

3MDZJ-1 型棉花智能精准打顶机的试验研究

彭强吉, 荐世春, 宋和平, 何青海, 位国建, 付乾坤, 岳 会

(山东省农业机械科学研究院, 山东 济南 250100)

摘 要: 针对现有棉花打顶机械作业过程中存在棉花高度仿形效果差,漏打顶、过打顶严重,智能化水平低等问题,提出了检测装置与打顶装置分开、升降动力与切割动力分开的方案,研制了一种基于 FPGA 控制系统的 3MDZJ-1 型棉花智能精准打顶机。作业过程中,检测装置对棉花高度进行检测,控制系统依据作业速度控制打顶装置的响应升降时间,实现定量升降;触屏控制系统能够实时显示作业速度、作业面积及监控棉花打顶过程。田间试验表明:整机结构稳定,机具作业速度在 $3.24\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 内时,打顶率在 88% 以上,打顶量接近设定值 7 cm,符合设计要求,为棉花打顶机械化及智能化提供了技术支持。

关键词: 棉花打顶机;智能控制;定量打顶;精准检测

中图分类号: S224.9 **文献标志码:** A

Experimental research of 3MDZJ-1 type intelligent precise cutting cotton top machine

PENG Qiang-ji, JIAN Shi-chun, SONG He-ping, HE Qing-hai,

WEI Guo-jian, FU Qian-kun, YUE Hui

(Shandong Academy of Agricultural Machinery Sciences, Jinan, 250100, China)

Abstract: Aimed at the existing problems in the operating process of cutting cotton top machine as poor effect of simulating cotton height, missed out cutting top, over cutting top and low intelligence level etc, proposed the scheme of separating the detection device and cutting top device, and separating the lifting power and cutting power, developed the 3MDZJ-1Type intelligent precision cutting cotton top machine based on the FPGA control system. In the operating process, the detection device is checking the cotton height, the control system is responding the lifting time according to the operating speed to cutting top device to realize the quantitative lifting. The touch screen control system can be actually displayed the operating speed, working areas and monitored the process of cutting cotton top. The field test indicated that the whole structure of machine was stabilization, when the machine operating speed was within $3.24\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, the cutting top rate was more than 88%, the cutting top volume was close to set value 7 cm, accord with the design requirements. It can be provided the technical support for the mechanization of cutting cotton top and intellectualization.

Keywords: cutting cotton top machine; intelligent control; quantitative cutting top; precision detection

棉花是我国的重要经济作物,全国植棉面积达 $3.17\times10^6\text{ hm}^2$ ^[1]。棉花是无限生长植物,持续生长会影响果枝台数及质量,进而影响棉花产量。棉花打顶是棉花增产增收的关键,适时打顶可消除棉株顶端优势,促进大部分养分横向运输到结实器官,降低脱落和烂桃,增加铃重,促进吐絮,达到早熟、高产、稳产的目的^[2]。

打顶时间尤为重要,打顶过早会打掉棉花铃数,过晚会导致无效果枝增加、失去养分调节的作用,失去打顶意义^[3]。目前主要有三种打顶方式:人工打顶费时费力,贻误农时^[4];化学药物控制,技术性强,受棉花品种、天气等因素影响显著,多次喷洒增加了机具对土壤的有害压实,不利于保护性耕作,同时污染环境及危害身体健康,其大面积推广一直备受争议^[5-6];机械化和自动化的物理方法打顶正成为精确农业科学领域的研究热点。针对棉花打顶机械存在的问题,国内多所院校及相关企业对棉花打顶机械进行了研究,在超声波传感器、激光传感器、图像

收稿日期:2016-04-14 修回日期:2017-03-15

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR2014EEP005)

作者简介:彭强吉(1984—),男,山东临沂人,研究生,工程师,研究方向为农业机械化工程。E-mail: pengqiangji1984@126.com。

通信作者:荐世春(1963—),男,山东青岛人,研究员,从事农机设计研究。E-mail: jscsh2002@163.com。

识别等多个方向进行了相应的探索,并取得了一定的效果^[7-10]。由于棉花高度检测精度、定量打顶、智能控制等问题的影响,打顶率及智能化水平有待提高,目前主要停留在试验阶段,没有成熟的产品投放市场。

针对上述问题,本文研制了一种以 FPGA 控制系统为核心的棉花智能精准打顶机。该机通过检测装置与打顶装置分开、升降动力与切割动力分开的方案,实现精准定量去顶,达到消除棉花顶端优势的效果;同时智能触屏控制系统能够实现一键控制,实时显示机具前进速度、作业面积、监控作业状态等,大大提高了棉花机械打顶的智能化水平,对促进棉花打顶机械化技术的推广应用提供理论依据。

1 整机结构、工作原理以及技术参数

1.1 整机结构

结构如图 1 所示,主要由触摸屏、控制柜、升降装置、数字摄像头、机架、导轨、拉杆、打顶装置、滑块、前悬挂装置、加固装置、检测装置、编码器等组成。整机结构以机架为基准,控制柜固定于机架前端上部,对整机进行智能控制;触摸屏安装于驾驶室并通过电缆与控制柜连接,完成作业过程一键控制;升降装置通过 U 型螺栓固定于机架中部,通过螺栓与打顶装置连接,为打顶装置提供升降动力并根据

控制器实现精准位移;打顶装置通过螺栓与滑块固定,滑块与导轨配合,导轨通过螺栓固定于机架上,保证垂直移动,完成打顶切割过程;检测装置通过螺栓固定于机架下部,左右对称安装,完成棉花高度检测过程;编码器与轮轴连接,将机具实时前进速度反馈给控制器;整机通过前悬挂装置与拉杆固定于拖拉机前部。

机具与 43 kW 以上的高地隙拖拉机配套使用。控制系统以 FPGA 构建的控制器为核心元件,主要由速度检测编码器、检测光幕、数字摄像头、伺服电机、通讯电路、电源开关、FPGA 控制器等组成。传感器电路实现检测指标的信号采集;数字摄像头实现数字信号实时采集;伺服电机驱动电路实现升降控制及刀轴转速控制;触摸屏由输入、输出、显示电路等组成,主要实现人机交互、显示即时指标信息及实时监控;由拖拉机自带电池提供电源。

1.2 工作原理

作业前,根据棉花生长高度将机架调整到合理位置,检查机械结构及各连接电线,各部分均正常后,接通电源开启触摸屏,设置打顶机控制系统参数;按下启动按钮后,打顶伺服电机开始工作。作业过程中,检测装置开始检测棉花实际生长高度,将高度信号发送到控制器,同时编码器采集机具前进速度,将信号传递到控制器;控制器根据信号计算分析后,一方面将速度及作业面积显示在触摸屏,同时控制器可以根据机具前进的速度判断响应打顶时间向驱动器发送驱动信号,通过驱动器控制升降伺服电机完成正反转,即上升或下降动作,完成打顶作业。

其中,控制器通过脉冲信号的频率控制电机转动圈数,在丝杠导程一定的情况下通过丝杠旋转圈数实现定量位移,达到定量打顶的目的;升降装置上面安装有安全限位点,打顶装置因意外超出移动范围时,升降伺服电机将立刻停止运转,同时发出报警信号。数字式摄像头采集作业过程录像后直接将数字信号传递到触屏显示;打顶装置的打顶范围固定,起始点可以采用默认设置,也可采用手动按钮进行设定。

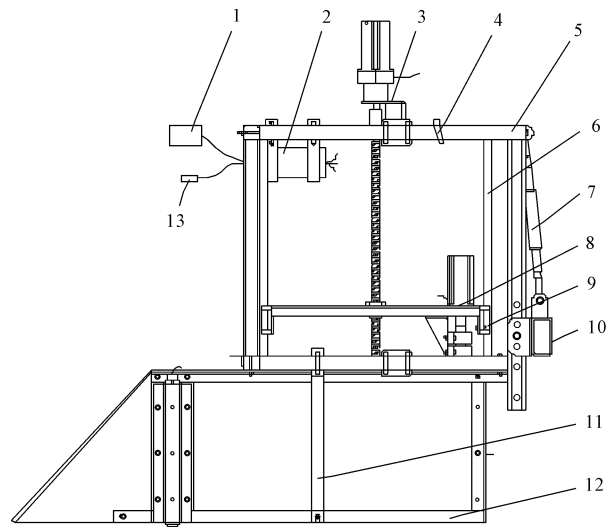
1.3 主要技术参数

3MDZJ-1 型棉花智能精准打顶机主要技术参数如表 1 所示。

2 试验研究

2.1 试验条件

2.1.1 试验地基本情况 以滨州市无棣县机采棉基地处于打顶期内的棉花作为试验样品,品种为中棉 915,前茬作物为棉花,种植模式为一膜六行机采



1. 触摸屏;2. 控制柜;3. 升降装置;4. 数字摄像头;5. 机架;6. 导轨;7. 拉杆;8. 打顶装置;9. 滑块;10. 前悬挂装置;11. 加固装置;12. 检测装置;13. 编码器

1. Touch screen; 2. Control cabinet; 3. Lifting device; 4. Digital camera; 5. Frame; 6. Guide; 7. Draw bar; 8. Cutting top device; 9. Slider; 10. Front suspension device; 11. Reinforcing device; 12. Detection device; 13. Encoder

图 1 整机结构

Fig. 1 The structure of whole machine

表 1 棉花智能精准打顶机主要技术参数
Table 1 Main design parameters of intelligent precise cutting cotton top machine

参数 Parameter	数值 Numerical value
长×宽×高 Length×width×height	1300mm×1000mm×1300mm
整机质量 Whole machine quality	70 kg
打顶率 Cutting top rate	≥88%
作业速度 Operation speed	2~4 km·h ⁻¹
打顶高度 Cutting topping height	550~900 mm
刀轴转速 Cutter shaft speed	0~3000 r·min ⁻¹ (可调 Adjustable)
升降方式 Lifting mode	电机驱动 Motor drive
挂接型式 Hanging type	前悬挂 Front suspension
配套动力 Supporting power	≥45 kW(高地隙轮式拖拉机 High clearance wheel tractor)

棉模式,棉田种植密度 1.2×10^5 株·hm⁻²,供试小区地表较为平整。

2.1.2 试验仪器 米尺(0~2 m)、卷尺(0~50 m)、电子秒表(0.0001~9999 s)、数码摄像机;配套动力选用福田雷沃 M1000H.D 高地隙拖拉机,轮距 2 250 mm,最小离地间隙 900 mm(见图 2)。要求拖拉机技术状态良好,驾驶员驾驶技术熟练,并了解打顶机的使用与要求。机具为自制 3MDZJ-1 型棉花智能精准打顶机,要求结构完整,各连接件牢固,动力传递可靠安全,工作状态良好。



图 2 试验样机
Fig.2 Experimental prototype

2.2 试验方法

试验设 3 个测试区(A、B、C),每组面积 228 m²(2.28 m×100 m),每个测试区长为 100 m,依次按前进档快Ⅰ、快Ⅱ、快Ⅲ速度区排开,在地头和地尾处分别留出 20 m 的调头预备区。每个测试区各行间随机布置 6 个处理小区,小区面积为 0.76 m×3 m,用准备好的标识牌标记各小区,并记录小区内棉花有效株数。对于棉花高度的测量方法为人工测量自然状态下棉株顶部到地面的垂直距离。具体试验方法参照《农作物田间试验实用手册》^[11]。

进地前,在地头先进行刀片旋转试验,确保打顶刀旋转自由且上下升降自如,无任何运动干涉后,依据棉株高度确定并调整打顶机架实际高度。

2.3 试验内容及评价指标

试验内容:验证样机各部分可靠性和工作情况;棉花打顶前实际生长高度、棉花打顶后高度,在不同作业速度状态下打顶率、打顶量,验证整机速度与作业质量关系情况;发现存在问题以便改进设计。

打顶率:试验小区内已打顶棉株数占总有效棉株数的比值,以%表示。

$$\eta = \frac{n_s}{n} \times 100\% \tag{1}$$

其中,η 为打顶率;n_s 为已打顶的有效棉株数;n 为试验小区内有效棉株数。

打顶量:同一试验小区内对应棉花打顶前后的高度差值。

$$\Delta h = L_q - L_h \tag{2}$$

其中,Δh 为去顶量;L_q 为打顶前的棉株有效高度;L_h 为打顶后的棉株有效高度(cm)。棉花打顶要求为一叶一芯,经田间测量可得一叶一芯的棉顶高度在 4~8 cm 内,结合棉花打顶量范围^[12],设定打顶量为 7 cm。

作业速度:通过机具在测试区内往返 2 次以上测得的平均速度。

3 试验结果及分析

样机在试验基地进行多次作业验证后,于 2015 年 8 月 7 日进行了本次试验数据的统计,选取棉花生长情况良好、长势均匀的大地块,且符合打顶作业时期内的农艺要求,即果枝台数 7 台以上。田间管理按照机采棉区高产田要求进行。具体作业性能指标如表 2 所示。

表 2 列出了样机田间试验的部分数据,为了比较直观地对试验结果进行分析,利用统计学软件 minitab 进行图形化描述^[3],效果图如图 3 所示。由图 3 可知,在不同速度下的打顶率有明显的差异性,当作业速度在 2.88 km·h⁻¹和 3.24 km·h⁻¹下的打顶率没有差异性,打顶率在 90%左右;对此速度内的打顶前标准差与打顶量的关系进行相关性分析,通过标准差和误差绝对值的 Pearson 相关系数为 0.3,小于 0.8,呈不显著的线性相关关系;打顶量接近设定值。该机是基于 FPAG 控制系统的智能精准打顶机,检测装置检测棉花高度后,打顶装置能够根据机具前进速度进行自动调整响应时间及升降高度;由此可知当作业速度在 3.24 km·h⁻¹内,该机打顶效果较好,能够较好地完成打顶作业。

表 2 田间作业性能指标
Table 2 The field operation performance index

平均速度 The average velocity /(km·h ⁻¹)	标号 Label	设定打顶量 Set cutting top amount /cm	有效棉株 Effective cotton plant /(株·plant ⁻¹)	打顶前 Before cutting top		打顶后 After cutting top		打顶率 Cutting top rate /%
				平均株高 Average height/cm	标准差 Standard deviation	平均株高 Average height/cm	打顶量 The amount of topping/cm	
2.88	1	7	17	83.1	3.9	76.6	6.5	88.2
	2		20	79.5	4.5	72.1	7.4	90.0
	3		20	80.0	6.0	74.0	6.0	90.0
3.24	1		19	77.0	5.3	71.0	6.0	89.5
	2		20	82.0	6.2	75.5	6.5	90.0
	3		19	83.4	4.7	77.0	6.4	89.5
3.52	1		17	79.0	4.6	71.0	8.0	76.5
	2		18	75.9	6.5	70.9	5.0	66.7
	3		21	80.0	5.2	72.5	7.5	71.4

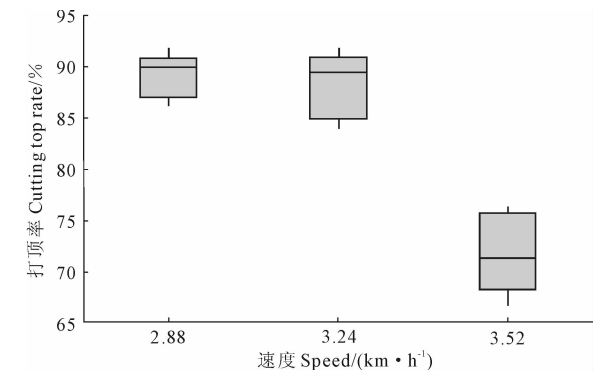


图 3 不同速度下的打顶率箱线图

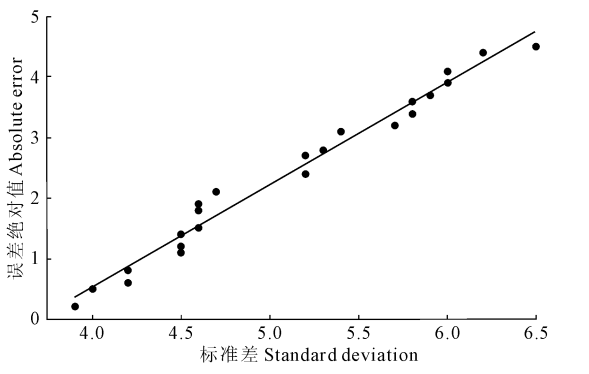


图 4 棉花高度标准差与打顶误差相关图

Fig.3 The boxplot of cutting top rate with different speed

当速度达到 3.52 km·h⁻¹时,打顶率差异性明显,打顶率下降到 70% 左右,说明在此速度下检测装置对棉花高度检测后,打顶装置不能在预定的响应时间到达相应位置,升降速度有待提高。通过对比此速度内打顶率与打顶前标准差的关系可以发现,当打顶前棉花高度标准差较小时,打顶率明显高于高度标准差变化较大的时候;对打顶前高度标准差与打顶量进行分析,利用 Minitab 软件对该数据进行相关分析可知,标准差和误差绝对值的 Pearson 相关系数为 0.989,大于 0.8,呈显著的线性相关关系,如图 4 所示,即棉花高度标准差越小,打顶精度越高,也就是说,打顶前棉花高度离散程度越低,打顶量越接近设定值。在此速度内打顶率及打顶量受打顶前棉花高度标准差影响明显。

综上所述可知:基于 FPAG 控制系统的棉花智能精准打顶机,在速度 3.24 km·h⁻¹ 范围内能够较好地完成打顶作业,打顶率在 90% 左右,打顶量接近设定值,且在此范围内打顶前棉花高度标准差对其影响较小。当速度达到 3.52 km·h⁻¹ 时,打顶率差异性明显,打顶量与打顶前高度标准差呈现相关性;机具作业速度与打顶前棉花高度标准差的大小共同成为影响棉花打顶率及定量打顶的主要因素。

Fig.4 The correlation diagram of cotton height standard deviation and cutting top error

4 结论及建议

- 1) 试验结果表明,本文提出的检测装置与打顶装置分开、升降动力与切割动力分开的方案通过试验验证,切实可行,对促进棉花打顶机械化技术的推广应用提供了理论与实践依据。
- 2) 该机具控制系统能够根据前进速度实时调整打顶响应时间,实现精准定量打顶;同时触屏控制系统能够实时显示作业速度、作业面积及监控作业过程,提高了棉花打顶机械的智能化水平。
- 3) 机具受作业速度影响显著,作业速度在 3.24 km·h⁻¹ 内时,打顶率在 90% 左右,打顶量接近设定值,打顶效果较好;当作业速度增加到 3.52 km·h⁻¹ 时,打顶率下降明显,打顶量误差波动明显,同时受棉花高度离散程度影响加大。
- 4) 该单行棉花智能精准打顶机可以通过增加机架宽度及整体结构组合成多行打顶机,进而提高作业效率。
- 5) 作业速度是作业效率的关键因素之一,尚需结合试验进一步优化整机结构,提高作业速度。

参 考 文 献:

[1] 2016 年中国棉花种植面积同比下降 20% [EB/OL]. 世界农化网- 中文网. <http://cn.agropages.com>, 2016-5-13.

[2] 杨成勋. 化学打顶对棉花植株形态、冠层结构及群体光合生产的影响[D]. 石河子大学, 2016.

[3] 范修文, 张宏, 兰海鹏, 等. 新疆棉花打顶机存在问题及建议[J]. 新疆农机化, 2016, (4): 30-31.

[4] 陈昭阳, 石磊. 棉花打顶机研发历程及其研发重点探析[J]. 农机化研究, 2016, (1): 251-256.

[5] 周桂鹏, 张晓辉, 范国强, 等. 棉花打顶机械化的研究现状及发展趋势[J]. 农机化研究, 2014, 4(4): 242-245.

[6] 刘燕. 棉花缩节胺处理与整枝效应的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.

[7] 李霞, 王维新, 宋海堂, 等. 基于超声波技术棉株高度自动测

量的研究[J]. 农机化研究, 2008, (6): 187-189.

[8] 李亚兵. 基于群体数字图像的棉花生长发育监测研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.

[9] 邓劲松, 石媛媛, 陈利苏, 等. 基于近红外传感器和面向对象光谱分割技术的田间棉株识别与提取[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(7): 1754-1758.

[10] 瞿端阳, 王维新. 基于机器视觉技术的棉株识别定位[J]. 中国棉花, 2013, 40(2): 16-19.

[11] 李自学. 农作物田间试验实用手册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版, 2007: 18-20.

[12] 彭强吉, 胡斌, 罗昕, 等. 不同打顶时间和高度对北疆高产棉花产量的影响[J]. 中国棉花, 2012, (5): 23-25.

[13] 全维维, 贾宁, 张晨阳, 等. 基于 Minitab 的 TFT-LCD 产品标准化率影响因素分析及改进[J]. 现代制造工程, 2015, (3): 90-94.

(上接第 203 页)

参 考 文 献:

[1] 宋尚有, 樊廷录, 王勇, 等. 氮素营养对黄土高原旱地玉米产量、品质及水分利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 387-392.

[2] 汪佳, 黄高宝, 李玲玲, 等. 全膜双垄沟播玉米对土壤全氮及全磷时空变化的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(1): 22-27.

[3] 姚刚, 张胜, 王圣瑞, 等. 地膜覆盖对春玉米光合性能和干物质累积的影响[J]. 内蒙古农业大学学报, 2000, 21(增刊): 153-156.

[4] Ndubuisi M C. Physical properties of an ultisol under plastic film and no-mulches and their effect on the yield of maize[J]. Journal of American Science, 2009, 5(5): 25-30.

[5] 强生才, 张恒佳, 莫非. 微集雨模式与降雨变律对燕麦大田水生态过程的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(9): 2365-2373.

[6] 方彦杰, 黄高宝, 李玲玲, 等. 旱地全膜双垄沟播玉米生长发育动态及产量形成规律研究[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(4): 129-134.

[7] 潘渝, 郭谨, 李毅, 等. 地膜覆盖条件下土壤增温特性[J]. 水土保持研究, 2002, 9(2): 130-134.

[8] 谭贺. 不同氮肥运筹对春玉米干物质积累及氮吸收分配的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.

[9] 邢瑶, 马兴华. 氮素形态对植物生长影响的研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(2): 109-117.

[10] 高志, 徐阳春, 沈其荣, 等. 不同氮素形态配比的复混肥对玉米苗期生长及氮肥利用效率的影响[J]. 华北农学报, 2005, 20(6): 68-72.

[11] 黄明, 段有强, 李友军, 等. 不同氮素形态对比对冬小麦氮素积累和利用的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(6): 290-304.

[12] 樊卫国, 葛会敏. 不同形态及配比的氮肥对枳砧脐橙幼树生长及氮素吸收利用的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(13): 2666-2675.

[13] 高玉红, 牛俊义, 郭丽琢, 等. 不同覆膜栽培方式对玉米干物质积累及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(4): 440-446.

[14] 杨萍, 李杰, 牛俊义, 等. 胡麻/大豆间作体系下施氮对胡麻干物质积累和产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2015, 37(4): 489-497.

[15] 盖钧镒. 试验统计方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 101-103.

[16] 赵中华, 刘德章, 南建福. 棉花各器官干物质分配规律的数学模型[J]. 华北农学报, 1997, 12(3): 53-59.

[17] 李蕾, 娄春恒, 文如镜, 等. 新疆不同密度下棉花干物质积累及其分配规律研究[J]. 西北农业学报, 1996, 5(2): 10-14.

[18] 杨国虎, 李建生, 罗湘宁, 等. 干旱条件下玉米叶面积变化及地上干物质积累与分配的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(5): 28-32.

[19] 曹翠玲, 李生秀. 氮素形态对小麦中后期的生理效应[J]. 作物学报, 2003, 29(2): 258-262.

[20] 王丽梅, 李世清, 邵明安. 水、氮供应对玉米冠层营养器官干物质和氮素累积、分配的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(13): 2697-2705.

[21] 魏景云, 高炳德, 索全义, 等. 旱地油用亚麻优化施肥的研究[J]. 中国油料作物学报, 1998, 20(4): 79-83.

[22] 孙文涛, 汪仁, 安景文, 等. 平衡施肥技术对玉米产量影响的研究[J]. 玉米科学, 2008, 16(3): 109-111.

[23] 金继运, 何萍. 氮钾互作对春玉米生物产量及其组分动态的影响[J]. 玉米科学, 1999, 7(4): 57-60.

[24] 黄振喜, 王永军, 王空军, 等. 产量 15000 kg/hm² 以上夏玉米灌浆期间的的光合特性[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1898-1906.

[25] 黄智鸿, 王思远, 包岩, 等. 超高产玉米品种干物质积累与分配特点的研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(3): 95-98.

[26] 丛艳霞, 赵明, 董志强, 等. 乙霉合剂对春玉米干物质积累和茎秆形态的调控[J]. 作物杂志, 2008, 21(4): 68-71.