

基于高光谱优化 NDVI 值反演玉米叶片氮含量

赵明家 张忠庆 李志洪*

(吉林农业大学 资源与环境学院, 长春 130118)

摘要 为研究基于高光谱优化 NDVI 值在反演喇叭口期玉米叶片氮含量的可行性,使用 FieldSpec3.0 光谱仪和 GreenSeeker 分别对不同施氮量下玉米叶片的光谱反射率和 NDVI 进行了测定,并对 NDVI 值进行了提取和优化,建立玉米叶片氮含量优化 NDVI 反演模型,对其反演精度进行验证。结果显示:优化 NDVI 值与 NDVI 测定值、玉米叶片氮含量均呈显著正相关($r=0.913\ 2, 0.949\ 8$),优化 NDVI 值对玉米叶片氮含量反演精度达到显著水平($r=0.908\ 1$),反演精度高于 NDVI 测定值。优化 NDVI 值能通过群体的速测来决策玉米叶片的氮含量,为玉米进行氮营养诊断提供新的技术支持,具有重要的现实意义。

关键词 高光谱;NDVI;玉米;氮营养

中图分类号 S 513; O 613.61 文章编号 1007-4333(2014)06-0056-06 文献标志码 A

NDVI value optimization and nitrogen content inversion of maize leaf based on the high spectrum

ZHAO Ming-jia, ZHANG Zhong-qing, LI Zhi-hong*

(College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract The Field Spec 3.0 spectrometer and GreenSeeker were used to measure spectral reflectance and NDVI respectively in maize leaf under different nitrogen rates. The NDVI was drew and optimized. The model was established for inverting the nitrogen content in maize leaf and then the inversion accuracy was verified. The purpose was to understand the feasibility of inverting nitrogen content of maize leaf at bell stage with the optimized NDVI value based on the high spectrum. The results showed that there was significant positive correlation between the optimized NDVI and measured NDVI and the nitrogen content of maize leaf ($r = 0.913\ 2^*$, $0.949\ 8^*$). The inversion accuracy of the optimized NDVI to the nitrogen content of maize leaf reached to a significant level ($r = 0.908\ 1^*$), and was higher than the measured NDVI. The optimized NDVI might determine the nitrogen content of maize leaf by speed measurement of group, and provide new technology support to nitrogen nutrition diagnosis for maize, which had important practical role.

Key words high spectrum; NDVI; maize; nitrogen nutrition

光谱技术以其快速、实时获取作物生长信息而成为现代农业研究热点^[1-6],植被指数被广泛应用于作物生长信息方面的研究,归一化差值植被指数(Normalized difference vegetation index, NDVI)是利用绿色植物对红光的低反射率和对近红外光的高反射率的光谱特征值计算的植被指数,能够很好地反映作物的生长状况,是研究较多的植被指数之

一^[7-11],因此通过光谱技术不断优化 NDVI 值对指导玉米氮营养诊断具有重要意义。国内外学者也开展了该方面研究,如卢艳丽等^[12]和郭建华等^[13]利用 GreenSeeker 测得 NDVI 值诊断春玉米氮素营养状况;王磊等^[14]使用 GreenSeeker 测定了冬小麦不同生育期 NDVI 值,使用灌浆初期和灌浆末期的 NDVI 值预测冬小麦产量;姚付启等^[15]对 10 种常

收稿日期:2014-04-11

基金项目:吉林省科技厅重点项目(20120208);国家自然科学基金资助项目(40671124)

第一作者:赵明家,博士研究生,E-mail:zhaomingjiapyh@163.com

通讯作者:李志洪,教授,博士生导师,主要从事农业遥感在氮营养诊断中的应用及精准施肥研究,E-mail:lizhihong21@163.com

见的光谱指数进行对比分析,指出 NDVI 与叶片叶绿素含量关系最为密切;陈兵等^[16]使用新建归一化植被指数(NDVI_[702,758])估算了棉花色素含量,精度较高;张俊华等^[17]选择的 NDVI(560,760)可以准确拟合夏玉米叶片叶绿素含量;Gianquinto G 等^[10]研究表明 NDVI 可用于反演作物氮含量。上述研究均通过计算特定波长下的 NDVI 值来反演不同作物叶片氮营养状况,没有考虑到红边位移对计算 NDVI 值造成的影响,因此本研究以生长在东北典型黑土上的春玉米为研究对象,采用 FieldSpec 3.0 光谱仪测定了不同施氮量玉米喇叭口期冠层叶片的高光谱,采用近红外波段光谱反射率最大值和红光波段光

谱反射率最小值计算了不同氮含量叶片的 NDVI 值,同时与 GreenSeeker 光谱仪^[18]测定的 NDVI 值对比分析,旨在通过优化 NDVI 值来反演玉米叶片氮含量,进一步确定其在玉米喇叭口期反演叶片氮含量的可靠性,为玉米氮营养诊断提供新的技术支持。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验于 2013 年 4—11 月在吉林农业大学农业科学试验站进行,供试土壤类型为草甸黑土,已连续多年种植玉米,地势平坦,土壤肥力均匀,其基本理化性状见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性状

Table 1 Basic physico-chemical properties of the soil for tested

| 有机质/(g/kg) Content of organic matter | 全氮/(g/kg) Total nitrogen | 速效氮/(mg/kg) Available nitrogen | 速效磷/(mg/kg) Available phosphorus | 速效钾/(mg/kg) Available potassium | pH |
|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----|
| 29.7 | 1.2 | 127.0 | 48.3 | 180.1 | 6.2 |

1.2 供试玉米

供试玉米品种永丰 2 号,为吉林省大面积推广种植的品种。种植密度为:垄宽 65 cm,株距 30 cm,51 000 株/hm²,田间管理按常规进行。

1.3 试验处理

共设 6 个施肥处理,3 次重复,小区面积为 30 m²,采用随机区组设计,处理号及施肥量详见表 2。

表 2 试验处理及施肥量

Table 2 Experiment processing and fertilizer application rate

| 处理 Manage | 施肥方法 Fertilizing method | 施氮量 Nitrogen application rate | P ₂ O ₅ 用量 P ₂ O ₅ application rate | K ₂ O 用量 K ₂ O application rate |
|--------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| N1 | 基肥 | 0 | 80 | 100 |
| N2 | 基肥 | 30 | 80 | 100 |
| N3 | 基肥 | 60 | 80 | 100 |
| N4 | 基肥 | 90 | 80 | 100 |
| N5 | 基肥 | 190 | 80 | 100 |
| N6 | 基肥 | 225 | 80 | 100 |

1.4 精密仪器及参数

采用仪器为 Field Spec 3.0 光谱仪(美国 ASD 公司)基本技术参数:光谱范围:350~2 500 nm;采样间隔:其中 350~1 000 nm 光谱采样间隔为 1.4 nm,1 000~2 500 nm 光谱采样间隔为 2 nm;光谱分辨率:350~1 000 nm 范围内为 3 nm;1 000~2 500 nm 范围内为 10 nm。Greenseeker 仪器(美

国 Ntech 公司)为主动遥感,其中红光波段为(671±6) nm,近红外光波段为(780±6) nm,光谱宽幅为 0.6 m。连续流动注射分析仪(SKALAR SAN⁺⁺,荷兰)。

1.5 光谱数据采集

田间玉米冠层叶片光谱测定,在玉米喇叭口期(2013 年 7 月 5 日)选择在天气晴朗,无风或微风情

况下进行,测量的时间范围为 10:00—12:00,观测时传感器探头垂直朝下,距玉米冠层叶片 30 cm 左右。每个数据采集区内测量 10 次,取平均值作为该小区的光谱反射值。测量过程中及时进行标准白板校正,并且在每组目标的观测前后均以参考板标定。

田间 GreenSeeker 测量玉米冠层叶片 NDVI 值,在玉米喇叭口期(2013 年 7 月 5 日)选择晴朗无阴雨的上午,在每一个小区选取长势均匀的 5 行玉米,固定每行长度,在测试行两端均留出一段保护距离(防止边际效应对测定结果的影响),取 5 行的平均值作为该小区处理的测定值,在测试过程中尽量保持匀速行进,将光谱探照头平行于玉米植被冠层,垂直高度大约 50 cm。

1.6 玉米叶片氮含量测定

玉米叶片氮采用浓硫酸—过氧化氢消煮^[19],连续流动分析仪测定。

1.7 NDVI 值的提取

NDVI 值的提取分为 2 种,通过 FieldSpec 3.0 光谱仪测定的光谱反射率计算的优化 NDVI 值(简称 NDVI 计算值,公式 1 所示)和 GreenSeeker 仪器直接测定读取的 NDVI 值(简称 NDVI 测定值,公式 2 所示),其原理及计算公式分别如下为

$$\text{NDVI 计算值} = (\text{NIR}_{\max} - R_{\min}) / (\text{NIR}_{\max} + R_{\min}) \quad (1)$$

$$\text{NDVI 测定值} = (\text{NIR}_{780} - R_{670}) / (\text{NIR}_{780} + R_{670}) \quad (2)$$

式中: NIR_{780} 表示近红外波 780 nm 处光谱反射率, NIR_{\max} 表示近红外波段光谱反射率最大值, R_{670} 表示红光波 670 nm 处光谱反射率, R_{\min} 表示红光波段光谱反射率最小值。

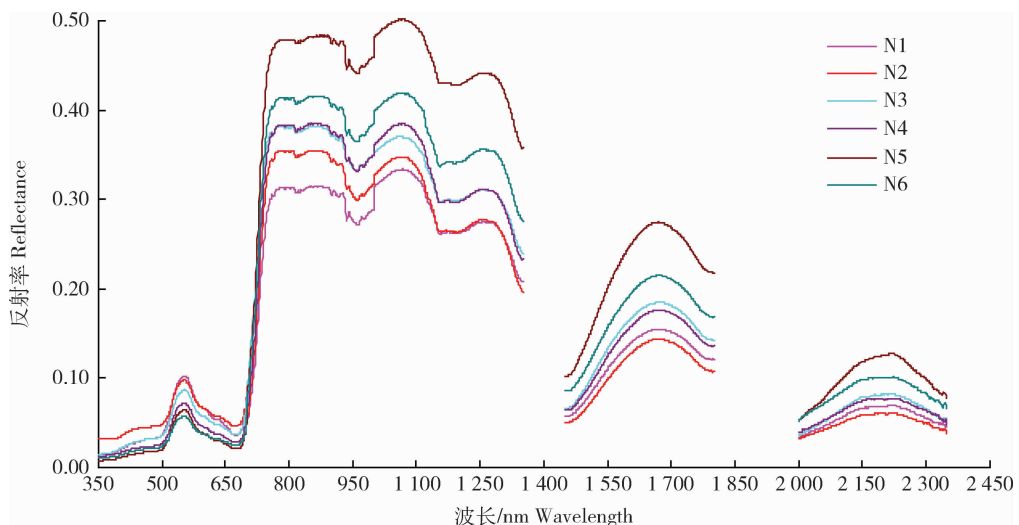
1.8 数据处理

数据采集完毕后,利用 ASD 数据处理软件 ViewSpec Pro 对原始数据进行预处理。对每一个数据采集区的实测数据取平均值,作为该区域的测量值。使用 Excel 进行图片的绘制。

2 结果与分析

2.1 不同施氮量下玉米叶片光谱反射率

测定了不同施氮量条件下玉米喇叭口期冠层叶片光谱反射率,从图 1 中可以看出:不同氮处理条件下在 350~700 nm 光谱范围其光谱曲线趋势一致,550 nm 处 N1 处理光谱反射率普遍高于其他处理,反射曲线随着施氮量增加呈现下降趋势;在 750~1 350 nm 范围内 N1 处理反射率最小,随着施氮量的增加光谱反射曲线整体上呈现上升趋势;在 1 450~1 800 nm 范围内随着施氮量的增加光谱反射呈现先增加后降低的趋势;在 2 000~2 350 nm 范围内玉米喇叭口期冠层光谱反射率呈现先上升后稍微下降的趋势;近红外波段光谱和红光波段光谱反射率均随施氮量变化而变化。



注:N1、N2、N3、N4、N5 和 N6 为 6 个不同基肥施肥处理,施氮量分别为 0、30、60、90、190 和 225 kg/hm²、P₂O₅ 用量均为 80 kg/hm²、K₂O 用量均为 100 kg/hm²。

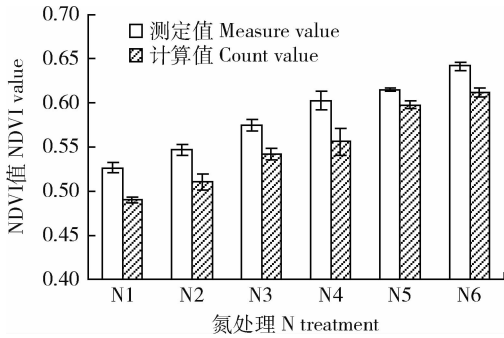
Note: N1, N2, N3, N4, N5 and N6 for six different basal fertilizer treatment, nitrogen application rate respectively were 0, 30, 60, 90, 190, 225 kg/hm², P₂O₅ application rate were 80 kg/hm², K₂O application rate were 100 kg/hm².

图 1 不同施氮量下玉米叶片光谱反射率

Fig. 1 Maize leaves' spectral reflectance under different N application

2.2 不同施氮量下玉米叶片 NDVI 值差异

对不同施氮量下玉米叶片 NDVI 值进行了比较,分为 NDVI 测定值和 NDVI 计算值,从图 2 中可以看出,随着施氮量的增加 NDVI 测定值和 NDVI 计算值均呈现增加的趋势,处理间差异显著,NDVI 计算值中 N3 和 N4 处理差异不显著,其他各处理均达到差异显著水平,整体上看不同施氮量处理下优化 NDVI 值(NDVI 计算值)低于 NDVI 测定值。



注: N1、N2、N3、N4、N5 和 N6 为 6 个不同基肥施肥处理,施氮量分别为 0、30、60、90、190、225 kg/hm²、P₂O₅ 用量均为 80 kg/hm²、K₂O 用量均为 100 kg/hm²。

Note: N1, N2, N3, N4, N5 and N6 for six different basal fertilizer treatment, Nitrogen application rate respectively were 0, 30, 60, 90, 190, 225 kg/hm², P₂O₅ application rate were 80 kg/hm², K₂O application rate were 100 kg/hm². The same below.

图 2 不同施氮量下玉米叶片 NDVI 值差异
Fig. 2 Difference of maize leaf NDVI value under different N application

2.3 NDVI 测定值与计算值相关性

选择不同施氮量条件下 86 个样本,将 NDVI 计算值和 NDVI 测定值进行相关性分析,如图 3 所示,相关系数 r 为 0.913 2,均达到差异显著水平。说明优化 NDVI 值和 NDVI 测定值有很好的相关性。

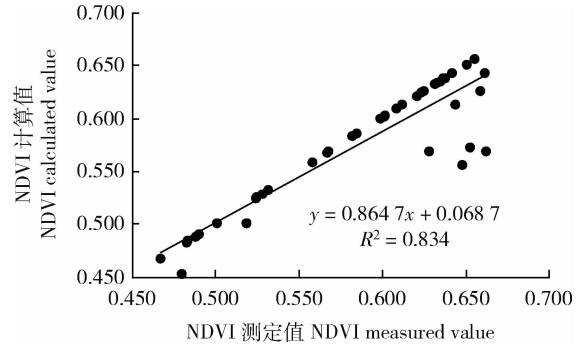


图 3 NDVI 测定值与 NDVI 计算值相关性
Fig. 3 Relevance of NDVI measurement and NDVI calculated value

2.4 玉米叶片氮含量的 NDVI 反演

分别测定了不同施氮量条件下玉米叶片全氮含量,同时与 NDVI 测定值及 NDVI 计算值做相关性分析,并分别反演玉米叶片氮含量,研究结果如图 4 所示。图 4(a)显示玉米叶片 NDVI 测定值与叶片氮含量呈现较好的指数相关性,相关系数 r 为 0.888 1,达到显著水平;图 4(b)为玉米叶片 NDVI

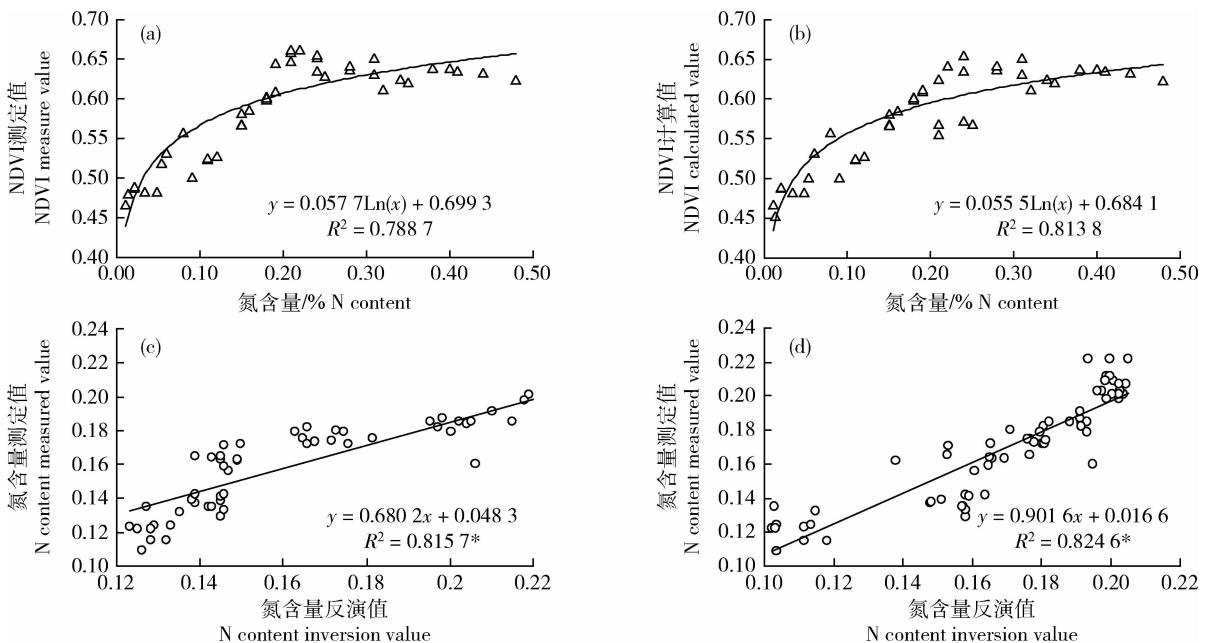


图 4 玉米叶片氮含量的 NDVI 反演

Fig. 4 NDVI inversion of nitrogen content of maize leaves

计算值与叶片氮含量的相关性,同样呈现较好的指数相关性,相关系数为 0.902 1,达到极显著水平;图 4(c)为玉米叶片 NDVI 测定值反演叶片氮含量与叶片氮含量的相关性,共计选择了不同施氮量下的 71 个样本,反演系数 $R^2=0.815 7$,达到显著水平,说明玉米叶片光谱 NDVI 测定值能够较好的反演叶片氮含量;图 4(d)为玉米叶片 NDVI 计算值反演叶片氮含量与叶片氮含量的相关性,同样选择了 71 个样本,反演系数 $R^2=0.824 6$,同样达到显著水平,同时也说明玉米叶片光谱 NDVI 计算值同样能够较好的反演叶片氮含量。

综上所述,NDVI 测定值和 NDVI 计算值均与玉米叶片氮含量呈现显著的相关性,NDVI 测定值与玉米叶片氮含量相关性小于 NDVI 计算值,二者均能很好的反演不同施氮量条件下玉米叶片的氮含量,反演精度均达到显著水平,NDVI 测定值反演玉米叶片氮含量的精度小于 NDVI 计算值。

3 讨论与结论

在一定施氮量范围内玉米叶片 NDVI 值与叶片氮含量呈现出显著正相关^[11,13-14],本研究得到一致的结论;考虑到不同施氮量条件下、不同氮含量叶片光谱反射率存在着红边位移现象^[20-22],文中优化 NDVI 值采用的是近红外波段光谱反射率最大值和红光波段光谱反射率最小值来计算(公式 1),这区别于传统的使用高光谱的某一特定波长来计算 NDVI 值^[16-17],避免了红边位移对计算结果的影响,提供了一种新的植被指数的计算方法,同时对这一方法进行了验证:优化 NDVI 值和 NDVI 计算值二者具有较好的相关性,同时优化 NDVI 值和 NDVI 计算值与叶片氮含量有显著的正相关,能很好的反演不同施氮量条件下玉米叶片的氮含量,反演精度均达到显著水平,从侧面上也说明了优化 NDVI 值可以指示玉米叶片氮素盈缺情况,进而来指导玉米氮肥的使用,但本研究中优化 NDVI 值与玉米叶片氮含量相关性以及对玉米叶片的氮含量反演精度优于 NDVI 测定值,原因可能是由于 2 种方法得到的 NDVI 值在野外的测量方式及计算方式存在一定的区别,但二者反演精度均达到显著水平。因此优化 NDVI 值能快速、实时获取玉米叶片氮含量状况,为指导喇叭口期玉米氮营养诊断提供新的技术支持,能够满足实际应用需要,具有重要的现实意义,但是优化 NDVI 在不同气候类型、不同玉米品种和种植

方式等上的应用还需进一步验证。

致谢 感谢中国科学院东北地理与农业生态研究所王宗明教授在试验设计及论文撰写方面给与的指导,感谢邵甜甜博士在试验过程中有关仪器 ASD FieldSpec 3.0 光谱仪的使用和数据处理中给予的帮助。

参 考 文 献

- [1] 王磊,白由路.不同氮处理春玉米叶片光谱反射率与叶片全氮和叶绿素含量的相关研究[J].中国农业科学,2005,38(11):2268-2276
- [2] 齐述华,李子忠,王长耀.棉花作物系数的遥感获取:以新疆石河子棉花垦区为例[J].中国农业大学学报,2007(03):19-24
- [3] Andres V, Anatoly A. G, Anthony L, et al. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops[J]. Remote Sensing of Environment, 2011,115:3468-3478
- [4] Eileen M P, Glenn J F, James G, et al Rapid estimation of canopy nitrogen of cereal crops at paddock scale using a canopy chlorophyll content index[J]. Field Crops Research,2012,134:158-164
- [5] Amit K, Manjunath K R, Meenakshi, Renu B, et al. Field hyperspectral data analysis for discriminating spectral behavior of tea plantations under various management practices [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2013,23:352-359
- [6] Clevers J G P W, Gitelson A A. Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and-3 [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2013,23:344-351
- [7] Chen J F, Chen K M, Xu J B. Research on the remote sensing monitoring of grassland productivity based on TM-NDVI[J]. Agric Sci & Technol,2011,12:119-122
- [8] Mullen R W, Freeman K W, Raun W R, et al. Identifying an in-season response index and the potential to increase wheat yield with nitrogen[J]. Agron J,2003,95:347-351
- [9] Teal R K, Tubana B, Girma K, et al. Inseason prediction of corn grain yield potential using normalized difference vegetation index [J]. Agron J,2006,98:1488-1494
- [10] Gianquinto G, Orsini F, Fecondini M, et al. A methodological approach for defining spectral indices for assessing tomato nitrogen status and yield[J]. Eur J Agron,2011,35:135-143
- [11] 王爽,马占鸿,王学进,等.小麦条锈病单叶片光谱和叶绿素含量关系分析[J].中国农业大学学报,2012(01):60-64
- [12] 卢艳丽,白由路,杨俐苹,等.利用 GreenSeeker 法诊断春玉米氮素营养状况的研究[J].玉米科学 2008,16(1):111-114
- [13] 郭建华,王秀,孟志军,等.主动遥感光谱仪 Greenseeker 与

- SPAD对玉米氮素营养诊断的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 43-47
- [14] 王磊, 白由路, 卢艳丽, 等. 基于 GreenSeeker 的冬小麦 NDVI 分析与产量估算[J]. 作物学报, 2012(04): 747-753
- [15] 姚付启, 张振华, 杨润亚, 等. ANFIS 在植被叶绿素含量高光谱反演中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2010(07): 1834-1838
- [16] 陈兵, 李少昆, 王克如, 等. 病害胁迫下棉花叶片色素含量高光谱遥感估测研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010(02): 421-425
- [17] 张俊华, 张佳宝, 钦绳武. 不同施肥长期定位试验地夏玉米冠层光谱特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010(04): 874-879
- [18] William R R, Gordon V J. Improving nitrogen use efficiency for cereal production[J]. Agron J, 1999, 91: 357-36
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 49-50
- [20] Onesimo Mutanga, Andrew K. Skidmore. Red edge shift and biochemical content in grass canopies[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007, 62(1), 34-42
- [21] 唐延林, 黄敬峰, 王秀珍, 等. 水稻、玉米、棉花的高光谱及其红边特征比较[J]. 中国农业科学, 2004(01): 29-35
- [22] 李振, 安宏明, 苏凯, 等. 夏玉米红边参数特征及与叶绿素、干物质相关性的研究[J]. 玉米科学, 2012(02): 87-91

责任编辑: 王燕华