文章编号：1005-0906(2015)06-0142-07 DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.20150625

中国和美国雨养玉米区机械化施肥技术比较分析

苏效坡[1],曾爱军[2],米国华[1]

(1.中国农业大学资源与环境学院,北京 100193；2. 中国农业大学理学院,北京 100193)

摘 要：比较美国雨养玉米和我国东北春玉米机械化施肥技术现状。美国在玉米推荐施肥技术方面的研究已经十分完善,并且施肥机械高度发达以适应大农场田块作业。我国在施肥技术方面也进行了多方面的深入研究,但施肥机械的发展还处在较低的水平。为适应我国土地规模化经营的发展,应该借鉴美国等发达国家的经验,将施肥技术与施肥机械相结合,发展机械化的施肥技术。

关键词：玉米;免耕播种,农机农艺结合

中图分类号：S513.062 **文献标识码**：A

Current Status of Mechanized Fertilization Techniques in Rain-fed Maize in China and the USA

SU Xiao-po[1], ZENG Ai-jun[2], MI Guo-hua[1]

(1.*College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing* 100193;
2. *College of Science, China Agricultural University, Beijing* 100193, China)

Abstract: This paper introduced the current status of machinery-based fertilization technology in the rain-fed maize in the United States and the spring maize in the Northeast of China. Fertilization recommendation technology has been studied thoroughly in the United States, and the fertilizer machinery was highly developed to match the requirement of farmers with the large scale land. In China, researches on fertilizer recommendation have been carried out across the county. However, less attention has been paid on the development of fertilizer machinery. With the fast development of land merge in the countryside in China, we should learn from the experience of the United States on the machinery-based fertilization techniques and match the fertilization techniques with the machinery.

Key words: Maize; No-till planter; Match machinery with agronomy

我国作为一个人口大国,保障国家粮食安全是一项长期而艰巨的任务。面对人口和资源环境的双重压力,必须将作物高产与养分高效相结合,走可持续的农业发展道路[1]。科学合理的施肥技术是提高化肥利用率的重要措施[2]。随着土地规模化迅速推进,农村的生产方式以及经营方式正发生着深刻变化,施肥技术也应该相应地向机械化方向变革[3]。如何在规模化生产条件下,通过农机与农艺的结合,提高化肥利用率,实现作物的“高产高效”是当前农业面临的重要课题之一。在欧美等发达国家,由于劳动力的缺乏,各项农事操作均有相应的机械可供使用,实现了作物田间管理全程机械化,且农业机械向着大功率、高速度、宽幅、一体化和精准化的方向发展[4]。施肥及其配套机械也是如此,施肥技术也必须与施肥机械紧密结合,否则无法被农户接受。美国玉米机械化施肥方法呈现出的特点,对我国未来玉米施肥技术的发展有着重要的借鉴价值。通过阅读文献,结合在美国的实地考察,本文比较美国雨养玉米与我国东北春玉米机械化施肥技术现状,为我国未来施肥机械的良性发展提供参考。

收稿日期：2015-03-04

基金项目：农业部“948”项目“主要农作物养分高效利用的农机农艺结合先进技术引进”[2011－G18(2)]

作者简介：苏效坡(1990-),男,安徽合肥人,硕士,主要从事玉米机械化施肥技术研究。E-mail:suxiaopo@foxmail.com

米国华为本文通讯作者。

E-mail:miguohua@cau.edu.cn

1 美国玉米机械化施肥技术

1.1 基肥技术

玉米的施氮量可根据目标产量来推荐。有研究表明,实现产量潜力的氮肥推荐用量为1.79～2.32 kg N/100 kg子粒时,氮素的效率较高。按

1.79 kg N/100 kg子粒来推荐施氮量,需要将氮肥分为启动肥和追肥分次施用,才能实现氮肥的高效利用[5]。许多研究表明,现代玉米杂交种的生长不需要推荐那么多的氮素,在玉米大豆轮作体系中产量和推荐施氮量的相关性很小,甚至没有相关性[6]。现在普遍使用的是结合土壤测试来推荐施氮肥,如播前土壤测试(Pre-plant soil N test)、追肥前土壤测试(Pre-side-dress soil nitrate-N test)、收获后土壤测试(End-of-season soil N test)等[7]。美国玉米氮素管理的"最佳管理方案"(Best management practices)更是对肥料的种类、施用量、施用时间和施肥位置等做了详细的说明[8],同时推荐施氮量也会依据经济效益进行调整。爱荷华州立大学制作的"玉米施氮量计算器(Corn nitrogen rate calculator)"可以根据玉米价格/氮肥价格的比值,为美国玉米带上的各个州提供经济最佳施氮量的推荐[9]。磷、钾肥的施用也是根据耕层土壤的测试值作推荐。

美国的氮肥消耗主要是液氨、尿素、尿素硝铵溶液(Urea and ammonium nitrate,UAN)等;磷肥主要是磷酸二铵;钾肥主要是氯化钾,硫酸钾只用在忌氯的作物上。复混肥料在美国市场占有重要地位,其养分比例可根据作物灵活调整,聚磷酸铵能与含氮溶液、氯化钾等制成不同含量比例的氮磷钾复合肥,在大量元素中掺入中微量元素制成复混肥,以利于在机械化条件下进行均匀施用。由于美国土壤肥力近年来持续上升,在很多条件下只需要施用单一肥料就能满足作物的养分需求。总体而言,单一肥料的施用量要大于复混肥料的施用量[10]。

基肥的施用与耕作制度紧密相关[11]。美国玉米的耕作可分为传统耕作和保护性耕作,传统耕作是全幅宽耕作,在播前或者是在前茬作物收获后进行翻耕和表土耕作,耕作时通常结合基肥撒施,通过大型的肥料撒布机,将固体(颗粒状或粉状)肥料撒施到地表,随后在耕作中,肥料被翻埋入土壤中。固体化肥撒肥机有全幅式、摆动式、离心式等,广泛使用的是离心式撒肥机,固体肥料撒布机载重量大,撒幅超过20 m,作业效率高[12]。条播作物上,基肥也常会在行间条施。

保护性耕作是美国推行实施的重要的耕作方式,包括免耕(No-till)、条带耕作(Strip-till)等。免耕条件下,一部分氮肥在播种时施入,一部分氮肥在生育期追施,通过分次施肥来减少氮素的损失风险。一般生产者在播种时施用的氮肥占生育期所施氮肥的30%~50%,剩余的氮肥在玉米的5~6叶期以液态氮肥或者无水氨的形式施入[13]。使用John Deere 1770NT型免耕播种机,将启动肥施在玉米播种行上,外加一部分液态氮肥施在垄侧距离播种行中心5 cm的地方,可以在追肥前为作物的生长提供充足的氮肥养分。

条耕属于保护性耕作的一种,仅对苗带进行耕作,最大限度地减少了对土体的扰动。条耕能营造出一个更加温暖、疏松的苗床;另一个优点在于实施条耕时能够将肥料深施于耕作区的土体中,以提高肥料利用率[14,15]。条耕施肥组件如Yetter公司生产的2984系列、DAWN公司生产的7772-HS-AIR型作业单元(Unit),在作业时将固体肥料或液态肥经传输系统施于凿型铲(Chisel)开出的深沟底部,深度在15~20 cm,然后覆土镇压。条耕施肥一般在秋天前茬作物收获后实施,也可以在春天播种前实施。两个时间段上施肥各有利弊,秋天条耕结合施肥,可以更好地分配劳动力和机械,节省春天播种的时间;秋天土体可耕性好,但是秋施肥肥料在土壤中存留时间长,养分损失风险大。如果是秋整地而且基肥中有氮肥,一般整地的时间要选择在地温低于10℃以下后进行,以减少氨挥发。如果冬季多雨,则不提倡秋季施基肥时施用氮肥,以避免硝酸盐淋失。在春天播种前施肥,可以减少养分损失,但必须面对播种延迟、土地压实等不利影响,特别是在春天土壤潮湿的情况下[16]。

1.2　种肥技术

种肥(美国称启动肥Starter fertilizer)是在播种时与种子一起施下的肥料,能够供给作物苗期营养,促进苗期生长,尤其是在早春湿冷的环境中,施用启动肥可以提高玉米的抗逆性[17]。启动肥可以是固体或液体肥,一般速效性的氮磷肥均可作为启动肥,但要求磷含量较高。磷酸一铵(MAP;10-52-0)、多磷酸铵(10-34-0)等都是很好的启动肥原料,可以直接施用,或者掺入其他肥料做成专用启动肥($N-P_2O_5-K_2O$比例在1-2-1,1-3-1或1-4-2等)。含有磷酸二铵、尿素的肥料则要控制好用量和施肥位置,以防烧种。

合理的启动肥用量,要求$N+K_2O$的总含量不超过78 kg/hm^2,这是基于距离种子5 cm的施肥位置而言,离种子越近用量应越少,当与种子混合时,用量不超过11 kg/hm^2,因此启动肥的施用量介于11~78 kg/hm^2[18]。在采取轮作、地力比较好的土壤上,很多农户不撒施基肥,而是适当调整启动肥的数量。采用免耕和条耕的地块,播种时也通常只施用启动肥。

启动肥的施肥方法有正位深施、侧位深施、种肥混施及地表撒施等,理想的施肥位置在种子侧下方、

距种子的水平和垂直距离均为5 cm左右。这种方式主要用于玉米等中耕作物,有利于提高肥料利用率,但是这种施肥方式对机械有较高要求,播种机上需要有独立的开沟施肥装置以将肥料施到正确的位置上。

1.3 生育期追肥技术

理论上,氮肥追肥应该根据玉米的养分吸收规律,在玉米养分需求最旺盛的拔节期至大喇叭口期进行[19]。然而实际生产中,多数农民在出苗后几周(最早在玉米3叶期左右)即开始追肥,原因是普通追肥机组的底盘地隙过低(一般在40~50 cm范围内),影响进地通过性和伤苗,而玉米生长速度很快。再考虑到作业面积、降雨等天气因素,施肥机械的作业窗口期非常短,容易错过最佳追肥时期[20]。因此,为了增加作业时间,常常会选择在幼苗期尽早一次性追肥。

美国追肥(称为Side dress)以氮肥为主,主要种类包括液态氨(NH_3)、液体硝铵尿素以及固体尿素(Urea)。追肥位置在玉米行间,根据肥料种类不同,施肥方法可以是地表撒施(固体肥)或喷洒(液体肥)、开沟深施(固体或液体肥)以及注射液体肥等。为了提高施肥效果,美国普遍使用圆盘开沟施肥器,同时提高施肥机械的地隙和效率,使追肥延后。

1.3.1 使用专用的圆盘开沟施肥器(Fertilizer coulter)

传统施肥机上多运用施肥铲进行开沟施肥,但是施肥铲的作业阻力大,土壤适应性差,而且开出的沟比较宽,在田间作业时对土体和残茬的扰动大,容易造成植株的损伤,特别是在玉米的幼苗期。针对这一问题,美国的许多追肥机械上采用了圆盘式的开沟施肥器,施肥位置精确,不仅减少了扰动,而且提高作业速度(高达20 km/h)。以美国Yetter公司为例,其专业生产各种施肥器,具有80多年的历史。特点一是专业化生产,技术含量高,材质、加工工艺、使用寿命及配件供应等均有保证;二是产品选择多样化,适应性强,为满足适应免耕翻耕方式、地表残茬、土壤质地、施肥位置、强制入土或作业速度等的性能要求,可选择的开沟圆盘有平面圆盘、缺口圆盘、波纹形(Ripples)圆盘、波浪形(Waves)圆盘、气泡形(Bubbles)圆盘等,圆盘直径33~76 cm范围可选,圆盘开沟施肥器可以施用固态肥、液态肥或液氨等,施肥深度可达5~16.5 cm,并有效覆土,但施肥深度依靠机组重量入土,均为大型牵引式机组;三是圆盘开沟施肥器配套性好,虽然Yetter公司不生产施肥机整机,但是施肥器部件广泛用于世界著名农机生产商的耕种和施肥机械上,是专业化的供应商[20]。

1.3.2 提高施肥机组地隙

为解决普通施肥机的地隙较低、追肥期过早、达不到农艺要求的问题,有的生产企业研发高地隙追肥器,以延长追肥期。Fast Distributing生产的8100/8200/8300/8400系列施肥机,地隙提高到54.6 cm;John Deere的2510 L型施肥机,地隙高度61 cm,而2510H型的地隙高度的达到76.2 cm,同时相应提高液罐车的地隙,这样追肥作业能够持续到玉米的八叶展开期。与普通的低地隙施肥机械相比,其作业窗口期增加了将近300%。

如果因为降雨等恶劣天气错过了最佳追肥时期,有的种植者会运用自走式高地隙喷药机撒施或者滴施液体肥来弥补损失。Yetter、Hagie和Miller公司还专门推出了基于高地隙平台的施肥悬挂,Yetter公司为John Deere4710/4720/4730/4830型高地隙喷药机生产了3600-026型施肥悬挂(Fertilizer Toolbar);Miller公司为其5000系列喷药机配置了施肥悬挂(Injection Toolbar);Hagie公司则为其STS系列喷药机配置了施肥悬挂(Nitrogen toolbar)。Hagie公司生产的STS /w NTB系统可以在全生育期进地作业,其配套的施肥悬挂地隙183 cm,幅宽为9.1 m和12.2 m,最多一次可对24行玉米进行追肥,理论上每小时可追肥23.6 hm^2,不仅实现了全生育期追肥,追肥效率非常高,适合大面积连续作业。

此外,一些现代信息技术也运用在施肥机械上,安装诸如Greenseeker、OptRx等作物传感器,在玉米生育期间追肥时,能够根据玉米的冠层营养诊断结果,实现精准变量施肥。

2 我国机械化施肥技术现状

2.1 基肥

我国玉米生产中,施用的肥料主要是袋装的固体颗粒复合肥或复混肥料。由于我国玉米种植覆盖面积广泛,包含了东北、华北、西南和西北四大主产区,因此土壤、气候条件及栽培管理措施千差万别,在养分管理方面应结合当地实际科学合理施肥。在氮肥的施用上遵循“总量控制、分期调控”的原则,磷、钾则进行恒量监控。在当前产量水平并有所增产的条件下,东北春玉米和黄淮海夏玉米的施氮量宜控制在150~180 kg/hm^2;西南玉米的施氮量宜控制在210~270 kg/hm^2;东北和西北雨养玉米的施氮量宜控制在150~180 kg/hm^2;灌溉玉米的施氮量宜控制在210~240 kg/hm^2。在超高产水平上,施氮总量宜控制在225~270 kg/hm^2。张福锁等编写的《主要农作物施肥指南》[21],对我国的不同区域的作物施

肥指标做了细化,对指导作物施肥很有参考价值。

在机械化生产条件下,根据我国的土壤条件及农户生产特点,结合发达国家的先进经验,我国玉米全程机械化施肥的模式,夏玉米:基肥(配方复合肥,种肥同播)+ 1次机械追肥(氮肥,苗期至大口期);春玉米:基肥(配方复合肥)+种肥(专用种肥或磷酸二铵)+1次苗期机械追肥(氮肥)。

传统的基肥施用方法是将肥料撒施到地表,结合整地将肥料翻埋到土壤中。为解决在播种前施底肥抢农时的需要,各地均陆续研制成功多种小型撒肥机,北京国营农场管理局生产处研制的2FL-10离心式撒肥机,这种机型功效高,撒肥均匀,机械撒肥的效率是人工作业的50多倍。在东北垄作地区,有的联合整地机上加载了施肥箱,实现了灭茬、旋耕、施肥、起垄、镇压一体化,基肥在起垄时,条施于垄的正下方。然而随着种肥同播技术的发展,播种机可一次作业完成播种、施肥、镇压等过程,黑龙江海伦王机械公司制造的2BJG型穴播机,播种深度3~5 cm,基肥施肥位置在种下3~7 cm,种肥与种子混施。

2.2　种肥

在我国东北等春玉米种植区域,早春土壤潮湿低温,施用种肥对玉米生长具有重要意义。在东北地区的研究表明,磷酸二铵和硫酸铵+过磷酸钙作为启动肥,对玉米幼苗的地上部分生物量和根系的生长效果显著,而磷酸一铵和硝酸磷前期壮苗效果不明显[22],在吉林省梨树县的农户调查中发现,农户一般以磷酸二铵作为种肥,或在其中掺入有机肥、硫酸锌等作为种肥施用。用磷酸二铵做种肥时,用量在37.5~75 kg/hm^{2}为宜,不可过量施用,并要注意与种子隔离,以防烧种[23]。

在很多情况下,种肥与播种是通过播种机一同完成,这种施肥方式能一次性完成播种、基肥和种肥,效率很高;存在的问题主要包括施肥机械性能不稳定,施肥的位置达不到要求[24]。在玉米上,也有很多播种机配备两个施肥系统,在播种的同时,将基肥条施于种子的侧下方,种子5 cm以下,种侧3~5 cm。种肥的施肥位置有正位深施、侧位深施及种肥混施。由于种肥之间有3~5 cm的土层相隔,正位深施和侧位深施避免了烧种。种肥混施则要严格控制施肥量,在东北的地区,种肥混施的情况下,磷酸二铵的推荐施用量为50 kg/hm^2。在实际生产中,很多农民采用一次性施肥,把全生育期所需肥料随播种一起施入,肥料施用量过大,在某些肥料品种、土壤及气候条件下容易造成烧苗。

近年来,我国也研制成功了小型免耕播种施肥一体机,吉林四平生产的康达2BMZF系列免耕播种机能够在有全部秸秆覆盖的情况下作业,一次进地完成侧深施肥,清理种床秸秆,整理种床,单粒播种,覆土、重镇压等工序;其施肥器也采用了国际先进的圆盘式开沟技术,基肥施肥深度8~12 cm,距离播种行7 cm左右,施肥准确度得到很大提高,受到农民欢迎。

2.3　中耕追肥

生育期追肥是保证玉米中后期养分供应、提高养分效率的一项重要的农业措施。追肥常常与中耕(深松)结合在一起,一次性完成松土、除草与施肥等操作。近年来东北玉米带农户追肥的比例逐年降低[25,26]。采用追肥的农户,一般追肥期较早。

目前,国内研制并生产的中耕施肥机械有行间中耕机、全面中耕机、通用中耕机等多种类型,其中后悬挂式行间中耕机是在我国农业生产中应用最为广泛的一种机械[27],其特点是结构简单,可根据不同的需要配置工作部件,对行距适应性能良好,行间作业时可降低伤苗率。这种机型存在问题是后悬挂式中耕机靠悬挂自身重力将松土机构压入土体中,若悬挂较轻,入土深度浅,且其悬挂连接处易磨损、晃动,影响作业质量;大多数中耕追肥机械的地隙较低,只能在幼苗期作业,作业窗口期短,不能满足追肥延后和大面积作业的农业要求;作业幅宽小,速度慢,效率低。

后悬挂式中耕机的开沟施肥部件有铧式犁铲、凿式犁铲、圆盘开沟施肥器等。铧式犁铲:铧式犁制作工艺简单,对动力的要求小,作业时犁铧在前松土,肥料由肥管导入到犁片下方,随后被下落的土块掩埋,而此类中耕机大多没有合土机构,会将土翻到垄帮上,虽然开沟深度超过10 cm,但肥料的掩埋深度较浅;凿式犁铲:凿式犁的工作原理与铧式犁相似,但开沟宽度窄,施肥深度深,大型的中耕深松施肥机械多采用凿式犁,深松深度35~40 cm,施肥深度15 cm左右,凿式施肥铲工作时易挂带残膜、作物残茬(秆),容易损坏作物幼苗,同时凿式施肥铲工作时碎土能力差,易掀起大的土块,不仅损坏作物幼苗且易跑墒;圆盘式开沟施肥器:其波纹状边缘在作业时开出一条窄沟,肥料施在窄沟内,施肥深度7~10 cm。圆盘开沟施肥器对钢材及制作工艺要求较高,基本都是引进自国外,国内目前还没有大面积推广应用。

中国农业大学在现有中耕追肥机械的基础上,结合玉米追肥的农艺需求和美国追肥机械的发展现

状，研制出了2FZ-2995-4型高地隙玉米追肥机，其地隙提高到了70 cm，最高能对1.2 m的玉米进行追肥而不造成植株折损；采用美国Yetter公司的2995型圆盘式开沟施肥器，作业时沿垄测20 cm处施肥，施肥深度7～10 cm，施肥位置精准；同时安装了电动肥盒及转速耦合装置，实现了均匀施肥。高地隙玉米追肥机，从2012年研制以来，在吉林省梨树县的累计推广面积超过100 hm^2，并根据大面积田间应用的反馈做了不断的改进。

3 美国玉米机械化施肥技术对我国玉米生产的启示

3.1 制定区域优化的施肥技术规程

美国玉米带上各州立大学，针对玉米的养分需求规律和肥料特性以及气候土壤条件等，对肥料的种类、施用量、施肥时间、施肥位置和施肥方法等做了细致的研究，形成了标准的施肥技术规程，对生产的指导意义巨大。同时，美国的玉米生产以经济效益为导向，在施肥上会综合考虑肥料的价格、施肥机械的利用率等因素，很多农户会在前茬玉米收获后进行施肥，因为此时的肥料价格相对较低，施肥机械闲置，作业时间充裕且土壤墒情适宜。

我国自测土配方施肥项目开展以来，根据区域性的气候、土壤养分供应与迁移特征及玉米产量潜力，针对不同区域制定了施肥技术规程。我国玉米栽培中注重产量，这些技术规程往往过于强调农艺，缺乏与当地农机水平的有效结合，在实际生产中的可操作性不强，尤其是在增加田间作业次数的情况下，农民的采用率较低。因此，制定玉米施肥技术规程，还要与当地的农机装备水平、栽培和耕作制度相结合，尽量优化、简化技术方案，以追求经济效益为导向，实现节肥增产、高产高效的目标。

3.2 加强施肥机械与配套肥料的研发

美国玉米施肥作业依赖于大型施肥机具的使用，施肥机械门类齐全，能满足玉米生产各个环节的施肥需求，且施肥机械呈现大型、复式、高效的特点，并向着自动化、智能化和精准化的方向发展。我国当前玉米生产中使用的施肥机械很多是从传统作业机械改造而成，缺乏系统性的设计，作业性能和技术指标落后，自动化程度低，需要根据“高产高效”的农艺技术要求，研制相应的功能性施肥机械，尤其是需要研发适于玉米中后期追肥的高地隙追肥机械以及适应于液体肥的施肥机械等。为了增加有机肥的应用，应开发液体有机肥运输及施肥机械。同时，开发配套的新型肥料。美国玉米生产中，非常注重发展新型肥料，除了养分配比灵活的复混肥料，液体肥料的施用量较多，液体肥料具有肥效高、易吸收、施肥方式方便多样等诸多优点，具有广阔的发展前景[28]。我国玉米生产中，化肥消耗以袋装颗粒肥为主，固体颗粒肥料的形态应该均匀化，缓释肥(控释肥)、稳定性肥料的应用和机械化施肥相结合，可以减少对追肥后移的需求，从而降低对施肥机械地隙的要求。推动液体肥料在玉米种肥及追肥上肥应用，以提高肥料的利用率。

3.3 推广保护性耕作模式，注重培肥地力

美国最早推行保护性耕作模式，采用少耕和免耕播种等耕作模式，并结合秸秆覆盖、合理轮作、覆盖作物(Cover crop)等方法，减少表土侵蚀[29]。同时，美国玉米生产中大量施用有机肥，以改善土壤结构，培肥地力，提高土壤有机质含量。美国玉米保护性耕作机具完善，很多大型的复式机械在耕作的同时完成基肥的施用，有机肥撒施机械载重量大，作业效率高，这些农机装备为美国保护性耕作的实施提供了保障。

我国东北地区为保护黑土地推广免耕保护性耕作技术，但由于免耕播种机械的不足，在秸秆还田的条件下，播种质量不佳，实际生产中只是免耕播种，难以做到大面积秸秆还田；农户化肥的施用量较高，有机肥的施用较少，加上常年的玉米连作，土壤退化严重。借鉴美国的经验，东北地区应推行多种模式的保护性耕作措施，春季温度较低的地区，可以采用条带耕作技术，随着免耕播种机的进步，免耕秸秆覆盖技术会越来越成熟。东北地区较为发达的家庭养殖业，产生了大量的有机物料，是有机肥的重要来源，有机肥撒施机械的研制和使用也将为有机肥的施用创造有利条件。

3.4 推进土地规模化经营，培育新型农业经营主体

美国农业以农场为单位，随着农业人口的减少，农场的规模逐渐增大，玉米种植体现出巨大的规模效益[30]。这种大规模连片种植，依靠全程机械化作业，并引入了GPS、GIS及作物传感器等信息技术手段，对施肥等田间操作进行实时的分析和管理[31]。美国这种大农业的模式，不仅有利于提高效益，更有利于高新技术在农业上的应用。

我国东北地区土地面积较大，但仍然以小农户分散经营的模式为主，生产规模小，不同农户的施肥管理水平和对施肥技术的接受程度存在较大差异，不利于玉米施肥技术的提高。同时，农户种植面积小，流转的土地期限较短、经营权限不明确，农户对农机等设备的投资存在顾虑。因此，应当尽快完成

土地的确权登记,鼓励土地流转,推动土地规模化经营,培养家庭农场、合作社以及农业技术企业等新型农业经营主体,加快农业规模化、机械化、产业化的步伐。

参考文献:

[1] 王激清,马文奇,江荣风,等 . 养分资源综合管理与中国粮食安全[J] . 资源科学,2008,30(3):415-422 .
Wang J Q, Ma W Q, Jiang R F, et al. Integrated soil nutrients management and China's food security[J]. Resources Science. 2008, 30 (3): 415-422. (in Chinese)

[2] 张福锁,崔振岭,王激清,等 . 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J] . 植物学通报,2007,24(6):687-694 .
Zhang F S, Cui Z L, Wang J Q, et al. Current status of soil and plant nutrient management in China and improvement strategies[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2007, 24(6): 687-694. (in Chinese)

[3] 陈新平,崔振岭,张宏彦,等 . 玉米施肥技术与机械化[J] . 农业技术与装备,2011,17:22-24 .
Chen X P, Cui Z L, Zhang H Y, et al. Corn fertilization techniques and mechanization[J]. Agricultural Technology & Equipment, 2011, 17: 22-24. (in Chinese)

[4] 傅　忠,黄大明,刘　监 . 国外农业机械化发展方向及其启示[J] . 广西农业机械化,2005(1):9-13 .
Fu Z, Huang D M, Liu J. Developing direction of agricultural mechanization in foreign countries and its enlightenment[J]. Guangxi Nongye Jixiehua, 2005(1): 9-13. (in Chinese)

[5] Alley M M, Marvin E M, Pual H D, et al. Nitrogen and phosphorous fertilizer of corn[J]. Virginia Cooperation Extension, 1997.

[6] Fernández F G, Ebelhar S A, Nafziger E D, et al. Managing nitrogen [M]. Illinois Agronomy Handbook, 2012: 113-132.

[7] Scott M. Fertilizer nitrogen BMPs for corn in the north central region [J]. Better Crops, 2006(2): 16-18.

[8] Brown B, Hart J, Horneck D, et al. Nutrient management for field corn silage and grain[J]. University of Idoho Extension, 2010.

[9] Corn Nitrogen Rate Calculator . Agronomy Exteension, Iowa State University[OL]. http://extension.agron.iastate.edu/soilfertility/nrate.aspx.

[10] 汤　炎,张海林,常志洲 . 美国化肥使用情况[J] . 磷肥与复肥,2003,18(6):72-74 .
Tang Y, Zhang H L, Chang Z Z. The general situation of fertilizer application in USA[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2003, 18 (6): 72-74. (in Chinese)

[11] Imtiaz A, Jan M T, Muhammad A. Tillage and nitrogen management impact on maize[J]. Sarhad Journal of Agriculture, 2010, 26: 157-167.

[12] 王吉亮,王序俭,曹肆林,等 . 中耕施肥机械技术研究现状及发展趋势[J] . 安徽农业科学,2013,41(4):1814-1816,1825 .
Wang J L, Wang X J, Cao S L, et al. The status and development trend of cultivator and fertilizer mechanization technique[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(4): 1814-1816, 1825. (in Chinese)

[13] Phil N. Efficient fertilizer placement in no-till systems[R]. National No-till conference, 2009.

[14] Mahdi A, Mark A L. Effect of strip tillage on corn nitrogen uptake and residual soil nitrate accumulation compared with no-tillage and chisel plow[J]. Agronomy Journal, 2004, 96: 1164-1171.

[15] Al-Kaisi M M, Hanna H M. Consider the strip-tillage alternative [J]. Iowa State University Cooperative Extension Service, 2002.

[16] Jeffrey A V, Gyles W R. Corn production as affected by nitrogen application timing and tillage[J]. Agronomy Journal, 2004, 96: 502-509.

[17] Touchton J T, Karim F. Corn growth and yield response to starter fertilizers in conservation tillage systems[J]. Soil & Tillage Research, 1986, 7: 135-144.

[18] Beegle D B, Roth G W, Lingenfelter D D. Starter fertilizer[J]. Pennsylvania State Extension, 2007.

[19] Ross R B, Jason W H, Matias L R, et al. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids[J]. Agronomy Journal, 2013, 105: 161-170.

[20] John Deere. http://www.deere.com/en_US/industry/agriculture/agriculture.page.

[21] 张福锁,陈新平,陈　清,等 . 中国主要作物施肥指南[M] . 北京:中国农业大学出版社,2009 .

[22] 李　前 . 启动肥对春玉米生长及产量形成的效应研究[D] . 北京:中国农业大学,2012 .

[23] 李书田,黄德明 . 磷酸一铵与磷酸二铵在石灰性土壤上的行为[J] . 土壤肥料,1994(4):33-35 .
Li S T, Huang D M. Behavior of MAP and MDP in calcareous soil [J]. Soils and Fertilizers, 1994(4): 33-35. (in Chinese)

[24] 袁文胜,金　梅,吴崇友,等 . 国内种肥施肥机械化发展现状及思考[J] . 农机化研究,2011,33(12):1-5 .
Yuan W S, Jin M, Wu C Y, et al. Development status and prospect of seed manure fertilizing mechanization in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(12): 1-5. (in Chinese)

[25] 高　强,李德忠,黄立华,等 . 吉林玉米带玉米一次性施肥现状调查分析[J] . 吉林农业大学学报,2008,30:301-305 .
Gao Q, Li D Z, Huang L H, et al. Investigation of present situation on single fertilization for maize in Jilin maize belt[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2008, 30: 301-305. (in Chinese)

[26] 高　强,李德忠,汪娟娟,等 . 春玉米一次性施肥效果研究[J] . 玉米科学,2007,15(4):125-128 .
Gao Q, Li D Z, Wang J J, et al. Effects of single fertilization for spring maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(4): 125-128. (in Chinese)

[27] 龚　艳,丁素明,傅锡敏 . 我国施肥机械化发展现状及对策分析[J] . 农业开发与装备,2009(9):6-9 .
Gong Y, Ding S M, Fu X M. Mechanization development of China fertilizer situation and countermeasures[J]. Research in Agriculture Development, 2009(9): 6-9. (in Chinese)

[28] 黄　燕,汪　春,衣淑娟 . 液体肥料的应用现状与发展前景[J] . 农机化研究,2006(2):198-200 .
Huang Y, Wang C, Yi S J. The application situation of fluid fertilizer and its developmental prospects[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(2): 198-200. (in Chinese)

[29] 李少昆 . 美国玉米生产技术特点与启示[J] . 玉米科学,2013,21(3):1-5 .

Li S K. Characteristics and enlightenment of corn production technologies in the U.S.[J]. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(3): 1-5. (in Chinese)

[30] 张树权,张世煌,陈新平,等 . 美国玉米科研生产实践对黑龙江玉米发展的启示[J] . 黑龙江农业科学,2012(2):131-134 .
Zhang S Q, Zhang S H, Chen X P, et al. Enlightenment of the scientific research and production practice of maize in America to Heilongjiang maize development[J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2012(2): 131-134. (in Chinese)

[31] 赵久然,王荣焕 . 美国玉米持续增产的因素及其对我国的启示[J] . 玉米科学,2009,17(5):156-159,163 .
Zhao J R, Wang R H. Factors promoting the steady increase of American maize production and their enlightenments for China[J]. Journal of Maize Sciences, 2009, 17(5): 156-159, 163. (in Chinese)

(责任编辑:高 阳)

(上接第141页)

Lu H D, Xue J Q, Ma G S. Effects of low nitrogen stress on source-sink characters and grain-filling traits of different genotypes summer maize[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(5): 1277-1282. (in Chinese)

[21] 刘 霞,李宗新,王庆成,等 . 种植密度对不同粒型玉米品种子粒灌浆进程产量及品质的影响[J] . 玉米科学,2007,15(6):75-78 .
Liu X, Li Z X, Wang Q C, et al. Effect of planting density on filling process, yield and quality of different maize varieties[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(6): 75-78. (in Chinese)

[22] 陈 晨,董树亭,刘 鹏,等 . 种植密度对玉米自交系产量和灌浆特性的影响[J] . 玉米科学,2012,20(6):107-111 .
Chen C, Dong S T, Liu P, et al. Effect of planting density on grain filling characteristics of different maize inbred lines[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(6): 107-111. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)