

作物氮素无损快速营养诊断研究进展

宋丽娟¹ 叶万军² 郑妍妍¹ 苏戈¹

(¹ 黑龙江省农业科学院信息中心, 哈尔滨 150086; ² 黑龙江省农业科学院园艺分院, 哈尔滨 150069; 第一作者:songlijuan-2007@163.com)

摘 要:植物的氮素营养诊断技术方法有化学诊断和无损测试诊断,其中化学诊断包括植株的全氮诊断和植株硝酸盐快速诊断;而无损测试技术则包括叶绿素荧光动力学诊断法、叶绿素仪法、机器视觉、光谱遥感等。根据作物氮素营养诊断方法的发展,总结了各种作物氮素营养诊断方法的优缺点,提出无损快速诊断技术可作为农作物生产上的氮素营养测定方法,有着广泛的研究和应用前景。

关键词:氮素;营养诊断;作物

中图分类号:S51 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2017)06-0019-04

作物营养诊断技术起源于19世纪,在农业生产精准施肥中起着至关重要的作用。随着社会的发展和科技的进步,作物营养诊断技术也有了长足的发展,而且时至今日人们仍然为寻找一种精准、快捷的植物营养诊断方法而不断努力。植物的氮素营养诊断技术方法主要有化学诊断和无损测试诊断,其中化学诊断包括植株的全氮诊断和植株硝酸盐快速诊断等;而无损测试技术则包括叶绿素荧光动力学诊断法、叶绿素仪法、机器视觉法以及光谱遥感等。

1 氮素无损快速营养诊断的意义

在全球资源危机严重、环境问题日益突现、农业增效需求迫切等多重压力下,在确保农作物产量持续而稳定增长的同时,怎样提高肥料的利用效率,使减肥增效落到实处,是当今农业科研领域亟待解决的重大科学理论与技术问题。水稻是我国重要的粮食作物,2016年种植面积与总产分别达到了0.302亿hm²和2.08亿t,在保障粮食安全中起着至关重要的作用。化肥(尤其是氮肥)在水稻生产中起着至关重要的作用。近年来水稻产量水平不断提高,与之相对应的是,氮肥施用量也迅速增加。据联合国粮农组织统计,2010-2014年,全球化肥需求量增长显著,以每年2%左右的速率在逐步增长,2013-2014年度全球化肥需求量同比增长3.1%,已达1.8亿t。其中,氮肥需求量在2013年弱势增长后有所调整,2013-2014年度增长3.1%,至1.12亿t。亚洲对于化肥的消耗量则占到了总量的70%左右。我国氮肥用量1961年仅占全球氮肥总用量的5%左右,至2008年,已约占全球氮肥总用量的41%,与1990年

(2 086万t)相比增加了1倍。然而水稻产量增加甚微,仅增加1.1%^[1-2]。在农业生产中,随着氮肥施用量的持续增加,植物产生抗性,对氮素营养的利用率呈逐年降低趋势。我国是世界上最大的氮肥生产国与消费国,每年对氮肥的需求量占了世界氮肥需求量的三分之一。其中,约有一半的氮肥消耗在了占三分之一种植面积的经济作物上,氮肥平均用量达到了16.7 kg/667 m²,这个施氮量远远高于世界平均水平。然而,我国目前以常规方法施肥,氮肥利用率仅为30%,而发达国家则为50%~60%,欧盟国家的氮肥利用率更是高达70%^[3]。大量施用氮肥,不仅增加了生产成本,而且氮素的淋溶与挥发对生态环境造成严重的负面影响。因此,提高氮肥效率、降低氮肥用量已成为水稻生产刻不容缓的问题。建立及时、准确的作物氮素营养诊断监测体系,科学准确的制定施肥措施,合理施用氮肥,实现均衡施肥,使养分供应与作物各生育期需肥规律吻合,对提高肥料利用率、保护环境、提高作物产量和品质有着重要的经济和生态意义。

2 氮素营养诊断方法

氮素营养诊断方法可分为外观诊断法、化学诊断法和无损诊断技术。

2.1 外观诊断法

收稿日期:2017-07-19

基金项目: 黑龙江省农业科技创新工程资助项目(2014ZD018); 哈尔滨市应用技术研究与开发项目(2015RQQYJ001)

外观诊断包括对植株的叶色诊断、长势诊断和症状诊断 3 个方面。植株体内氮素营养缺乏或者过剩,植物叶片颜色会发生变化,叶色诊断早在 300 多年前的“沈氏农书”中就有关于对水稻进行叶色诊断追施孕穗肥的记载^[4]。而氮素在植株体内缺少或者过剩时,人们也可通过植株所表现出来的不同状态以及生长形态来进行判断。不同的营养元素在植株上所表现出的性状是不一样的。外观诊断通常只适用于植株缺乏一种营养元素的情况。随着农作物品种的频繁更新换代以及人们在颜色上的视知觉差异,外观诊断就显得不那么精确,从而使其在生产应用中受到限制。

2.2 化学诊断法

化学诊断法是通过测定植株体内的含氮量并与不同植株标本进行对比,进而做出植株氮素丰缺判断^[5]。利用作物化学分析诊断方法,可通过检测植株体内的氮素营养含量来判断植株体内营养成分的盈缺,进而指导田间氮肥的施用,使作物产量达到最高,获得更大的经济效益。根据氮素在作物体内存在的不同形态,氮素营养化学诊断可分为植株全氮诊断、硝酸盐快速诊断和氨基态氮诊断。植株的全氮含量可以很好的反映出植株的氮素营养状况,因为植株的全氮含量与作物产量具有一定的相关性,通过植株的全氮含量可以反映出作物产量的高低。但由于植株的全氮诊断方法需要对植株进行破坏性取样,工作繁琐,很难在生产过程中进行推广。硝酸盐诊断和氨基态氮诊断同样存在上述问题^[4]。

2.3 无损诊断技术

无损诊断技术是在不破坏植株组织结构的基础上,利用科学的手段和方法对植株的生长、营养状况进行检测^[6]。随着产业的发展和科技的进步,无损诊断技术正朝着精准定量化和科技智能化的方向发展,由手工测试转向智能化测试,由单植株检测转向群体检测,由过去的室内检测发展到室外群体检测,并进一步应用于农业生产中^[4]。无损诊断技术包括叶绿素仪诊断、光谱遥感技术、图像识别及机器视觉诊断等。利用无损诊断技术进行氮素营养诊断可以很好地监测作物氮素营养状况,从而指导生产者合理施用氮肥,以提高氮肥利用率,达到节本增效的目的。

2.3.1 叶绿素仪诊断法

植株叶绿素含量与植株氮素营养的利用情况呈一定的相关性^[7]。叶绿素含量的高低可以作为植株氮素丰缺情况的诊断指标。20 世纪 80 年代末日本研发推出

了手持式叶绿素仪 SPAD-501 型和 SPAD-502 型。叶绿素仪具有操作简单方便、快速获取数据、对环境和植株无负作用等优点。可在田间对作物无损伤的条件下测量植株的叶绿素相对含量,进而判断植株的氮素营养状况。叶绿素仪采用双波长 LED 光源,分别照射植物叶片表面,通过光电信号转换,比较通过叶片的透射光的光密度差异而得出 SPAD 值。SPAD 值只能相对的反映作物叶片叶绿素的含量,而不是真实值^[8]。目前利用叶绿素仪对作物进行氮素营养诊断已经应用到水稻、小麦、玉米等作物上^[9-11]。利用叶绿素仪在田间测试植物的叶片对作物氮营养的状况进行诊断,已经在棉花、水稻、小麦、玉米和大麦等多种作物上得到了应用和推广^[12-16]。但由于测定 SPAD 读数受光照强度的影响较大,并且该方法需要测定多株植物多点以其平均值作为测定结果才能降低 SPAD 值的变异度,工作量较大^[15]。同时,测定结果受作物品种和耕作环境的影响也较大^[17]。因此,研究探索寻找出一种更加便捷、准确,能够快速的大面积测量出农作物氮素营养状况的方法,成为了实施精准施肥,实现精准农业的重要环节。

2.3.2 光谱遥感技术

光谱遥感技术是利用植物叶片及冠层的光谱特性,通过检测冠层或叶片的光学反射来了解植物的营养状况。同传统的作物营养诊断手段相比,光谱遥感技术具有大面积、无破坏、快速准确的优点。现在已成为了农业生产应用中作物营养诊断的研究热点,并在精准农业氮肥施用方面发挥着重要的作用。植物缺肥或肥量过剩会引起植株叶片发黄或贪青、叶片厚度、叶片水分含量及形态结构等发生变化,从而引起光谱反射特征的变化。影响叶片对光的吸收和反射的主要物质是叶绿素、蛋白质、水分和含碳化合物,其中叶绿素含量与植物的氮素含量具有密切的相关性,叶绿素含量可以间接地表达植株的氮素含量^[9]。光谱遥感技术可以通过分析作物叶片及其冠层的光谱特征进而得出作物氮素养分含量,为作物氮素营养诊断和合理施肥提供依据。目前,光谱遥感技术已经应用于水稻、玉米、大豆、小麦等作物^[18-22]。Jia 等^[21]应用数码相机分别建立了冬小麦在拔节期和孕穗期的冠层绿色深度与植株全氮的数理模型。Tumbo 等^[19]认为,引起光谱特征差异的主要因素是叶绿素,在玉米 V6 生长阶段,植株的叶绿素水平直接反映了植株的氮含量,可以依此建立模型。国内学者在利用光谱分析手段研究植物氮素营养诊断方面虽然起步较晚,但近年来也做了大量深入的研究。薛

利红等^[20]研究了不同施氮水平下水稻叶片及其冠层光谱反射特征与植株叶片含氮量等参数的关系。研究表明,水稻冠层光谱反射率与叶片含氮量呈显著相关。与传统的氮素营养诊断方法相比,光谱遥感技术具有快速、省时、省力的优点,并能够获得更多的作物营养信息。

2.3.3 图像识别及机器视觉诊断

机器视觉技术是指用计算机来实现人类的视觉功能,实现对客观世界的感知、识别和理解。近年来图像识别及机器视觉技术在多个领域得到广泛应用,取得了巨大的经济与社会效益。在农业领域,发达国家和地区已在农业机器视觉方面进行了广泛而深入的研究,将其应用在农业种质资源管理、作物营养诊断、农作物生长监测、农产品品质鉴定等方面,成为了实现农业现代化必不可少的技术^[9]。但在作物营养诊断上,机器视觉诊断技术容易受到多种外界因素的影响,其中如何消除相应噪声的影响成为了作物氮素营养诊断和建立模型的关键因素。多光谱成像技术的出现和应用,解决了机器视觉技术的这个难题。

多光谱成像技术,以计算机技术、图像处理技术和图像采集硬件的发展为前提,已经应用到了作物的氮素营养诊断研究中。利用作物的光谱特性对作物的营养状况进行实时监测和快速诊断成为精准农业的研究热点。作物对不同波长的电磁波的吸收和反射不同,这种对不同波段光谱的响应特性叫光谱特性。植物的光谱特性是植物光谱诊断的基础^[23-24]。通过高分辨率的多光谱通道(3-CCD)成像技术获取图像,并且通过使用白板校正方式消除背景和天气变化对成像所带来的影响。用多光谱成像技术实现对田间作物养分和植株生长情况的实时监测,通过图像的识别,模式的处理,提取图像的特征值,进而反映出植株的生长状况,根据植株缺氮或多氮时植株冠层及叶片不同颜色的变化,对植物氮素营养进行诊断,从而达到科学合理的调控施肥量,预测作物产量等目的。

3 氮素营养无损快速诊断技术展望

综上所述,作物氮素营养诊断的方法有很多,外观诊断法操作简单,但准确性差,易受人为因素影响;化学诊断耗时费工,推广应用困难;叶绿素仪测定的SPAD值受光照的影响较大,并且该方法需要测量多株植物的多个点位并计算其平均值,以此作为测定结果才能减小SPAD值的变异度,工作量较大。基于光谱遥

感分析的作物氮素营养无损检测技术无论是在光谱学方面还是在生物物理学方面都有很强的理论基础,在现阶段作物氮素营养诊断和精确调控氮素施用上成为关键技术,也是发展精确农业和数字农业的重要研究前沿。随着科学技术的不断进步和发展,针对这些理论基础和作物生产应用需求,国内外学者就此开展了广泛而深入的研究工作,取得了一定的研究进展和研究成果,当然也存在一些需要解决的问题,比如在植株氮素无损营养诊断的关键光谱参数上、建模方式方法上、普适性的氮素诊断监测模型及与不同遥感信息源的结合方面都需做更深入的研究。近年来,一些航空、航天高光谱传感器的利用也为大面积的作物精确监测研究提供了有效途径,规模化、规范化的利用遥感影像精确监测田间作物营养状况已经成为可能。可以预见,图像处理及机器视觉诊断、多光谱诊断技术等作物营养无损诊断测试技术作为农作物生产上的氮素营养诊断方法,在农作物生产上有着广泛的研究潜力和应用前景。

参考文献

- [1] 吉艳芝,巨晓棠,刘新宇,等. 不同施氮量对冬小麦田氮去向和气态损失的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 20(3): 113-118.
- [2] 石生伟,李玉娥,李明德,等. 早稻秸秆原位焚烧对红壤晚稻田CH₄和N₂O排放及产量的影响[J]. 土壤, 2011, 43(2): 184-189.
- [3] 杨林章,孙波,刘健. 农田生态系统养分迁移转化与优化管理研究[J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 441-445.
- [4] 罗元利. 基于多光谱成像的氮素胁迫下玉米营养诊断的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2014.
- [5] 郭建华,赵春江,王秀. 作物氮素营养诊断方法的研究现状及进展[J]. 中国土壤与肥料, 2008(4): 10-14.
- [6] 贾良良,陈新平,张福锁. 作物氮营养诊断的无损测试技术[J]. 世界农业, 2001(6): 36-37.
- [7] Evans J R, Seemaxm J R. Difference between wheat genotypes in specific activity of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase and the relationship to photo synthesis[J]. *Plant Physiol*, 1984, 74: 759-765.
- [8] 李桂娟,朱丽丽,李井会. 作物氮素营养诊断的无损测试研究与应用现状[J]. 黑龙江农业科学, 2008(4): 127-129.
- [9] Argenta G, Ferreiral Silva P R, Sangoi L. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize[J]. *Cienc Rural*, 2004, 34: 1379-1387.
- [10] 赵满兴,周建斌,翟丙年. 旱地不同冬小麦品种氮素营养的叶绿素诊断[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 461-466.
- [11] Blacknler T, MSchePers J S, Vhrel G E. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves [J]. *Agron J*, 1994, 86: 934-938.
- [12] 吴良欢,陶勤南. 水稻叶绿素计诊断追氮法研究[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 1999, 25(2): 135-138.

- [13] 唐延林, 王人潮, 张金恒. 高光谱与叶绿素计快速测定大麦氮素营养状况研究[J]. 麦类作物学报, 2003, 23(1): 63-66.
- [14] 朱新开, 盛海君, 顾晶. 应用 SPAD 值预测小麦叶片叶绿素和氮含量的初步研究[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(2): 46-50.
- [15] 李志宏, 张云贵, 刘宏斌. 叶绿素仪在夏玉米氮营养诊断中的应用[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 764-768.
- [16] 李志宏, 张宏斌, 张福锁. 应用叶绿素仪诊断冬小麦氮营养状况的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 401-405.
- [17] 金军, 徐大勇, 胡曙云, 等. 叶绿素仪穗肥诊断及在水稻优质栽培中的应用[J]. 耕作与栽培, 2003(2): 14-15.
- [18] Thomas J R, Gausman H W. Leaf reflectance vs leaf chlorophyll and carotenoid concentration for eight crops [J]. *Agron J*, 1977, 69: 799-802.
- [19] Tumbo S D, Wagner D G, Heinemann P H. Hyper spectral characteristics of corn plants under different chlorophyll levels [A]. Trans of the ASAE[C]. 2002, 45(3): 815-823.
- [20] 薛利红, 曹卫星. 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.
- [21] Jia L L, Cheng X P. Use of digital camera to assess nitrogen status of winter wheat in the northern China Plain [J]. *J Plant Nutr*, 2004, 27(3): 441-450.
- [22] 刘宏斌, 张云贵, 李志宏, 等. 光谱技术在冬小麦氮素营养诊断中的应用研究[J]. 中国农业科学, 2004, 37(11): 1743-1748.
- [23] 张宏名. 农田作物光谱特征及其应用 [J]. 光谱学与光谱分析, 1994, 14(5): 25-30.
- [24] 薛利红, 罗卫红, 曹卫星, 等. 作物水分和氮素光谱诊断研究进展[J]. 遥感学报, 2003, 7(1): 73-80.

Research Progress on Nondestructive Rapid Nutrition Diagnosis of Crop Nitrogen

SONG Lijuan¹, YE Wanjun², ZHENG Yanyan¹, SU Ge¹

(¹ Information Center of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; ² Horticulture Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150069, China; 1st author: songlijuan-2007@163.com)

Abstract: The nitrogen nutrition diagnosis method is divided into chemical diagnosis and nondestructive testing diagnosis. Chemical diagnosis includes the diagnosis of total nitrogen and rapid diagnosis of nitrate acid of plant; nondestructive testing diagnosis includes Chlorophyll fluorescence dynamic research method, Chlorophyll meter method, machine vision, and spectral remote sensing and so on. According to the development method of crop nitrogen nutrition diagnosis, the authors summarized the merits and demerits of the crop nitrogen nutrition diagnosis methods, and put forward the fast diagnosis technology as nitrogen nutrition test method for crop production, which has a wide range of research and application prospects.

Key words: nitrogen; nutrition diagnosis; crop

(上接第 18 页)

- [76] 蔡一霞, 王维, 朱智伟, 等. 结实期水分胁迫对水稻反义 W_x 基因转化系主要米质性状及米饭质地的影响 [J]. 作物学报, 2006, 32(4): 475-478.
- [77] 王成媛, 王伯伦, 张文香, 等. 土壤水分胁迫对水稻产量和品质的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(1): 131-137.
- [78] 张自常, 李鸿伟, 曹转勤, 等. 施氮量和灌溉方式的交互作用对水稻产量和品质影响[J]. 作物学报, 2013, 39(1): 84-92.
- [79] 李国生, 王志琴, 袁莉民, 等. 结实期土壤水分和氮素营养对水稻产量与品质的交互影响 [J]. 中国水稻科学, 2008, 22(2): 161-166.
- [80] 蔡一霞, 王维, 朱智伟, 等. 结实期水分胁迫对不同氮肥水平下水稻产量及其品质的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(7): 1201-1206.
- [81] 潘圣刚, 曹凑贵, 蔡明历, 等. 不同灌溉模式下氮肥水平对水稻氮素利用效率、产量及其品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 283-289.
- [82] 安辉, 刘鸣达, 王厚鑫, 等. 不同稻蟹生产模式对稻蟹产量和稻米品质的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(3): 581-586.
- [83] 陈灿, 黄璜, 郑华斌, 等. 稻田不同生态种养模式对稻米品质的影响[J]. 中国稻米, 2015, 21(2): 17-19.
- [84] 陈灿, 郑华斌, 黄璜, 等. 稻田养鳊模式对稻米品质 and 经济效益的影响[J]. 中国稻米, 2015, 21(4): 124-127.
- [85] 全国明, 章家恩, 杨军, 等. 稻鸭共作对稻米品质的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3475-3483.
- [86] 王建林, 李婕, 曹元元. 稻鸭共生有机栽培模式对黄河三角洲稻米品质的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(7): 2315-2320.

Research Progress on Effects of Cultivation Method on Quality of Rice

XIE Chenglin, TANG Jianpeng, YAO Yi, LU Peiling

(Agriculture Commission of Yangzhou City, Yangzhou, Jiangsu 225002, China; 1st author: yztgz@163.com)

Abstract: More and more attention has been paid to the quality of rice. This paper summarized the research results of cultivation measures on rice quality in China since the beginning of this century and summed up the production technology of high quality rice from sowing date, density, planting methods, fertilizer, water management, planting and breeding patterns, and so on.

Key words: rice quality; cultivation method; research progress