

# 氮素营养无损测试技术的研究进展

于永辉, 王秀峰, 朱晓天

(吉林省蔬菜花卉科学研究所, 130033)

**摘要:** 全面阐述了氮素营养无损测试技术的研究进展, 为快速有效地跟踪和监测作物氮素状况、制定科学的施肥管理措施、提高氮素利用效率、合理利用氮素等提供参考。

**关键词:** 氮素营养; 无损测试; 叶绿素计; 遥感; 数字图像

氮肥是全世界施用最多的化学肥料, 在世界农业发展中发挥了重要作用, 氮素营养已成为作物生长与产量最主要的限制因子之一。尽管氮素在粮食增产方面呈现出巨大的优势作用, 但盲目增施氮肥和不合理利用也带来了一系列不可忽视的问题。过量施氮降低了氮肥利用率, 同时也造成了地表和地下水体的严重污染<sup>[1]</sup>。迅速、准确、非破坏性地判断作物氮素营养状况, 进而确定氮肥需要量, 对作物精确施肥具有重要意义。

传统的氮素营养失调诊断一般包括症状诊断、长势长相诊断和叶色诊断。症状诊断的方法通常只在植株仅缺一种营养元素的状况下有效, 长势长相诊断没有固定模式, 应用受到限制, 叶色诊断不能区分作物失绿是由于缺氮引起的还是由于其他因素的干扰<sup>[2]</sup>。这些传统的测试手段需要破坏性取样, 需要一定的专业性, 在测定、数据分析等方面耗费大量的人力、物力、财力, 不可避免地使用具有腐蚀性和潜在危险的化学药品, 且时效性差, 故寻求一种快速、经济、可靠的氮素营养诊断技术已成为当务之急。近年来, 随着相关领域科技水平的不断提高, 氮素营养诊断的测试技术正由传统的实验室常规测试向田间直接无损测试方向发展, 测试水平由定性或半定量的手工测试向精确定量的智能化方向发展。

## 1 便携式叶绿素计在作物氮素诊断中的应用

植物在可见光波段的反射率主要受叶绿素的影

响<sup>[3]</sup>。缺氮、干旱等各种植物胁迫都会使作物叶片的光反射特性发生改变, 通过检测地面植物冠层光学反射特性可以了解作物的营养状况。叶片中影响光吸收和光反射的主要物质是叶绿素、蛋白质、水分和含碳化合物, 其中影响最大的是叶绿素含量。由于叶片颜色与叶绿素含量正相关<sup>[4]</sup>, 并且叶片含氮量和叶绿素变化趋势相似<sup>[5]</sup>, 故常用叶绿素含量间接指示植物的氮素含量。因此, 通过观察叶片颜色的变化就可以了解作物的氮营养状况。许多研究发现, 植物在 550 nm、675 nm 附近的反射率对叶绿素含量比较敏感<sup>[6]</sup>, 但单一波段的反射率易受生物量、背景等的影响, 因而具体应用中, 常用两波段比值以提高叶绿素光谱诊断的精度。

日本Minolta公司近年来推出的便携式叶绿素计 (SPAD-502 Chlorophyll Meter), 可以在田间无损检测植物叶片的叶绿素含量。其工作原理是: 叶绿素 a 和 b 在可见光波段的红光区都有最大吸收峰, 而在红外区则几乎没有。SPAD 采用双波长 LED 光源, 一为 650 nm 红光 LED, 一为 940 nm 红外光 LED, 仪器的光线接受系统为硅光二极管, 它将光信号转换为模拟电信号, 经放大器放大后再由 A/D 转化为数字信号, 微处理器自动将通过样品的两种光的光密度比值进行计算得到 SPAD 值。使用该仪器测定具有简单、快速、非破坏性的特点, 近年来其被广泛应用于小麦、水稻、玉米等作物<sup>[7-8]</sup>的氮素营养诊断和氮肥推荐。

## 2 多光谱遥感测试技术在作物氮素营养诊断中的应用

近年来, 高分辨率多光谱近地测量技术在作物氮素诊断方面发挥了非常重要的作用, 在精确农业管理中结合变量施肥系统发展非常迅速。利用高光谱遥感技术, 可以快速精确地获取作物生长状

态以及环境胁迫的各种信息,从而相应调整投入物资施入量,达到减少浪费、增加产量、保护农业资源和环境质量的目的,是未来农业可持续发展的重要手段。

植物的反射光谱曲线具有显著的特征。不同的植物以及同一种植物的不同生长发育阶段,正常生长的植物和由于受病虫害侵扰或患有缺素症的植物,其反射光谱曲线的形态和特征不同,因此冠层光谱信息是作物生长综合状况的外在表现。在农业生产中,肥料因素是作物生长的最主要限制因子,其中以氮素最为明显,氮素的丰缺直接影响作物的光谱反射。随着遥感技术在农业中的普及应用,人们已经深刻认识到作物的光谱特性是由于作物的生理特征决定了它对光的吸收、透射、反射,而作物的生理特征又相应反映了它的长势情况,故可以根据光谱特征差异监测作物的生长状况。为了探索植物叶片氮素遥感诊断的可能性,20世纪70年代以来,有关科学家就进行了大量的基础研究,已经成功地寻找出氮素的敏感波段及其反射率在不同氮素水平下的表现。研究表明,植物叶片的光谱特性与叶片厚度、水分含量和叶绿素等色素含量有关,已经有很多研究表明植物营养元素状况与光谱特性也密切相关。不同营养状况下植物光谱特性的差异引起了农学、植物生理学和遥感等许多学科研究者的重视。这不仅使田间非破坏性、快速、简易地诊断营养状况有了可能,而且由于传感器等遥感技术的发展,使得大面积监测植物的营养状况取得了很大进展。研究发现许多植物在缺氮的情况下无论是叶片还是植物冠层水平的可见光波段反射都有所增加,许多学者便通过各种统计方法来寻求含氮量与光谱反射率或其演生量的关系,并建立模型来估算作物的氮素含量。1972年,Thomas等通过测定甜椒叶片的反射率来估测氮素含量,研究发现氮素营养水平对甜椒叶片在550 nm和670 nm波段反射率的影响大,并利用这两个波段建立了估算氮素含量的相关模型;2000年,Daup和Htry等对不同供氮处理的玉米通过多光谱遥感确定最佳测定波段,并通过光谱反射来估计冠层叶绿素含量;1993年,王人潮等确定诊断水稻冠层氮素营养水平的敏感波段为760~900 nm、630~690 nm和520~550 nm,

Chappelle等提出了一种光谱反射率分析算法用于评估叶绿素含量,当植株中的叶绿素逐渐累积时,用这种方法计算的结果与通过化学分析所得结果比较,具有较好的一致性。

近地面遥感技术在作物氮素营养诊断中的应用,可以提高农业资源的利用效率,减少不必要的资源浪费和环境污染,提高作物栽培、管理和生产水平,提高农业生产的经济和生态效益,促进我国精细农业的发展。

### 3 数字图像处理技术在作物氮素诊断中的应用

植物在可见光波段的反射率主要受叶绿素的影响。而叶绿素含量和植株的氮素含量密切相关,故常用叶绿素含量间接地指示植物的氮素含量。在传统的农业生产中,人们常常通过观察作物冠层颜色来指导施肥。随着电子计算机图像处理技术的发展,可以利用一个代替人眼的图像传感器获取物体的图像,将图像转换成数字图像,并利用计算机模拟人的判别准则去理解和识别图像,达到分析图像和作出结论的目的。数码相机就是应用这一原理研制的。数码照相机实质上是传统相机和电子计算机相融合的产物,它对图像的获取是通过CCD阵列平面对光线吸收形成的,加装了不同滤光镜的CCD阵列吸收了反射进入镜头内的可见光,CCD阵列的每一点只能选择性吸收一定波段的可见光,并将此光信号转换为电信号,并经过运算存入数码相机的存储器中。通常数码相机是通过RGB加色原理进行成像的,每个像素由R、G、B即红、绿、蓝共3种颜色生成。

图像处理技术是20世纪70年代在遥感图像处理 and 医学图像处理成功应用的基础上逐渐兴起的,并应用于多个领域。随着计算机硬件水平的提高,图像处理技术开始在农业生产上广泛应用。欧美等发达资本主义国家已经在获取作物的生长状态信息、农业种质资源管理、农产品品质资源管理、农产品品质鉴定、农产品自动化收获等领域进行了广泛深入的研究,从事这方面的专家提出了许多新算法和新理论,为这一技术的发展奠定了坚实基础。近几年,图像处理技术在我国已广泛应用于生物、医学、建筑、工业生产、气象、资源调查、灾害检测中的航拍和卫星图像的

解析等领域,其在农业中的研究和应用已开始显现出巨大的发展潜力,通过图像处理技术诊断作物营养状况的研究正成为机器视觉在农业应用中的热门课题。

作物在不同的营养状况下表现出不同的茎叶颜色,尤其是对氮肥的响应比较敏感,因此作物冠层色彩信息是表征作物营养状况的重要内容。作物营养状况的变化直接影响着作物的冠层颜色,缺氮植物叶片颜色变浅,冠层颜色偏黄绿色,由于人眼对可见光最敏感的波段在 550 nm,恰好在可见光的绿色波段,自古以来农民传统判断作物营养状况的手段就是通过肉眼对作物绿色深浅的判断。研究表明,植物冠层绿色状况通常情况下都与叶片叶绿素含量有关,而叶绿素与植株的全氮含量有显著的相关关系,其含量的变化影响了叶片冠层的光吸收或反射。叶片光特性与氮含量的关系进一步证明,通过检测地面植物冠层颜色特性可以了解作物的营养状况。

近年来,利用数码相机结合图像处理技术进行作物氮素营养诊断,已在作物生长状况评价和营养诊断方面取得了新进展。1993年,美国科学家 Blackmer 和 Schepers 利用图像处理技术对黑白胶卷进行研究,表明利用该方法可以预测氮供应情况;1995年,Blackmer 和 Schepers 研究表明,同时利用叶绿素计测量结果和航拍图像经过计算机图像处理的结果进行比较,结果表明尽管在施肥处理上存在显著差异,但是利用叶绿素计不能很好地反映作物氮肥施用水平的差异,航空拍摄图像的红色灰度值可以较好反映氮素供应水平;1996年,Blackmer 研究了冠层光反射与玉米产量的关系,通过分析彩色照片上的冠层相对亮度对玉米产量进行了预测,红、绿、蓝三色光与玉米产量间都达到了极显著的线性正相关关系;1997年,Dymond 和 Trotter 利用数码相机通过航空摄影获得森林和牧场的彩色图像,经校验后有效评价了森林和牧场的植物冠层双波长的反射特性;1999年,Adamsen 等应用数码相机获取了冬小麦的冠层图像,并分析了冠层图像绿光(G)与红光(R)的比值G/R,认为G/R与叶绿素计读数有极显著的相关关系;1999年,Lukina 等应用数码相机获取田间小麦冠层图像并通过图像处理获得小麦冠层覆盖

度,估计了冬小麦冠层生物量;2004年,Jia Liangliang 和 Cheng Xinping 应用数码相机获取田间冬小麦冠层图像,分别建立了拔节期和孕穗期冠层绿色深度与地上部植株全氮间的关系模型,建立了冬小麦拔节期氮肥营养推荐体系,取得了较好效果。

便携式叶绿素计、多光谱遥感测试技术和数字图像处理技术在作物氮素诊断中的应用能快速有效地跟踪和监测作物氮素状况,确定科学的施肥管理措施,提高氮素利用效率,合理利用资源,减少过度施氮造成的环境污染,保证人体健康和环境安全,实现作物田间氮肥管理的智能化和科学化。

### 参考文献

- [1] 陈新平,冀红杰,张福锁.过量施用氮肥对北京市蔬菜硝酸盐含量影响的综合评估[C].//李晓林,张福锁,米国华.平衡施肥与可持续优质蔬菜生产.北京:中国农业大学出版社,2000:270-277.
- [2] 陈新平,贾良良,张福锁.无损测试技术在作物氮素营养诊断及施肥推荐中的应用[C].//冯锋,张福锁,杨新泉.植物营养研究——进展与展望.北京:中国农业大学出版社,2000:197-206.
- [3] 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.
- [4] 张文安.SPAD-501型叶绿素计在测定水稻叶绿素含量中的应用[J].贵州农业科学,1991(4):37-39.
- [5] Evans, J R., Seemann J R. Difference Between Wheat Genotypes in Specific Activity of Ribulose-1, 5-Bisphosphate Carboxylase and the Relationship to Photosynthesis[J]. Plant physiol, 1984, 74: 759-765.
- [6] Thomas J R, Oerther G F. Estimation nitrogen content of sweet pepper leaves by reflectance measurements [J]. Agron J, 1972, 69(1):11-13.
- [7] Wood C W, Reeves D W, Himelrick D G. Relationships Between Chlorophyll Meter Readings and Leaf Chlorophyll Concentration, N Status, and Crop Yield: A Review[J]. Proc. Agron. Soc. New Zealand, 1993, 23: 1-9.
- [8] Blackmer T M, Schepers J S, Varvel G E. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves[J]. Agron J, 1994, 86:934-938. 图