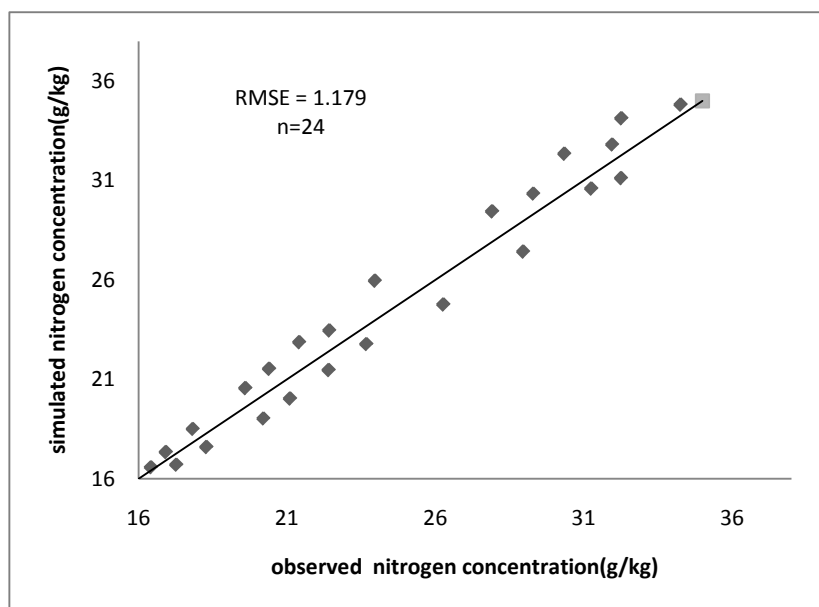


Figure 2. The comparison of observed values with simulated values in 2016
图 2. 2016 年叶片全氮含量观测值与模拟值比较

3.5. 模型检验

利用 2016 年独立试验资料对模型进行了检验, 输入相应的光谱波段 1200 nm 的原始光谱反射率值, 可得到相应的叶片总氮含量的模拟值。图 2 是模型实测值与模拟值的 1:1 关系, 图 2 的根均方差为 1.179 g/kg, 说明用上述模型反演叶片总氮含量, 实测值与模拟值拟合较好。

4. 讨论与结论

本研究运用作物冠层多光谱探测技术以用莲雾生理生化测试技术, 分析了开花坐果期不同处理水平下莲雾氮素营养指标与光谱反射率的关系, 在可见光波段 460~710 nm 及近红外波段 1100~1260 nm 光谱曲线峰谷变化明显, 在 760~1100 nm 出现了一个较高的反射平台, 相关系数均在 0.7 以上, 在这个平台随着叶片氮素含量的增加, 原始光谱反射率逐渐降低, 因此该波段光谱原始反射率的高低也可以直观地判断莲雾叶片氮素含量的高低; 在分析的基础上建立了氮素与原始光谱反射率的模型, 模型采用逐步回归分析, 经检验以 1200 nm 为自变量的模型最佳, 模型为遥感技术在莲雾生长与氮素营养监测上的应用提供了理论和技术依据, 不过本研究还存在一些明显不足, 由于作物的生物体结构、化学组成的复杂性和高光谱遥感对环境条件、研究对象的高度敏感性, 使得高光谱遥感在研究农作物的生物化学参数时具有不稳定性, 这为高光谱遥感在农业上的实际应用带来一定的困难[17], 而本研究只研究了开花坐果期间它们间

的关系, 能不能适用于不同生育期的莲雾氮素营养指标与光谱反射率的关系, 作者将在后期继续研究, 以期莲雾整个生育期的氮素营养监测提供完备的理论和依据。

基金项目

海南省重大项目《基于光谱技术的莲雾精准化施肥技术的示范与推广》(ZDXM2015002)资助。

参考文献 (References)

- [1] 孙金英. 基于冠层反射光谱的油菜生长与氮素营养监测研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [2] 牛铮, 陈永华, 随洪智, 等. 叶片化学组分成像光谱遥感探测机理分析[J]. 遥感学报, 2000, 4(2): 125-129.
- [3] Osborne, S.L., Schepem, J.S., Francis, D.D., *et al.* (2002) Detection of Phosphorus Anti Nitrogen Deficiencies in Corn Using Spectral Radiance Measurements. *Agronomy Journal*, **94**, 1215-1221. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.1215>
- [4] 朱艳, 李映雪, 周冬琴, 等. 稻麦叶片氮含量与冠层反射光谱的定量关系[J]. 生态学报, 2006, 26(10): 3463-3469.
- [5] 张金恒, 王珂, 王人潮. 红边参数 LRPISA 评价水稻氮素营养的可行性研究[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2003, 21(4): 349-360.
- [6] 王纪华, 黄文江, 赵春江, 等. 利用光谱反射率估算叶片生化组分和籽粒品质指标研究[J]. 遥感学报, 2003, 7(4): 277-284.
- [7] Zhou, Q.F. and Wang, J.H. (2003) Leaf and Spike Reflectance Spectra of Rice with Contrasting Nitrogen Supplemental Levels. *International Journal of Remote Sensing*, **24**, 1587-1593. <https://doi.org/10.1080/0143116031000066288>
- [8] 谭昌伟, 王纪华, 黄文江, 等. 夏玉米叶片全氮、叶绿素及叶面积指数的光潜响应研究[J]. 西北植物学报, 2004, 24(6): 1041-1046.
- [9] 薛利红, 曹卫星, 罗卫红, 等. 基于冠层反射光谱的水稻群体叶片氮素状况监测[J]. 中国农业科学, 2003, 36(7): 807-812.
- [10] 王磊, 白由路, 卢艳丽, 王贺, 杨俐苹. 基于光谱分析的玉米氮素营养诊断[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 333-340.
- [11] 刘永霞, 岳延滨, 刘岩, 等. 不同品种和氮肥条件下水稻根系主要几何参数动态量化研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(9): 1782-1790.
- [12] 王植, 周莲第, 李红, 等. 桃树叶片氮素含量的高光谱遥感监测[J]. 中国农学通报, 2011, 27(4): 85-90.
- [13] 易时来, 邓烈, 何绍兰, 等. 锦橙叶片氮含量可见近红外光谱模型研究[J]. 果树学报, 2010, 27(1): 13-17.
- [14] 李敏夏, 张林森, 李丙智, 等. 苹果叶片高光谱特性与叶绿素含量和 SPAD 值的关系[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(2): 35-39.
- [15] 李萍. 基于光谱分析的库尔勒香梨叶片全氮、全磷含量估测模型的建立[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2013.
- [16] 陈魏涛. 基于光谱的油菜植株氮素养分监测模型研究[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [17] 唐延林. 水稻高光谱特征及其生物理化参数模拟与估测模型研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2004.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojs@hanspub.org