

孙国祥,陈 满,汪小昂,等. 变量施肥机关键技术研究现状分析[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):333-339.

# 变量施肥机关键技术研究现状分析

孙国祥,陈 满,汪小昂,丁为民,丁永前,李永博,邱 威

(南京农业大学工学院/江苏省现代设施农业技术与装备工程实验室,江苏南京 210031)

**摘要:**综述了变量施肥机测土配方图生成系统、控制系统及排肥机构等领域的研究状况。目前变量施肥机主要采用离线式变量施肥方式,根据土壤养分离散采样,并进行空间插值,结合 3S 技术生成土壤养分分布图,结合具体地域作物施肥标准生成变量施肥配方图。变量施肥控制系统研究重点是定位准确性和控制系统的实时性、智能性,为实现精准变量施肥提供易操作的控制器。排肥机构集中研究排肥机构结构设计、排肥精度、排量、幅度、均匀性和变异系数。目前测土配方图获取是影响变量施肥机应用推广的关键技术难题,今后应主要研究实时变量施肥机,加强对土壤养分实时间接检测的技术研究和完善精准变量施肥体系,从而拓展变量施肥机的应用前景。

**关键词:**变量施肥机;配方图;土壤养分;3S 技术;排肥机构

**中图分类号:** S224.22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)02-0333-06

变量施肥技术是精准农业的重要组成部分,在国外已获得了显著的经济和社会效益。变量施肥机在发达国家研究较为深入,其相关技术已日臻完善和商品化。美国早在 20 世纪 90 年代就进行了测土配方施肥技术的应用,英国、德国、加拿大、澳大利亚等国家也相继开展了研究与应用,而我国在 20 世纪 90 年代后期才开始对精准施肥技术的关注和适当研究<sup>[1-3]</sup>。我国自 20 世纪 70 年代开始,化肥的消费量迅速增加,对提高农作物产量起到了很大的作用,但我国的化肥投入突出问题是结构不合理,利用率低。1978—2005 年粮食产量仅增产 50%,但化肥消费量却增长了 300% 以上。目前我国施用化肥多停留在经验施肥的水平上,化肥利用率仅为 30%~40%,化肥的增产效果并未得到充分发挥,造成了惊人的浪费,在一些地区已出现了水污染等问题。据统计,我国的化肥施用量已经达到了平均 434.3 kg/hm<sup>2</sup>,远远超出发达国家为防止化肥对水体造成污染所设置的 225 kg/hm<sup>2</sup> 的安全上限,是国际标准的 1.93 倍。肥料施用量的增加和利用效率的下降,不仅造成了经济上的巨大损失,而且引起了严重的环境污染。化肥尤其是氮肥已成为主要的环境污染源之一,实行科学的变量施肥是农业可持续发展的必要措施和亟待解决的问题<sup>[4-9]</sup>。

测土配方施肥技术是联合国在全世界推行的先进农业技术,也是精准农业的一项重要技术。在实际执行过程中,一般建立在较大规模的土壤养分调查基础上,土壤养分的检测过程复杂而繁琐,费时费力。由于农田肥力在较小空间分布上存在较大的差异,配方肥很难真正起到根据作物实际生长需要科学合理施肥的目的;同时,在化肥的撒施过程中自动化和机械化程度较低,很难做到化肥的均匀撒施和变量作业,使肥

料的利用率大大降低。为此,国内外研究人员对变量施肥机关键技术进行大量研究。

## 1 变量施肥测土配方图生成系统

变量施肥机实施变量施肥作业主要分为两种方式:在线式变量施肥作业和离线式变量施肥作业。在线式实时检测土壤养分,并实施变量施肥,目前仅能实时检测少量土壤养分含量;离线式变量施肥,根据具体地域作物的历史产量分布信息、土壤养分分布信息、土壤墒情、土质等信息,进行数据插值分析处理,结合专家知识模型和地理信息生成变量施肥配方图,将配方图加载至变量施肥机控制器中,在变量施肥机行进过程中实时定位和速度检测,根据配方图实施变量施肥。测土配方图生成系统是变量施肥机的关键技术之一,也是影响变量施肥机是否能够得到广泛应用的技术瓶颈。

### 1.1 土壤养分检测

目前土壤性质主要测定项目包括:pH 值、有机质含量、无机氮、全氮、硝态氮、全磷、有效磷、全钾、有效钾、土壤电导率 EC 值、水分和土壤微量元素等。测量方法有化学分析方法、光电分光方法、土壤电导率间接测量方法及近红外光谱分析方法等<sup>[10]</sup>。

化学分析方法测量精度高,但每次仅能够分析单一元素的含量,并且分析过程繁琐、耗时费工。这种测量方法仅适用于离线式变量施肥方式,但如果土壤样本数量多或要检测的成分类型多,将不适宜采用该方法测量土壤养分含量。

光电分光方法测量土壤养分是根据朗伯—比尔定律,其是吸光光度法、比色分析法和光电比色法的定量基础,光被吸收的量正比于光程中产生光吸收的分子数目。目前河南农业大学开发的 YN-4001 土壤养分速测仪,相对误差为 5%~10%,每个项目测试所需时间为 40~50 min,比化学分析法测定速度提高了 20 倍。

土壤电导率传感器能够实时获取土壤性质分布图,具有响应快、成本低、耐久性好等特点,但电导率测量仪获得的数据和多个土壤参数关联,不能定量测量土壤成分含量。

变量施肥配方图生成系统需进行大量土壤样本养分检

收稿日期:2013-06-18

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2013BAD08B04-8);江苏省前瞻性研究项目(编号:SBY201220290)。

作者简介:孙国祥(1985—),男,江苏建湖人,博士研究生,主要从事农业智能化装备方面的研究。E-mail:sguoxiang@foxmail.com。

通信作者:汪小昂,博士,教授。E-mail:wangxiaochan@njau.edu.cn。

测,以上几种测量方法均不适合应用于变量施肥配方图获取领域。针对土壤养分快速实时检测问题,目前国内外研究人员对采用近红外光谱分析技术测量土壤养分含量进行了研究(表 1)<sup>[11~23]</sup>。主要寻找土壤养分含量对各波段的光谱的响应关系,建立土壤养分光谱分析模型(主要包括线性回归模型、多元回归模型、人工神经网络模型、偏最小二乘-支持向量机模型等)。但由于土壤的区域性特征差异明显,针对不同类型的土壤性质研究结果差异较大。目前变量施肥机在实施变量施肥时,主要检测的土壤养分参数为:有机质、氮、磷、

钾含量。土壤有机质和氮对特定光谱波段的响应显著,但土壤中的磷、钾很难用某个波段的特征来描述。

光谱技术进入土壤养分检测领域,极大地提高了土壤动态监测的自动化水平和监测效率,提升了土壤养分动态评价的水平,降低了测试成本。尽管光谱技术还不能完全代替传统的土壤化学分析工作,但是光谱技术已经在土壤主要养分监测中显示了巨大的潜力。利用光谱技术获取土壤养分信息具有低成本、高密度、高精度、实时性等优点,解决了精准变量施肥作业技术发展的“瓶颈”问题。

表 1 国内外光谱检测土壤养分含量概况

年份	作者	光谱波段	检测的土壤养分参数	光谱分析结果与化学分析结果的相关系数
2002	Fystro	VIS - NIRS	有机质、总氮	0.65、0.87
2002	Malley 等	NIRS	水分、有机质、总氮、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S、钾、钙、镁	0.89、0.84、0.91、0.73、0.5、0.62、0.85
2000	Shibusawa 等	400 ~ 2 400 nm	水分、pH 值、电导率、有机质、硝态氮	0.73、0.71、0.82、0.72、0.65
2003	Christy 等	900 ~ 1 700 nm	土壤水分、总碳、全氮、pH 值	0.82、0.87、0.86、0.72
2005	Annia	NIRS	有机质、磷、钾	0.8、0.5~0.7
2006	Mouazen	306 ~ 1 710 nm	总氮、有机质	0.98、0.88
2002	McCarty 等	MIR	总碳、有机碳	0.97、0.98
2006	Ge 等	光谱和小波分析方法	钙、钾、镁、钠、磷、锌、黏土和沙土	0.16~0.69
2008	Christy C	920 ~ 1 718 nm	总碳、总氮、阳离子交换容量、pH 值、pH_SMP、磷、钾、钙、锰	0.9、0.85、0.76、0.86、0.76、0.69、0.33、0.45、0.92、0.73
2005	何勇等		氮、磷、钾、有机质	0.925、0.933、0.469、0.688
2007	鲍一丹等	400 ~ 2 400 nm	氮	0.81
2007	李小伟等	800 ~ 2 500 nm	碱解氮、速效磷、速效钾	0.956 3、0.949 3、0.952 2
2008	朱登胜等	400 ~ 2 500 nm	有机质、pH 值	0.818、0.834
2009	袁石林等	NIRS	氮、磷	0.950 3、0.954 7
2010	蒋璐璐等	800 ~ 2 500 nm	氮、磷、钾	0.876、0.938、0.803
2010	潘涛等	1 900 ~ 2 500 nm	锌	0.81
2011	丁文广等	560、520 nm	有机碳、阳离子交换量	0.928 2、0.927 3
2011	刘磊等	350 ~ 2 500 nm	有机质	0.91
2012	李颖等	1 300 ~ 2 500 nm	全氮、有机质、全钾、pH 值	0.954 4、0.896 3、0.856 2、0.873 3
2012	张娟娟等	1 000 ~ 2 500 nm	全氮	0.91
2012	廖钦洪等	486、866、1 194 nm	有机质	0.67
2013	徐丽华等	400 ~ 2 400 nm	全氮、全磷	0.672、0.498

1.2 空间插值算法

通过土壤采样获取的土壤养分信息是以点状方式存在的,这不能满足精准农业的需要,因此需要通过空间插值方法将点状信息转换为面状信息。空间插值方法主要可以分为确定性方法和地统计方法两种(图 1)。

目前空间插值技术用于土壤养分分布预测和空间变异性的研究主要集中在研究尺度、插值方法及模型内部参数的选择、采样点布局及数量等方面。针对土壤养分变量的空间插值技术的研究,主要集中于两个方面:一是确定性插值和不确定性插值技术的比较;二是不同克里格插值方法的比较。

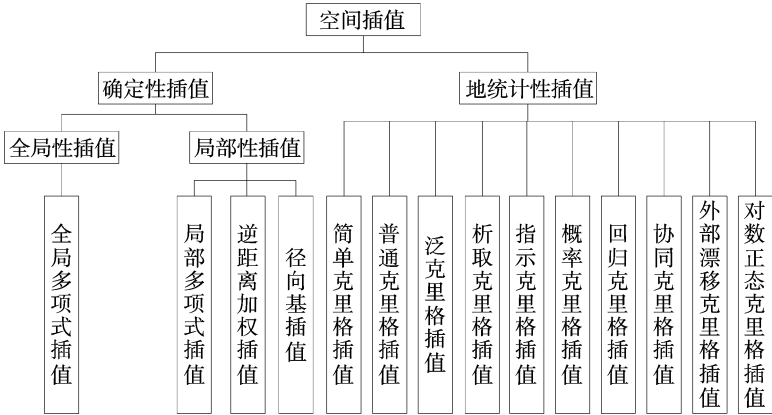


图1 空间插值算法

2000 年王珂等研究土壤养分的空间变异性 and 空间插值方法,采用克里格、逆距离加权两种方法总体效果最好,其中克里格方法中又以指数模型为佳,逆距离加权插值法以二次方为佳<sup>[24]</sup>。2001 年胡慧萍用移动平均、趋势面拟合、点状克里格、逆距离加权等空间插值方法得到各种插值的连续空间分布,与同期用实际观察数据进行比较,结果表明几种插值方法并无显著差异,但以克里格和逆距离加权插值整体效果最好,尤以克里格指数模型最佳<sup>[25]</sup>。2006 年石小华等对陕西省周至县北部猕猴桃适生区土壤进行采样,以土壤速效钾含量为研究对象,用普通克里格、样条函数、趋势面拟合、距离权重反比法等方法获取土壤速效钾空间分布图,结果表明克里格插值方法明显优于其他方法,其中又以球形模型为最佳,样条函数、距离权重反比法在采样点密集区也能内插出较好的效果,但其受采样点密度影响较大,在采样点稀疏的地区内插结果较差<sup>[26]</sup>。2010 年王建军等对江苏省仪征市沿江平原和丘陵地区两种不同地貌类型区内的两个村不同采样密度下 5 种养分因子的空间插值结果进行分析比较,用标准均方根误差检验不同密度下的插值精度<sup>[27]</sup>。2011 年马静等以甘肃省会宁县土壤速效钾含量为研究数据,用普通克里格、反距离加权法、径向基函数插值 3 种插值方法进行插值对比研究,交叉验证得出普通克里格球面模型是精度最高的插值方法,可以很好地模拟土壤养分的空间渐变分布<sup>[28]</sup>。2011 年张小青等采用反距离加权法、局部多项式插值法、克里格插值法 3 种方法对土壤养分进行空间插值,克里格插值法和局部多项式插值法的 RMSE 相近,插值效果相对好,插值效果最差的为反距离加权法<sup>[29]</sup>。2012 年杨子清等采用 Kriging 法完成土壤养分有机质和全钾养分的空间插值,结果表明福建省顺昌县森林土壤的有机质和全钾含量空间上存在中等程度相关。采用 Kriging 法的 Stable 和 Spherical 半变异函数模型表征有机质和全钾含量的空间变异特征效果最好<sup>[30]</sup>。2012 年李增兵等分别用反距离权重插值法和普通克里格插值法对历城全区、平原区和丘陵区的土壤养分进行插值,通过交叉验证、叠加对比分析等方法比较不同情况下不同插值方法的精度,并对分析基于不同插值方法的耕地地力评价结果,结果显示反距离权重插值法和普通克里格插值法 2 种方法都具有较高精度,其中反距离权重插值法较适宜于丘陵区,而普通克里格插值法则适宜于平原区;对于有多种参评元素参与的县域耕地地力评价,采用两种方法的评价结果相差不大。基于实用性与精确性结合原则,反距离权重插值法是县域耕地地力评价养分空间内插的最佳选择<sup>[31]</sup>。

### 1.3 遥感技术

传统的土壤养分测量方法对于大规模土壤样本检测时,耗时长、费用高,不能满足精准农业中变量施肥的要求。遥感技术的发展为大区域土壤养分检测提供新的技术手段。目前土壤养分遥感检测方法主要集中在从遥感数据中提取有用的信息,对土壤养分进行反演。一个模型反演是否成功,不仅取决于观测数据对反演参数的敏感程度,还取决于反演策略与方法以及模型的适用性。土壤养分检测中所用到的观测数据,都是从土壤光谱和作物冠层光谱中提取与土壤养分高度相关的光谱特征指标。原始反射光谱常常受到干扰,往往不能直接反映出光谱与土壤养分含量的关系。在实际中往往采

用原始光谱的变换形式作为反映土壤养分的光谱特征指标。

目前在光谱特征指标的基础上构建反演模型,其方法多数使用的多元线性回归、逐步多元回归分析、人工神经网络、最小二乘支持向量机、主成分分析、偏最小二乘等统计方法。目前寻求具有较高精度的反演模型是很多学者努力研究的工作内容之一,偏最小二乘和主成分分析是土壤养分反演中常用的方法,其预测能力也是比较稳健的,但当用于建模的数据集中存在定标的的数据,不包含干扰效应时,必须进行场址特性校正。

国外学者 Baumgardner 和 Al - Abbas 最早进行了土壤有机质与航空遥感影像的可见光、近红外波段之间的关系的研究,结果表明土壤有机质含量可用可见光或近红外区间波段的光反射率的直线或曲线模型来估测;Garey 和 Chen 也分别利用遥感影像的土壤线进行土壤有机质含量的制图;Dalai 用近红外光谱法预测了澳大利亚土壤的水分、有机碳和总氮,预测的土壤有机质含量在 0 ~ 2.6% 的范围内,而在有机质含量较高或较低的情况下,近红外法预测值存在偏差。美国 Belt sville 农业研究中心提出利用光谱空间测量和建模来提高养分管理和环境质量的重点也是利用遥感技术提高氮肥利用效率,降低环境污染。美国北达科他州州立大学精准农业研究中心的 Jeff White 博士提出“未来农业和食物体系”的发展重点是利用遥感数据改善作物氮肥利用效率,降低施肥对水资源的污染。

国内研究人员在采用遥感技术研究土壤养分或作物冠层的光谱特性时还采用地形因子和遥感植被指数预测土壤养分空间分布,如 2010 年中国科学院张素梅等在 GIS 支持下,选择地形因子和遥感植被指数,建立土壤养分空间分布预测模型,应用回归克里格方法,预测吉林省农安县土壤养分(有机质和全氮)的空间分布。结果表明 11 个环境因子中,相对高程、坡度、地形起伏度、坡度变率、归一化植被指数与土壤有机质和全氮含量均具有显著的相关性。地面粗糙度和地形湿度指数与有机质具有显著相关性,而与全氮的相关性不显著。相对高程、坡度、地面粗糙度、河流动能指数以及 NDVI 在土壤养分的多元回归预测模型中贡献较大,是预测土壤养分空间分布的最优因子<sup>[32]</sup>。

农田往往为植被所覆盖,土壤裸露的时间很短,影响遥感在农田土壤养分检测方面的应用。国内外学者在遥感检测作物长势、营养状况等方面取得了巨大成果, Lydia 研究了不同施氮水平下冬小麦生物量、叶面积指数、叶绿素 A 等冠层参数与植被指数之间的关系,结果表明基于简单比值的累积植被指数是产量估测的最好指标; Michael 研究了利用近红外、红、绿、蓝等波段值及其光谱指数监测冬小麦行密度的可能性,结果表明利用近红外波段估测行密度,并指导氮肥施用,可以显著提高冬小麦氮肥利用率。许多学者进行了不同施氮水平条件下的作物冠层光谱特征及其作物氮胁迫监测研究。

目前,通过遥感技术测量植被指数间接测量土壤中的氮含量分布方法得到广泛应用,但遥感技术通常会受到天气状况的影响,给该技术推广带来不利之处。美国 Trimble 公司的 GreenSeeker 光学传感器通过地面近距离测量作物植被指数,并能够生成作物植被指数地图,可代替遥感检测取得的数据,但大区域数据采集将较为耗时。

#### 1.4 在线检测技术

利用可见-近红外光谱分析可以较高精度测定土壤特性和养分,但这些研究多借用常规近红外分光光度计对田间采集的土壤样品进行实验室测试分析,虽然大大缩短了测定时间,但仍需人工采集样品,费时费力,且采样点密度难以达到精准农业变量施肥要求。迫切需要开发机载土壤成分实时测定分析仪。

2003 年东京农业大学 Shibusawa 等研发了世界上第一台土壤成分实时测定仪器原型,主要由检测部分、光源分光部分和测控部分组成。采用反射频谱的 1 次微分,在 549 nm 下预测含水率的相关系数为 0.73,在 559 nm 下预测有机质含量的相关系数为 0.72,在 598 nm 下预测硝态氮的相关系数为 0.65,在 569 nm 下预测 pH 值的相关系数为 0.71;采用反射频谱在 674 nm 下预测电导率值的相关系数为 0.82。2008 年 VIS-NIR 土壤特性实时测定仪是全球第一款商业产品:VIS-NIR 土壤特性实时测定仪田间工作情况如图 2 所示。该设备可实时测定与地理坐标相关的土壤频谱,并测量有机质、碳、pH 值、土壤水分和磷等。通过底部的测定窗口测定土壤反射光谱,仪器包括 2 个光谱仪,可在 450~2 200 nm 范围,以 8 nm 的分辨率、每秒 20 个光谱的速度采集高品质近红外光谱数据,并输入计算机分析后快速测定土壤特性值<sup>[15-16]</sup>。



图2 VIS-NIR 土壤特性实时测定仪

美国 Trimble 公司的 GreenSeeker RT200C 作物植被指数测量与氮肥管理系统(图 3),能够精确测量与采集记录植被归一化指数和植被等物质的红光与近红外的比值。这些指数反映作物对于养分的响应、作物生长条件、潜在产量以及病虫害的影响等。该系统也可以用来监测作物生长期间田间(作物、植被)环境的变化,或者对比不同施肥量与当地标准施肥



图3 Trimble GreenSeeker RT200C作物植被指数测量与氮肥管理系统

量之间所产生的差异。但该系统仅能够实现给作物追肥,而且仅能够实现实时检测土壤中的氮素含量,虽然氮素为作物生长需要的主要养分,但仍然需要考虑土壤中的其他主要养分含量(如磷和钾),所以该系统不能够完全达到精准变量施肥效果。

目前,在线实时检测土壤养分并实施变量施肥的变量施肥系统未发现成熟的商业化产品,所以目前实时测量土壤养分含量为变量施肥机提供决策依据是国内外学者的研究热点。

## 2 变量施肥机控制系统

变量施肥机控制系统是整个变量施肥机的核心部件,实现信号检测、施肥决策和施肥机构驱动等功能。目前国内研究人员采用的控制结构类似(表 2)<sup>[33-53]</sup>。变量施肥机在行进过程中采用 GPS 定位并进行测速,结合测土配方图驱动变量施肥机构实施变量施肥作业。目前采用的控制器类型主要是车载计算机、单片机、PLC、CPLD、FPGA 和 ARM&DSP 等,变量施肥机定位系统主要采用 GPS 和 DGPS 等,通过液压马达、步进电机和伺服电机驱动排肥机构实现固态颗粒肥,或者通过电磁比例阀调节液态肥变量施肥。

目前欧洲的 RDS 公司、Hrdro Agri 公司等,美洲的 Agtron 公司、Agleader 公司、Micro-Trak 公司、Mid-Tech 公司、Trimble 公司等已经有具有通用性的产品上市,其接口可以适应液肥、粒肥等多种作业机械的控制。美国已形成了信息农业和精确农业的技术支持体系,许多公司有成熟的变量施肥设备,主要使用的控制器为车载式计算机或 PDA,根据 GIS 土壤养分或肥料使用的 GIS 图层信息实现变量施肥作业,如美国 John Deere 公司生产的变量撒肥机、Case 公司利用 GPS 生产的 Flexi Soil 变量施肥播种机。目前国外已有在线式变量施肥系统,如美国俄克兰荷马州立大学与 NT 公司合作推出了商标为 GreenSeeker 的光传感实时变量施肥机,德国 AMAZONE 公司开发了一种基于视觉传感器的变量施肥机等。

## 3 变量施肥机排肥机构

变量施肥机排肥机构是主要执行机构,目前国内外学者主要集中研究排肥机构结构设计、排肥精度、排量、幅度、均匀性和变异系数。

目前国外变量施肥机排肥机构已实现精准变量施肥要求,能够满足对施肥精度、均匀性和超宽幅施肥的要求,并进行商品化推广应用。国内在变量施肥机排肥机构研究也取得了许多研究成果,但目前相关技术还不够成熟。

目前美国的约翰迪尔公司生产的 1910 气吹式种肥车,排肥机构采用气吹式原理,它具有大装载量、计量精度高以及易于调整的特性。日本的 TABATA 公司设计了一种颗粒肥变量施肥机,它使用外槽轮排肥盒作为排肥机构,通过一个 12 V 的直流电机来控制减速箱的控制杆,用一个直线位移传感器来实时监测控制杆的位置,并为其加装了一个旋转变换器,用于实时监测施肥机的前进速度,用于指导变量施肥,使用一个增量式编码器检测外槽轮的转速,从而得到实时的排肥量数据。施肥机的最大施肥误差为 5%,系统响应时间为 0.95~1.90 s。Ag Leader 公司生产的 PFA 田间计算机使精确农业播种和施肥的精确和简单达到一个更高的水平,它带

表 2 国内变量施肥机控制系统

年份	作者	控制器类型	定位系统类型	排肥机构驱动器	肥料性质
2004	王秀等	AgGPS170 计算机	DGPS	液压马达	颗粒肥
2004	韩云霞等	AT89C55WD 单片机	DGPS	步进电机	颗粒肥
2004	张智勇等	89C55 单片机	DGPS	步进电机	颗粒肥
2006	赵军等	机载计算机	GPS	电控无级变速器	颗粒肥
2007	王睿等	Altera FPGA	接近开关测速传感器	步进电机	颗粒肥
2008	齐江涛等	ARM	蓝牙	步进电机	颗粒肥
2009	张林焕等	S7-200PLC	GPS	液压马达	颗粒肥
2010	刘成良等	ARM&DSP	GPS&GPRS	电动机	颗粒肥
2010	张辉等	MC68HC908GP32 单片机	DGPS	液压马达	颗粒肥
2010	张书慧等	CPLD	DGPS	步进电机	颗粒肥
2010	梁春英等	机载计算机	GPS	伺服电机	颗粒肥
2010	王利霞等	ARM S3C44B0X	DGPS	电动调节阀	液态肥
2010	梁春英等	STC89C52RC 单片机	GPS	电动阀	液态肥
2011	陈莉等	STC12C5204AD 单片机		步进电机	颗粒肥
2011	孙裔鑫等	单片机		伺服电机	颗粒肥
2012	伟利国等	PIC18F2580 单片机	GPS&3G	伺服电机	颗粒肥
2012	张睿等	C8051F020 单片机	GPS	液压马达	颗粒肥
2013	郎春玲等	STC89C52RC 单片机	GPS	电磁比例阀	液态肥

内置 GPS,可直接控制 Rawson 变量液压驱动系统,不需变量控制器中间环节,通过手动设置或自动读取配方图,控制播种、固体化肥或液态产品的施用。作业过程中可记录实际施肥量或播种量,同时利用导航光靶进行导航。俄罗斯全俄农机化研究所自行研制了自动变量施肥机,并进行了田间试验,该机自动变量控制原理是在排肥口装一个电磁铁和共振片,通过控制电磁频率,使共振片震动,达到开启和闭合的目的,从而自动控制施肥量变化。

目前国内变量施肥机排肥机构还没有同时具备高精度、大宽幅、变异系数小、均匀性好和施肥排量范围大等优点,多数装置还处于研究阶段。2004 年王秀等研制的精准变量施肥机,其肥料变化范围为 0~900 kg/hm<sup>2</sup>,作业幅宽为 3.6 m,结果表明,在施用尿素时要增加槽轮的排肥槽长度,在施用磷酸二铵等不规则的肥料时,应力求减少排肥槽轮的长度,通过增加槽轮转速达到提高排肥计量系统的精度<sup>[34]</sup>。2004 年韩云霞等对 2BFJ-6 型变量施肥机进行排肥机构试验,检测变量施肥机在不同行进速度下的排肥量偏差和变异系数,并建立了施肥量、机具速度和排肥轴转速的关系模型<sup>[35-36]</sup>。2004 年张书慧等发现在施肥机前进速度为 4.5~5.5 km/h,施肥量在 200 kg/hm<sup>2</sup> 以上时,能够使步进电机工作转速在 33 r/min 至 91 r/min 范围内,施肥机排肥平均误差为 4.22%<sup>[37-38]</sup>。2010 年张辉等对 2BSJ-18B 型号变量施肥播种机进行试验,结果表明施肥机在 6 s 内能够完成 0~375 kg/hm<sup>2</sup> 的调节能力<sup>[39]</sup>。2010 年王兵利等通过对摆杆阀门式、外槽轮式以及离心圆盘式 3 种施撒系统的比较,发现摆杆阀门式施撒装置在肥量调节和施肥均匀性方面优于其他 2 种施撒装置<sup>[40]</sup>。2012 年古玉雪等研究了变量施肥机排肥机构模糊控制算法,建立外槽轮每转排量的数学模型、施肥机排肥率数学模型、施肥机排肥率与转速开度数学关系模型<sup>[41]</sup>。2012 年伟利国等研究了 2F-6-BP1 型变量施肥机排肥机构在不同速度和不同肥料类型下施肥精度,结果表明采用永磁型伺服电动机驱动,闭环反馈 PID 控制方法,实现了变量配肥施肥精确控制,变量配肥施肥精度达到 95% 以

上<sup>[42]</sup>。2012 年刘阳春等检测了对变量施肥机在不同排肥轴不同转速下,不同肥料(尿素、磷酸二铵和硫酸钾)排肥量均值、标准差和变异系数<sup>[43]</sup>。2012 年张睿等基于 PWM 技术设计了一种闭环控制肥料抛撒幅宽调控系统,通过试验建立了幅宽与圆盘转速的关系,在不同作业速度和不同抛撒幅宽试验下,实际抛撒幅宽与目标抛撒幅宽之间误差最大值为 5.50%,最小值为 2.86%,抛撒幅宽能够达到 30 m<sup>[44]</sup>。2012 年张睿等设计了一种基于配方图的链条输送式变量施肥抛撒机,变量效果较好,且具有较好的抛撒均匀性,在拖拉机速度为 1.5 m/s 时,实际施肥量与预置施肥量相对误差最大值为 7.53%;拖拉机速度为 2 m/s 时,目标施肥量 225 kg/hm<sup>2</sup>,抛撒幅宽设定 30 m,有效幅宽抛撒变异系数为 14.90%<sup>[44]</sup>。2013 年郎春玲等对深施型液态施肥机进行试验,结果表明该系统设计合理,使用方便,变量调节的误差不超过 0.5 mL/次,施肥精度最低可达 95%<sup>[45]</sup>。

4 展望

变量施肥机在我国实现商品化,进行应用推广存在的主要问题有:(1)土壤养分检测仪器价格昂贵、性能较差,大面积高密度土壤取样测定成本太高、耗时长;(2)GPS 和 GIS 技术与农业机械设备的接口软件等技术不成熟,缺乏统一的农业信息标准和资源共享机制;(3)遥感检测技术费用昂贵、不易使用、实时性差,而且多种土壤养分含量对光谱的响应不显著;(4)施肥专家决策分析系统具有地域性,通用性较差;(5)现有颗粒、液体变量施肥机难以实现氮、磷、钾等多元素的在线合成,颗粒变量施肥机只能对单一颗粒肥进行施肥。

目前变量施肥机研究重点为:(1)加强在线式变量施肥机的研究,主要解决实时检测土壤主要养分含量的问题,提高变量施肥机的易操作性;(2)建立适应各地具体情况的精准施肥指标体系,为精准施肥提供有力的依据;(3)建立地区土壤肥力数据库,记录历年的土壤肥力分布、作物产量分布,完善科学变量施肥体系,并对示范基地的变量施肥应用进行大力推广;(4)研究多种肥料在线合成技术,实现精准多变量施

肥机变量作业;(5)研究旋耕、播种和多变量施肥等机具集成,实现复合作业。

# 参考文献:

- [1]罗锡文,张秦岭,洪添胜. 精细农业“技术体系及其应用[J]. 农业机械学报,2001,32(2):103-106.
- [2]赵春江,薛绪掌,王秀,等. 精准农业技术体系的研究进展与展望[J]. 农业工程学报,2003,19(4):7-12.
- [3]蔡德利,王熙,庄伟东,等. 精准农业变量施肥技术要点及试验初报[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2004,16(3):45-48.
- [4]张涛,赵洁. 变量施肥技术体系的研究进展[J]. 农机化研究,2010,32(7):233-236.
- [5]赵建宁,左腾云,胡元盛. 土壤肥料与我国粮食安全[J]. 河北农业科学,2009,13(1):116-118.
- [6]张晓辉,李汝莘. 法国的精确农业研究及应用现状[J]. 农机化研究,2002,2(1):12-15.
- [7]林昌华,唐群峰,唐树梅. 自动变量施肥技术的研究与应用现状[J]. 华南热带农业大学学报,2006,12(2):76-79.
- [8]汤炎,张海林,常志洲. 美国化肥使用概况[J]. 磷肥与复肥,2003,18(6):72-74.
- [9]苗孝可,王秀,孟志军,等. 精准农业变量施肥配方图生成系统[J]. 中国科技成果,2004(12):27-29.
- [10]何东健,杨成海,杨青,等. 面向精准农业的农田土壤成分实时测定研究进展[J]. 农业工程学报,2012,28(7):78-85.
- [11]Fystro G. The prediction of C and N content and their potential mineralization in heterogeneous soil samples using Vis-NIR spectroscopy and comparative methods[J]. Plant and Soil,2002(246):139-149.
- [12]Shibusawa S, Li M Z, Sakai K, et al. Spectrophotometer for real-time underground soil sensing [R]. St Joseph, Michigan: ASAE,1999.
- [13]Christy C, Drummond P, Laird D. An on-the-go spectral reflectance sensor for soil[R]. St Joseph, Michigan: ASAE,2003.
- [14]Ge Y, Thomasson J A. Wavelet incorporated spectral analysis for soil property determination [J]. Transactions of the Asabe, 2006, 49(4):1193-1201.
- [15]Shibusawa S, Hirako S I, Otomo A, et al. Real-time soil spectrophotometer for in-situ underground sensing[J]. Journal of the Society of Agricultural Machinery,2000,62(5):79-86.
- [16]Shibusawa S, Anom S M, Hache C, et al. Site-specific crop response to temporal trend of soil variability determined by the real-time soil spectrophotometer [C]//Stafford J, Werner A. Precision agriculture. Wageningen Academic Publishers,2003:639-643.
- [17]Christy C D. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2008(61):10-19.
- [18]卢艳丽,白由路,王贺,等. 利用光谱技术监测土壤主要养分含量潜力分析[J]. 土壤通报,2012,43(3):756-760.
- [19]丁海泉,卢启鹏. 近红外光谱技术在土壤养分分析中的研究进展及应用前景[J]. 光谱学与光谱分析,2012,32(1):88-91.
- [20]蒋璐璐,张瑜,王艳艳,等. 基于光谱技术的土壤养分快速测试方法研究[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2010,36(4):445-450.
- [21]张娟娟,田永超,姚霞,等. 基于近红外光谱的土壤全氮含量估算模型[J]. 农业工程学报,2012,28(12):183-188.
- [22]杨敏华. 面向精准农业的高光谱遥感作物信息获取[D]. 北京:中国农业大学,2002.
- [23]徐丽华,魏朝富,谢德体,等. 土壤养分遥感监测研究进展[J]. 农机化研究,2011,33(9):249-252.
- [24]王珂,许红卫,史舟. 土壤钾素空间变异性和空间插值方法的比较研究[J]. 植物营养与肥料学报,2000,6(3):318-322.
- [25]胡慧萍. 土壤特性的空间差异及其空间插值方法研究[J]. 湘潭师范学院学报:自然科学版,2001,23(3):99-101.
- [26]石小华,杨联安,张蕾. 土壤速效钾养分含量空间插值方法比较研究[J]. 水土保持学报,2006,20(2):68-72.
- [27]王建军,王长松,殷朝珍,等. 不同采样密度对土壤养分空间插值结果的影响[J]. 江西农业学报,2010,22(7):87-90.
- [28]马静,张仁陟,陈利. 耕地地力评价中土壤养分的空间插值方法比较研究——以会宁县土壤速效钾为例[J]. 安徽农学通报,2011,17(17):91-93.
- [29]张小清. 山地和丘陵区土壤养分空间插值精度比较研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2011.
- [30]杨子清,陈平留,刘健,等. 基于 Kriging 法的森林土壤养分空间插值[J]. 福建农林大学学报:自然科学版,2012,41(3):296-300.
- [31]李增兵,赵庚星,赵倩倩,等. 县域耕地地力评价中土壤养分空间插值方法的比较研究[J]. 中国农学通报,2012,28(20):230-236.
- [32]张素梅,王宗明,张柏,等. 利用地形和遥感数据预测土壤养分空间分布[J]. 农业工程学报,2010,26(5):188-194.
- [33]廖钦洪,顾晓鹤,李存军,等. 基于连续小波变换的潮土有机质含量高光谱估算[J]. 农业工程学报,2012,28(23):132-139.
- [34]王秀,赵春江,孟志军,等. 精准变量施肥机的研制与试验[J]. 农业工程学报,2004,20(5):114-117.
- [35]张勇智. 精确农业变量施肥精度研究[D]. 长春:吉林大学,2004.
- [36]张书慧,齐江涛,廖宗建,等. 基于 CPLD 的变量施肥控制系统开发与应用[J]. 农业工程学报,2010,26(8):200-204.
- [37]张书慧,马成林,吴才聪,等. 一种精确农业自动变量施肥技术及其实施[J]. 农业工程学报,2003,19(1):129-131.
- [38]张辉,李树君,张小超,等. 变量施肥电液比例控制系统的设计与实现[J]. 农业工程学报,2010,26(S2):218-222.
- [39]王兵利,朱瑞祥. 车载式施肥机撒装置系统的研究[J]. 杨凌职业技术学院学报,2010,9(1):4-7.
- [40]古玉雪. 双变量施肥播种机控制系统研究[D]. 上海:上海交通大学,2012.
- [41]伟利国,张小超,苑严伟,等. 2F-6-BP1 型变量配肥施肥机的研制与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(7):14-18.
- [42]刘阳春. 变量配肥施肥精准作业装备关键技术研究[D]. 北京:中国农业机械化科学研究院,2012.
- [43]张睿. 智能型变量施肥关键技术研究[D]. 北京:中国农业科学院,2011.
- [44]郎春玲,王金武,王金峰,等. 深施型液态肥变量施肥控制系统[J]. 农业机械学报,2013,44(2):43-47,62.
- [45]赵军,于洁,王熙,等. 机械驱动式精密变量施肥播种机的研制[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2006,18(2):49-52.
- [46]梁春英,王熙,赵军,等. 变量施肥播种机电控液压驱动控制系统设计[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2003,15(3):47-50.

周玲玲, 张黎杰, 姜若勇, 等. 不同墙体材料的日光温室环境变化及其对辣椒产量与品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(2): 339–340.

# 不同墙体材料的日光温室环境变化及其对辣椒产量与品质的影响

周玲玲<sup>1</sup>, 张黎杰<sup>1</sup>, 姜若勇<sup>1</sup>, 赵燕华<sup>2</sup>, 吉晓芹<sup>1</sup>, 黄红英<sup>3</sup>, 陈立昶<sup>1</sup>

(1. 江苏省农业科学院宿迁农科所, 江苏宿迁 223800; 2. 江苏省宿迁市气象局, 江苏宿迁 223800;

3. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏南京 210014)

**摘要:**比较了传统土墙及秸秆压块 2 种墙体材料建造的日光温室内温、湿度差异。结果表明:上午秸秆墙体日光温室温度较土墙体日光温室低,下午较土墙体日光温室高,秸秆墙体日光温室空气湿度低于土墙体日光温室,有利于提高辣椒的品质及产量。

**关键词:**墙体材料;秸秆;辣椒

**中图分类号:**S626.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)02-0336-02

我国每年产生秸秆约 6.5 亿 t, 畜禽粪便约 20 亿 t<sup>[1]</sup>。目前我国约 60% 的秸秆被随意弃置或就地焚烧, 大量畜禽粪便未经任何处理直接露天堆放, 造成严重的环境污染, 影响了城乡居民的日常生活<sup>[2]</sup>。种养结合、循环利用、绿色环保、安全高效是现代农业的发展方向。“猪-沼-菜”是广为普及的资源循环利用模式, 也是江苏省宿迁市泓润农牧科技有限公司的主要生产模式, 该模式是依据能量循环利用及生物链原理, 在日光温室蔬菜生产棚一端建造猪舍及沼气池, 猪排泄物进入沼气发酵池, 经发酵后产生沼气、沼液、沼渣, 沼气用于点灯, 为蔬菜增温补光, 同时提高温室中 CO<sub>2</sub> 浓度, 增强植株抗性, 沼渣用作底肥, 同时改善土壤酸碱性, 沼液经过稀释后作为冲施肥, 为蔬菜提供营养, 同时减少化肥、农药用量<sup>[3]</sup>。目前, 关于秸秆压块作日光温室墙体材料及秸秆墙体日光温室生产性能研究较为少见, 本研究探讨不同墙体材料日光温室对彩椒产量与品质的影响, 旨在为利用秸秆资源提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验在江苏省宿迁市宿城区南蔡乡苏黄村宿迁市泓润农

牧科技有限公司内进行。辣椒品种为曼迪(荷兰瑞克斯旺种子公司), 该品种具有商品性好、抗病性好、耐贮运等特点。

### 1.2 仪器

MRHO-QXZ 小型气象站(河南省邯郸市清胜电子科技有限公司)。

### 1.3 方法

秸秆墙体日光温室规格为: 90 m × 11 m × 4.2 m (长 × 宽 × 矢高), 秸秆墙体厚度为 46 cm (图 1)。土墙体日光温室规格为: 90 m × 11 m × 3.7 m (长 × 宽 × 矢高), 土墙墙体平均厚度为 3 m (图 1)。2013 年 3 月 1 至 7 日, 连续监测温室外、秸秆墙体日光温室内、土墙体日光温室内的温度及湿度。3 月 8 日选取不同日光温室内辣椒成熟果实, 用蒽酮比色法测定辣椒可溶性糖含量, 用 2,6-二氯酚酚滴定法测定维生素 C 含量, 用酸碱滴定法测定有机酸含量, 用折光仪测定法测定可溶性固形物含量<sup>[4]</sup>, 4 月底统计辣椒产量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同墙体材料日光温室内温、湿度变化

由图 2 可见, 06:00、08:00、10:00、12:00 秸秆墙体日光温室内温度分别比土墙体日光温室低 4.52%、3.85%、1.57%、3.3%。14:00、16:00、18:00 秸秆墙体日光温室内的空气温度分别比对照土墙体日光温室高 1.44%、0.98%、5.6%。秸秆墙体日光温室内空气湿度明显低于土墙体日光温室, 二者均明显高于室外空气湿度。

收稿日期: 2013-07-01

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(11)2036]。

作者简介: 周玲玲(1984—), 女, 江苏沐阳人, 硕士, 研究实习员, 主要从事蔬菜栽培及遗传育种。E-mail: 07694015@163.com。

通讯作者: 陈立昶, 研究员, 主要从事农作物栽培及遗传育种。

E-mail: sqnks@126.com。

[47] 梁春英. 变量施肥机自动控制系统设计研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2005.

[48] 刘成良, 苑进, 刘建政, 等. 基于 ARM 和 DSP 的双变量施肥控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(S1): 233–238.

[49] 孟志军, 赵春江, 王秀, 等. 基于 GPS 的农田多源信息采集系统的研究与开发[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 13–18.

[50] 孟志军, 赵春江, 刘卉, 等. 基于配方图的变量施肥作业系统

设计与实现[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2009, 30(4): 338–342.

[51] 孟志军. 基于配方图的变量施肥作业系统关键技术研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2007.

[52] 陈立平, 黄文倩, Meng Z J, 等. 基于 CAN 总线的变量施肥控制器设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 101–104, 185.

[53] 陈立平. 精准农业变量施肥理论与试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.