

基于冠层反射光谱的大豆生物量预测模型研究

徐新娟,张晋玉,晁毛妮,王小龙,黄中文

(河南科技学院 生命科技学院/现代生物育种河南省协同创新中心,河南 新乡 453003)

摘要:生物量与产量密切相关,建立生物量无损预测模型对于大豆产量预测及栽培管理均有重要意义。通过分析大豆生物量积累量与冠层光谱反射率及其衍生的比值植被指数(RVI)、归一化植被指数(NDVI)及差值植被指数(DVI)之间的关系,确立大豆生物量积累量的敏感波段及预测模型。结果表明:冠层光谱反射率在560 nm 时与大豆地上生物量相关系数最大($R=-0.91, P<0.05$),三个可见光波段(485、560 和 660 nm)和两个近红外波段(830 和 1 650 nm)组成的比值植被指数 RVI(830 和 560 nm)与大豆生物量积累量的相关系数显著。通过逐步回归分析确立大豆生物量的预测模型,560 nm 反射率与大豆地上生物量相关关系的决定指数 R^2 高达 0.85,RVI 830_560 与大豆地上生物量相关关系的决定指数 R^2 为 0.77。

关键词:遥感;植被指数;生物量;预测模型;大豆

中图分类号:TP79;S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2017)09-0119-05 **DOI:**10.11942/j.issn1002-2767.2017.09.0119

大豆是重要的粮油作物,也是人类植物蛋白和植物油的主要来源。大豆产量较低,随着人们

对大豆需求的不断增加,大豆产量的形成和预测一直是研究的重要内容。生物量是形成作物经济产量的基础,也是作物长势监测以及产量估算的一个重要指标^[1]。传统的生物量测定结果相对准确,但其方法难度大、费时费力、难以大面积开展,并具有一定的破坏性。近年来,遥感技术的蓬勃发展为作物生长监测提供了新的方法和手段^[2]。

遥感技术是从远距离感知目标反射或自身辐射的电磁波、可见光、红外线从而对目标进行探测

收稿日期:2017-06-12
基金项目:河南省教育厅高等学校重点科研资助项目(15B210002、17A210010)
第一作者简介:徐新娟(1979-),女,河南省漯河市人,硕士,实验师,从事植物营养生理及光合生理研究。E-mail: xinxinjuan_xu@163.com。
通讯作者:黄中文(1971-),男,河南省潢川县人,博士,教授,从事大豆分子育种研究。E-mail: hzw@hist.edu.cn。

Research on Practical Teaching System of Tree Seeds and Seedling Nursery Based on Improving Students' Innovation and Entrepreneurship

WANG Yu-tao, LU Xiu-jun, ZHANG Xiao-lin, LIU Ping

(College of Forestry, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110688)

Abstract: Tree seeds and seedling nursery is the main course of forestry professional. To further improving the students' innovation ability, some reforms of the practical teaching were explored. First of all, for practice teaching content, the original independent experimental projects were integrated to a comprehensive program, and set up innovate and practical projects. In order to develop students' innovative thinking, encourage students to participate in professional skills competitions and the teachers' scientific research. Secondly, university-enterprise cooperation was expanded, students may increase practical experience by contacting with management and technical personnel. The assessment methods also had carried on the reform, experimental design and operating process was more relevant to performance. Through practice for two years and got some good effect in the students' innovative idea training. Innovation and entrepreneurship education is a systems, not only need reform of professional course, but also need safeguard in foundation course, funds and the assessment mechanism, etc.

Keywords: tree seeds and seedling nursery; innovative and entrepreneurial ability; skills competition; assessment indicator

和识别的技术,在精准农业研究中具有非常广阔的应用前景^[2]。借助遥感技术,可以对植被生物指标进行大范围、多维时空的遥感模型估算,并直接用于叶绿素或生物量的估算和制图。已有研究表明,植物的叶面积指数及叶绿素浓度与光谱反射率存在着相关关系^[3],可以此建立预测回归模型以指导作物的生长。基于植被指数的农作物生物量估算是目前广泛应用的作物生物量遥感监测方法之一。植被指数能综合植被在不同遥感波段的反射特性,与作物生物量存在很强的相关关系^[4]。通过对比分析不同植被指数与农作物生物量的相关性,选择出最合适的植被指数和回归类型,并构建相应的生物量估算的经验模型,从而对作物生物量进行估算^[5]。宋开山等测定了不同生育期大田玉米的冠层高光谱与作物的地上鲜生物量,以此建立了玉米地上鲜生物量高光谱遥感估算模型^[6]。在水稻上的研究表明,利用植被指数反射模型计算光合有效辐射并精确预测水稻的生物量^[7],Takahashi 等通过测定水稻冠层可见光和近红外高光谱反射率,建立水稻干重预测的统计回归模型^[8]。唐延林等研究结果发现水稻地上生物量与比值植被指数和归一化植被指数均显著相关^[9],表明植被指数与高光谱参数都能较好地估测作物的生物量,从而进一步预测作物的产量。已有研究提出了许多遥感参数来监测作物的生物量^[10-15],但由于影响因素众多,迄今尚未确立一个通用的大豆生物量估测模型。

鉴于遥感技术可以快速、准确、大面积、无破坏地对生物量进行估算,利用遥感技术手段对监测大豆生物量并预测其产量具有重要的经济价值和实践意义。国内对大豆的高光谱遥感研究已有开展,但主要集中在利用遥感数据对大豆的叶绿素含量进行估算^[16-17],少有涉及对大豆生物量的预测。因此,本研究通过测定大豆生长期的冠层反射率,同时取样室内测定其生物量,建立反射率与生物量的回归预测模型,旨在为大豆遗传育种研究中开展无损测定生物量提供理论参考。

1 材料与方法

试验于 2015 年在河南科技学院大豆试验田进行。试验田位于一年两熟的华中平原地区, N 35°19', E 113°34', 地势平坦,土壤肥力中等,沙壤土,前季作物为小麦。

1.1 材料

供试大豆品种为郑 97196。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 播种前进行精细整地并施用复合肥作底肥,田间管理同一般大田栽培,及时中耕除草。在大豆的整个生长期共进行 6 次观测(分别为 08-02、08-06、08-11、08-17、08-28 和 09-11);观测时在试验田里选定小区(直径为 1 m 的圆并做标记),每次从小区中随机选取长势良好的大豆植株作为测试对象。

1.2.2 测定项目及方法 采用美国 Cropscan 光谱仪器公司生产的 MSR 系列 5 波段的野外便携式高光谱仪进行观测,测试范围为 450~520、520~600、630~690、760~900、1 550~1 750 nm,中心波长为 458、560、660、830 和 1 650 nm。每个样区里选定有代表性的大豆测试其冠层光谱值,共采集 10 组光谱值。测定时传感器探头垂直向下,与冠层顶相距约 2 m。每次测试之前以白板进行定标,测试结果为作物光谱反射率,重复 3 次,把每个小区的 30 组光谱反射率的平均值作为该品种的一次试验的最终结果。所有观测均选择在晴朗无风天气,每次测定时间为北京时间 11:00-13:00(太阳高度角大于 45°)。

冠层光谱测定之后,沿地面收获直径为 1 m 圆内的所有大豆植株,用尼龙网袋封装。植株在 105℃烘箱中杀青 20~30 min,之后于 80℃恒温烘 72 h 以上,直至恒重。取出后用 1%电子天平称重,记录数据,以所有重复的平均值作为最终结果。

1.2.3 光谱数据分析方法 将冠层光谱反射率与地上生物量进行相关分析,逐波段确定大豆地上生物量的敏感波段;通过对近红外与红光波段的比值植被指数(ratio vegetation index, RVI) $RVI = NIR/R$ (近红外波段的反射率与红光波段的反射率的比值、差值植被指数(Difference vegetation index, DVI) $DVI = NIR - R$ 和归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI) $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ 进行相关性分析,初步筛选出一批表现较好的光谱波段及植被指数;通过逐步回归分析技术确定最佳光谱指数,建立光谱指数与大豆地上生物量的回归模型。

本文构建的植被指数表示方法为“波段_波段”,例如 1650_660 表示构建指数用到的两个波段为 1 650 nm 和 660 nm。

采用 SigmaPlot 10.0 制作散点图及回归模拟。根据数据结果选择和大豆生物量最相关的参

数与大豆生物量建立一元二次 $Y=y_0+ax+bx^2$ 的模型。

2 结果与分析

2.1 大豆生物量与 Cropscan 测量的参数间的相关分析

表 1 为大豆在整个生育期内生物量与冠层光谱反射率的相关关系($n=6$)。在可见光波段范围内,485、560 nm 两个波段的冠层光谱反射率与大豆生物量呈显著负相关,相关系数分别达到 $-0.87(P<0.05)$ 和 $-0.91(P<0.05)$ 。

表 1 各反射光谱与大豆生物量的相关系数
Table 1 Correlation between every reflectance spectra and soybean biomass

相关系数 Correlation coefficient				
485 nm	560 nm	660 nm	830 nm	1650 nm
-0.87*	-0.91*	-0.73	0.07	-0.54

* 表示 0.05 水平上相关显著($P<0.05$)。下同。
* indicates significant correlation at 0.05 level ($P<0.05$). The same below.

表 2 RVI、NDVI、DVI 与大豆生物量的相关性
Table 2 Correlation between RVI,NDVI,DVI and soybean biomass

指标 Index	相关系数 Correlation coefficient					
	830_485	830_560	830_660	1650_485	1650_560	1650_660
RVI	0.82*	0.87*	0.85*	0.81*	0.83*	0.72
NDVI	0.81*	0.83*	0.72	0.53	0.48	0.68
DVI	0.25	0.33	0.47	-0.37	-0.26	0.18

大豆地上生物量与 560 nm 反射率相关关系的决定指数 R^2 高达 0.85。它的测量值与大豆生物量的一元二次方程为:

$$\text{Biomass}=8.516\ 6X^2-190.527\ 2X+1\ 201.444\ 5(R^2=0.85,P<0.05)$$

通过对比不同波段的反射率与地上生物量的相关分析(见图 1),发现 560 nm 处的冠层反射率与地上生物量之间的回归效果良好,决定系数较高。

2.3 RVI 830_560 与大豆生物量的模型

大豆地上生物量与 RVI 830_560 的相关关系的决定指数 R^2 为 0.77。RVI 830_560 与大豆生物量的一元二次方为:

$$\text{Biomass}=-3.5948X^2-57.49X-161.17(R^2=0.77,P<0.05)$$

进一步对所有两波段组合构成的 NDVI、RVI 和 DVI 与生物量进行相关分析(见表 2),结果表明,除 1650_660 之外,其余的 RVI 均与生物量达到显著相关。NDVI 只在 830_485 和 830_560 与生物量的相关达到显著水平,DVI 在所有波段与生物量相关均不显著。通过可见光波段(485、560 和 660 nm)分别与近红外波段(830、1 650 nm)构建的各类植被指数与大豆生物量的相关性比较,其中以 RV I830_560 表现较好,相关系数达 0.8 以上。

2.2 可见光光谱 560 nm 波段反射率与大豆生物量的模型

为较好地模拟大豆生物量模型,将与生物量相关系数最高的参数做相关回归方程,从表 1 中发现 560 nm 与大豆生物量相关系数达到最大(-0.91),因此采用可见光光谱波长为 560 nm 这个参数与大豆生物量之间做分析,发现它与大豆生物量之间存在显著的负相关。

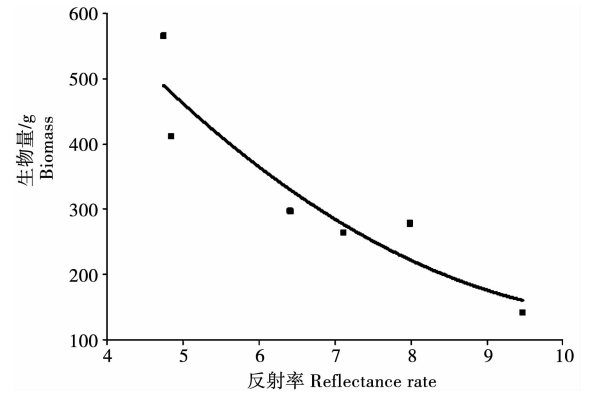


图 1 560 nm 的反射率与大豆生物量的回归模型
Fig. 1 Regression model of 560 nm reflectance rate and biomass of soybean

回归分析表明,单波段的作物高光谱反射率与生物量之间存在显著的相关关系。高光谱遥感

有超多波段,单个波段所能提供的信息非常有限,可以充分利用各个波段的信息,取长补短,通过多个波段来反演作物地上生物量似乎更合理。把 485、560、660 nm 处的光谱反射率作为自变量,相应的生物量作为因变量,进行逐步回归分析(见图 2),建立了 RVI 830_560 两个光谱反射率的回归方程。

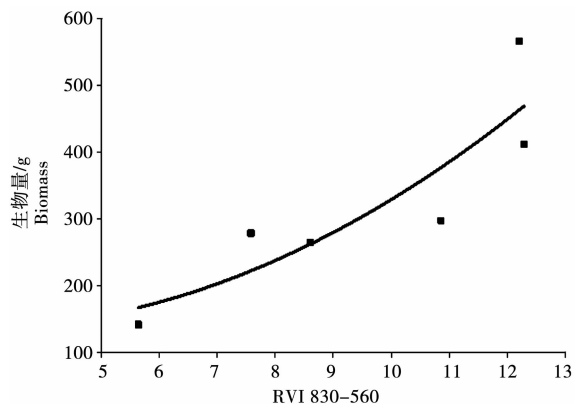


图 2 RVI 830_560 的反射率与大豆生物量的回归模型

Fig. 2 Regression model of RVI 830_560 reflectance and biomass of soybean

3 讨论与结论

3.1 讨论

选取对生物量敏感的波段组成高光谱植被指数是提高模型预测精度的关键^[15]。齐波等发现大豆不同生育期叶面积指数均与冠层光谱在可见光波段显著负相关^[18],相关分析结果显示可见光的冠层反射光谱与大豆生物量呈显著负相关,表明大豆冠层光谱反射率与大豆叶面积指数、地上生物量的变化趋势基本相同。其中冠层光谱反射率在 560 nm 时与大豆生物量积累量的相关最显著,这是由于 485~560 nm 是光合色素的吸收区域,色素的强烈吸收导致光谱反射率降低;同时由于干物质积累量与色素含量密切相关,因此该区域可以视作敏感区域用于监测生物量。作物生物量的积累在某种程度上与作物的光谱反射率密切相关,本试验中大豆地上生物量与 560 nm 反射率相关关系的决定指数 R^2 高达 0.85。

植被指数能够反映植物的生长状况,本研究确立了近红外 830 nm 和可见光区 560 nm 两个波段组合产生的植被指数 RVI,建立光谱指数与大豆地上生物量的回归模型。比较回归结果可知,两个光谱做线性逐步回归的 R^2 (0.77) 并不比

单波长的 R^2 大,这可能是由于作物生长初期和成熟期的冠层高光谱反射率与作物生物量的数据对整个模型的影响较大,模型的预测结果在作物生长初期偏大、成熟期偏小,从而影响了模型对作物地上干重的估算精度。可以看出,并非参与模型的波段数越多模型的精度越高,恰当的回归模型对预测精度更有意义。同时还要考虑大豆多个生育期的冠层反射率信息,才能构建出效果较好的模型^[19-20]。本研究建立了大豆生物量估算模型,以获取较高精度的大豆地上鲜生物量,这对于解释、预测和设计理想大豆群体都有着重要的意义。

3.2 结论

本研究通过分析大豆生物量积累量与冠层光谱反射率及所有两波段组合构成的比值植被指数、归一化植被指数及差值植被指数之间的相关关系,确立了大豆生物量积累量的敏感波段,构建了大豆生物量积累量的估算模型,为大豆的精确管理和高光谱遥感估产提供科学的依据,在机理上实现了作物模型与遥感信息的结合。

参考文献:

- [1] 杜鑫,蒙继华,吴炳方.作物生物量遥感估算研究进展[J].光谱学与光谱分析,2010,30(11):3098-3102.
- [2] 李映雪,谢晓金,徐德福.高光谱遥感技术在作物生长监测中的应用研究进展[J].麦类作物学报,2009,29(1):174-178.
- [3] 刘伟东,项月琴,郑兰芬,等.高光谱数据与水稻叶面积指数及叶绿素密度的相关分析[J].遥感学报,2000,4(4):279-283.
- [4] 刘洋,刘荣高,陈镜明,等.叶面积指数遥感反演研究进展与展望[J].地球信息科学学报,2013,15(5):734-743.
- [5] 王渊博,冯德俊,李淑娟,等.基于遥感信息的农作物生物量估算研究进展[J].遥感技术与应用,2016,31(3):468-475.
- [6] 宋开山,张柏,于磊,等.玉米地上生物量的高光谱遥感估算模型研究[J].农业系统科学与综合研究,2005,21(1):65-67.
- [7] Casanova D, Epema G F, Goudriaan J. Monitoring rice reflectance at field level for estimating biomass and LAI[J]. Field Cross Research, 1998, 55(1-2): 83-92.
- [8] Takahashi W, Nguyen C V, Kawaguchi S, et al. Statistical models for prediction of dry weight and nitrogen accumulation based on visible and near-infrared hyper-spectral reflectance of rice canopies[J]. Plant Production Science, 2000, 3(4): 377-386.
- [9] 唐延林,王秀珍,王珂.利用光谱法测定水稻生物物理参数及其光谱变量的相关性研究[J].贵州大学学报(农业与生物科学版),2002,21(5):327-331.
- [10] 王秀珍,黄敬峰,李云梅,等.水稻地上鲜生物量的高光谱遥感估算模型研究[J].作物学报,2003,29(6):815-821.

- [11] 程乾. 基于 MOD09 产品的水稻叶面积指数和叶绿素含量的遥感估算模型[J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1453-1458.
- [12] Scotford IM, Miller PCH. Estimating tiller density and leaf area index of winter wheat using spectral reflectance and ultrasonic sensing techniques[J]. Bio-systems Engineering, 2004, 89(4): 395-408.
- [13] 唐延林, 王秀珍, 王福民, 等. 农作物 LAI 和生物量的高光谱法测定[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, 11(32): 100-104.
- [14] 柏军华, 李少昆, 王克如, 等. 基于近地高光谱棉花生物量遥感估算模型[J]. 作物学报, 2007, 33(2): 311-316.
- [15] 黄春燕, 王登伟, 陈冠文, 等. 基于高光谱植被指数的棉花干物质积累估算模型研究[J]. 棉花学报, 2006, 18(2): 115-119.
- [16] 邵田田, 宋开山, 杜嘉. 基于三波段模型的大豆叶绿素 a 含量估算模型[J]. 中国科学院大学学报, 2014, 31(2): 176-181.
- [17] 黄春燕, 刘胜利, 王登伟, 等. 大豆叶面积指数的高光谱估算模型研究[J]. 大豆科学, 2008, 27(2): 228-232.
- [18] 齐波, 张宁, 赵团结, 等. 利用高光谱技术估测大豆育种材料的叶面积指数[J]. 作物学报, 2015, 41(7): 1073-1085.
- [19] 吴琼, 齐波, 赵团结, 等. 高光谱遥感估测大豆冠层生长和籽粒产量的探讨[J]. 作物学报, 2013, 39(2): 309-318.
- [20] Julie Betbeder, Remy Fieuzal, Frederic Baup. Assimilation of LAI and dry biomass data from optical and SAR images into an agro-meteorological model to estimate soybean yield[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations & Remote Sensing, 2016, 9(6): 2540-2553.

Study on Soybean Biomass Forecasting Model Based on Canopy Reflectance Spectra

XU Xin-juan, ZHANG Jin-yu, CHAO Mao-ni, WANG Xiao-long, HUANG Zhong-wen

(School of Life Science and Technology, Henan Institute of Science and Technology/Collaborative Innovation Center of Modern Biological Breeding of Henan Province, Xinxing, Henan 453003)

Abstract: Biomass is closely related to the production. To establish nondestructive forecasting model of the biomass have the important meaning for soybean production forecast and cultivation management. By analyzing the relationships of the dry matter accumulation in above-ground part of soybean with the canopy reflectance of single waveband and all two-band combinations in ratio vegetation index(RVI), normalized difference vegetation index(NDVI) and differential vegetation index(DVI), the characteristic spectral wavebands for indicating the dry matter accumulation in above-ground part of soybean were determined, and the corresponding prediction model was established. The results showed that canopy spectral reflectance with soybean biomass had the highest correlation coefficient at 560 nm($R = -0.91, P < 0.05$); RVI, comprised of three visible wavelengths(485 nm, 560 nm and 660 nm) and two near infrared wavelengths(830 nm and 1 650 nm), had significant correlation with soybean biomass accumulation. The soybean biomass prediction model was established by stepwise regression analysis. The determination coefficient R^2 of 560 nm reflectivity and biomass was as high as 0.85, and of RVI830_560 and biomass was 0.77.

Keywords: remote sensing; vegetation index; biomass; forecasting model; soybean

欢迎订阅 2018 年《农业科技通讯》

农业部主管 中国农业科学院主办 全国农业核心期刊

刊号: ISSN1000-6400 CN11-2395/S

邮发代号: 2-602 月刊 每月 17 日出版 单价: 15.00 元 全年: 180.00 元

全国各地邮局及本刊编辑部均可订阅

展示优良品种 荟萃科技成果 聚合实用技术

本刊及时报道种植业最新研究成果, 尤其是种子方面的新品种、新技术。侧重大田, 兼顾园艺, 是种植业者首选刊物。主要栏目: 专题论述、试验研究、粮食作物、经济作物、蔬菜、果树、西甜瓜、林木花卉等。内容丰富翔实、信息量大、技术实用。

地址: 100081 北京中关村南大街 12 号《农业科技通讯》编辑部

电话: 010-82109664 82109665 82106276

传真: 010-82109664 E-mail: tongxun@caas.cn