

2021 年度十项适用农机化技术推荐书

推荐单位	江苏省农机具开发应用中心		
联系人	蔡国芳	办公电话	025-86468707
手机号码	13601401853	电子邮箱	skfzx@163.com
名称	果园割草自动化避障技术		
概述	<p>一、适用区域</p> <p>全国范围采用宽行窄株种植模式，果树行距大于动力主机宽度的 2 倍且不小于 4 m，株间距大于 1m，每行长度不小于 50 m，留有机头转弯空间的适宜机械作业的规模化果园。</p> <p>二、技术模式</p> <p>为了便于多次清除果园中茂盛的杂草利于果树生长和增产。利用果园自动化避障割草装备技术的可以实现行间距割草、株间距割草等功能，通过限位轮、液压提升锁紧装置，确保罩盖离地间隙的均匀一致性，实现割茬可调、整齐，割幅可调；机具行进过程中能自动避让树干、水泥（钢筋）立柱等障碍物。各单项作业模块任意组合，完成果园生草管理的单项或复式作业。</p> <p>三、解决的主要农业生产问题</p> <p>解决了国内果园除草环节劳动强度大、工作效率低、果树根部杂草难以割到等关键问题。是果园专用、高效、复式作业割草机械，一次性完成行间距割草、株间距割草、树下除草、草杆抛洒、树下覆盖等操作。果园自动化避障割草装备技术的推广应用，配套规模化果园机械化作业规范，有效提高作业效率，降低劳动强度，减少生产成本，形成在全国面上推广的应用模式，促进果园规模化、标准化生产，让农业增产、农民增收。</p> <p>四、推广情况、应用规模</p> <p>前期江苏省已对“果园自动化避障割草装备技术引进试验”项目立项，并将避障割草装备技术列为主推技术列为农机装备与技术短板“需求清单”。以江苏省某生产企业为例，近两年避障割草机销售量达到 3200 台（包含国内外），销售额 1 亿多元，纳税 1000 多万。</p> <p>五、经济社会效益</p> <p>1、作业效率：避障割草：泰兴烨佳梨园 0.43hm²/h，沛县聚英阁苹果园 0.46hm²/h。人工割草：用背负式手持割草机，只割株间草，每人每天割约 3 亩地左右。避障割草作业效率是人工作业 17 倍以上。</p> <p>2、油耗：避障割草机：泰兴烨佳梨园 14.69kg/hm²，沛县聚英阁苹果园 9.18kg/hm²。按 1000 亩果园面积，6 年报废期限，每年作业 90 天；机手工资 200 元/天，人工工资 100 元/天计算，梨园、苹果园年节省收益分别为 14.4 万元和 15.2 万元。</p>		

证
明
材
料
清
单

(包括特征照片、技术模式流程图、试验示范文件、技术报告和公开发表的文章等。图片要清晰自然, JPG、JPEG、TIF、BMP 格式均可, 不低于 24 位色, 大小不低于 1MB。可另附页。)

- 一、果园自动化避障割草技术特征照片
- 二、果园自动化避障割草机械化作业操作规程
- 三、果园自动化避障割草技术试验报告
- 四、果园自动化避障割草技术总结报告
- 五、发表的论文

- 1、《F. US-UFO 型果园避障割草机试验研究》、中国农机化学报、第 42 卷第 10 期 2021;
- 2、《果园单向联合割草机的设计与试验》、国际农业工程杂志、第 29 卷第 4 期 2020 年;
- 3、《Y 型格架梨园单侧避障割草机的研制》、国际农业杂志生物工程 (IJABE)。

声明: 本单位保证推荐材料真实有效, 不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规的情形。如有材料虚假或违纪行为, 愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议, 保证积极配合调查处理工作。

推荐单位 (盖章)

年 月 日

证明材料清单：

一、果园自动化避障割草技术特征照片

梨树避障割草前后作业对比



苹果树避障割草前后作业对比



二、果园自动化避障割草机械化作业操作规程

1 适用范围

本规程规定了果园自动化避障割草机械化作业的术语和定义、作业基本要求、作业安全要求、作业质量和检测方法。

本标准适用于应用功率大于 50 马力的悬挂式避障割草机对果园进行割草作业的过程。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 5262-2008 农业机械试验条件 测定方法的一般规定

GB 10395.1 农林机械 安全 第 1 部分:总则

GB/T5668-2008 旋耕机

GB 10396 农林拖拉机和机械、草坪和园艺动力机械 安全标志和危险图形 总则

3 术语和定义

3.1 甩刀式割草机 flail mower

具有多个绕一根水平轴旋转、以冲击方式割草并铺草的自由摆动割草部件的割草机。

3.2 留茬高度 Stubble height

作业后立即测得的地上余留茎秆的垂直高度。

3.3 切碎长度合格率 Shredding length qualification rate

规定单位作业范围内，满足切碎长度要求的碎草重量占该范围内已割全部草重的百分比。

4 作业基本要求

4.1 田间条件

4.1.1 适宜机械化除草作业的果园地面坡度不应大于 15°。

4.1.2 适宜机械化除草作业的果园土壤绝对含水率应为 15%~25%。

4.1.3 应用甩刀式割草机除草的果园内的生草高度与杆径不应超出割草机的作业能力。

4.2 机具一般要求

4.2.1 安全防护和警示标志应符合 GB 10395.1、GB 10395.10、GB 10396 相应产品的质量要求；机具应有较好的可靠性。

4.2.2 根据果树种植农艺要求、果园规模、土壤条件、设施条件等因素综合考虑，合理选择机具和作业模式。

4.3 作业人员要求

根据作业需要配备操作人员和辅助人员。操作人员应经过专业技术培训合格，取得驾驶执照，熟悉安全作业要求、机具性能、调整使用方法及农艺要求；辅助人员应具备基本的作业和安全常识。

5 作业安全要求

5.1 一般作业安全要求

5.1.1 工作前需穿着符合劳动防护要求的工作服装，开机前要检查机器所有外露旋转件带有符合规定的防护装置。

5.1.2 首次开机发动机启动前，应在空地来回试机，掌握挂档和离合技巧，特别要熟悉离合器的功能和作用。

5.1.3 每次工作前应检查各部位螺栓是否有松动、脱落现象；检查各操作部件是否灵活有效。

5.1.4 发动机启动前必须检查离合器是否在分离位置，变速杆是否放到空档位置。

5.1.5 添加油料时应停机并避开火种。

5.1.6 作业过程中禁止碰摸各类旋转部件，避免受伤，并远离排气管高温区，小心烫伤。

5.1.7 更换刀具、清除杂草及检查维修，必须在发动机停止运转后方能进行。

5.1.8 机具在自走转移过程中必须切断作业部件的离合。

5.1.9 操作者应注意作业面上的小土丘、空洞、树枝影响和其他隐蔽的危险。

5.1.10 在穿越无草表面或经过碎石表面时，应先停止刀具的旋转。

5.1.11 运行中的机具应在操作者可控范围内。操作者若需要离开，离开前应按操作规程的要求停止发动机并取出钥匙。

5.2 斜坡作业安全要求

5.2.1 禁止在坡度大于 15°的斜坡上作业。

5.2.2 应沿斜坡上下方向割草。

5.2.3 在斜坡上应注意洞、槽、坑、岩石和其他隐藏物，以免滑倒或翻倒。

5.2.4 选择合适的前进速度，在湿滑的斜坡草地上轮胎可能会打滑，尽量避免在湿滑的情况下斜坡作业。若轮胎打滑，应脱开刀具，用慢速直线下坡。

5.2.5 在下坡时离合器应结合，禁止用空挡下斜坡。

5.2.6 尽量避免在斜坡上停机、制动或转弯。

5.2.7 在斜坡上应保持低速作业，不应突然改变速度或方向，以免翻车。

5.3 避障割草作业

5.3.1 接合动力要在刀轴提升的状态下进行；割草作业时不得倒退和转弯。

5.3.2 作业路线应按 S 型路线往返行走，行距较窄的果树可隔行行走，方便作业。

5.3.3 作业应根据实际情况调整避障拨杆灵敏度，避障盘应尽量贴近树根。可尝试避障盘作业果树若干，根据松紧调整灵敏度。

5.3.4 作业过程中，若要进行倒退移动时，必须挂低挡、小油门，控制好离合器并确保身后有足够的移动空间，缓慢起步。

5.3.5 机组作业时，非操作人员远离机组，操作人员不得靠近工作部件，外露危险件应有可靠的防护装置。

5.3.6 除刀具和与地面接触的行走部件外，其他动力驱动的部件都应有防护装置。

5.4.7 工作时，必须保证割草机与动力装置的挂接机构处于锁定状态

6.作业质量

6.1 割草作业

6.1.1 作业要求

6.1.1.1 旋转割草部件（甩刀）应在距离地面一段距离的情况下接合动力；

6.1.1.2 割草作业时应绕过作业区域内枝杆过高、粗的杂草；

6.1.1.3 作业时应保持匀速直线行驶，作业边角余量小，无明显遗漏，地面无缠草、机具无缠草现象；

6.1.2 作业质量指标应符合表 2 的要求

表 2 甩刀式割草机作业质量指标

序号	项目	指标要求
1	平均留茬高度, cm	3~10
2	切碎长度, cm	≤10
3	切碎长度合格率 %	≥90

三、果园自动化避障割草技术试验报告

果园自动化避障割草技术试验报告

2020年10月

目录

1、试验目的.....	9
2、试验对象.....	9
3、试验器材.....	9
4、试验依据.....	10
5、试验方法.....	10
5.1 作业性能试验 10	
5.1.1 应收草质量测定	10
5.1.2 割幅的测定（行间割幅、避障割幅）	11
5.1.3 割茬高度的测定（行间割茬高度、避障割茬高度）	11
5.1.4 漏割率的测定（行间漏割、避障漏割）	11
5.1.5 避障损伤率的测定	11
5.1.6 避障割草高度与行间高度最大差	11
5.1.7 最短避障距离的测定	11
5.2 田间生产试验 11	
5.2.1 使用可靠性系数	11
5.2.2 平均故障间隔时间	12
5.2.3 工作效率	12
5.2.4 单位面积耗油量	12
6、试验内容与结果.....	12
6.1 试验田情况 12	
6.1.1 果园基本情况园	12
6.1.2 行间地形及坡度	14
6.2 试验草种生物学特性 15	
6.2.1 草种分布	15
6.2.2 草种力学特性	17
6.3 割草机性能试验 19	
6.3.1 应收草质量测定	19
6.3.2 割幅、割茬高度、避障割草高度与行间高度最大差的测定	20
6.3.3 漏割率的测定	22
6.3.4 避障损伤率的测定	23
6.3.5 最短避障距离的测定	24
6.4 田间生产试验 25	
6.4.1 使用可靠性系数	26
6.4.2 平均故障间隔时间	26
6.4.3 工作效率	26
6.4.4 单位面积耗油量	27
7、存在问题与建议.....	27

1、试验目的

针对果园行间及树下割草要求,项目组开展试验考核果园自动化避障割草机作业的适用性、可靠性与经济性,对机具的作业性能进行测试,形成果园自动化避障割草装备技术规范,并进行相关技术培训。

2、试验对象

割草机为常州国腾机械有限公司生产的 F.USM145A-UFO650 行间树下联合避障割草机,产品实物如图 1 所示,具体结构与性能参数列于表 1。

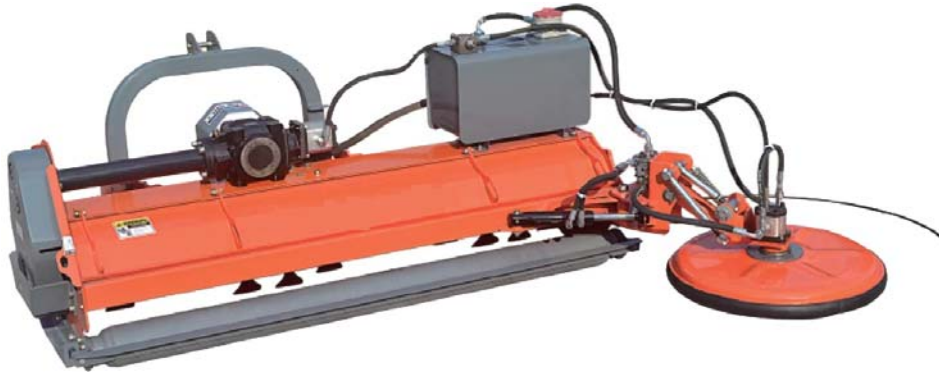


图 1 F.USM145A-UFO650 行间树下联合避障割草机实物照片

表 1 机具结构与性能参数

名称	行间树下联合避障割草机
配套动力/hp	≥ 50
整机重量/kg	416
外形尺寸(长×宽×高)/mm	1720×2330×890
割幅/mm	2110
作业速度/ $m \cdot s^{-1}$	0.5
行间除草刀辊转速/ $r \cdot \min^{-1}$	2337
行间除草刀辊刀片数量/个	54
避障刀盘转速/ $r \cdot \min^{-1}$	2000
避障刀盘直径/mm	620
避障刀盘刀片数量/个	2

3、试验器材

(1) 试验设备

表 2 试验设备参数

序号	名称	规格型号	数量
1	电子天平	C5001	1
2	土壤紧实度测定仪	TJSD-750	1
3	水分传感器	FDS-100	1
4	皮尺	50m	1
5	钢卷尺	5m	1
6	量筒	2L	1
7	油桶	50L	1
8	不锈钢管		5
9	样方框		1

(2) 试验材料

试验用其他材料：签字笔，自封袋。

4、试验依据

GB/T 10938-2008 旋转割草机

GB/T 5667-2008 农业机械 生产试验方法

JB 8520-1997 旋转式割草机 安全要求

5、试验方法

依照《GB/T 10938-2008旋转割草机》，2020年7月份至8月份在江苏省泰兴市烨佳梨园、沛县聚英阁水果种植家庭农场、睢宁县楸树研发基地官山示范区对割草机进行了作业性能试验和田间生产试验。作业性能试验包括割幅（行间割幅、避障割幅）、割茬高度（行间割茬高度、避障割茬高度）、漏割率（行间漏割、避障漏割）、避障损伤率、避障割草高度与行间高度最大差和最短避障距离的测定，田间生产试验包括使用可靠性系数、平均故障间隔时间、班次小时生产率、劳动生产率和单位面积耗油量的测定。

5.1 作业性能试验

5.1.1 应收草质量测定

在选定的试验田内，用取样框分别取5个样点，按照要求的割茬高度将草全部割下，称其重量，求平均后换算成单位面积平均收获草的质量。该质量即为单位面积应收草质量。

5.1.2 割幅的测定（行间割幅、避障割幅）

将割草机的割幅分别进行测量：行间割幅、避障割幅。行间割幅是指组合机具中用于果园行间除草的甩刀式灭茬机作业的割幅，避障割幅是指组合机具中果园株间割草圆盘所对应的割幅。每一行程在测区内等距测定 2 点，重复 3 次试验。计算其平均值，即为实际平均割幅。

5.1.3 割茬高度的测定（行间割茬高度、避障割茬高度）

沿割幅方向在全割幅内测量行间割茬高度和避障割茬高度。用 1m 的钢直尺放在地面上，等间隔测量 20 根后求平均值，每一行程等间隔测 2 点，作业行程重复 3 次。

5.1.4 漏割率的测定（行间漏割、避障漏割）

在测区内，全割幅范围内测定未割生草去掉割茬后的质量即单位面积漏割损失量。每点沿机组前进方向测 0.5m 长（割幅小于 2.5m 的测 1m 长），每一行程等间隔测 2 点，试验重复 3 次。

5.1.5 避障损伤率的测定

株距避障作业过程中树干被撞（划）伤、脱皮、折断等受伤现象。受伤根数除以总测量根数的比值即为避障损伤率。每 50m 测量 1 次，共 3 次。

5.1.6 避障割草高度与行间高度差

避障刀盘割茬高度与行间刀盘割茬高度差，每一行程等间隔测 2 点，试验重复 3 次。

5.1.7 最短避障距离的测定

避障刀盘绕树所需最小半径，每一行程等间隔测 3 点，试验重复 3 次。

5.2 田间生产试验

5.2.1 使用可靠性系数

在生产考核期间，机具有效作业时间总和占考核时间的百分比。

5.2.2 平均故障间隔时间

在生产考核期间，机具有效作业时间总和比上机具累计故障次数。

5.2.3 工作效率

在生产考核期间，机具作业面积比上作业时间。

5.2.4 单位面积耗油量

在生产考核期间，机具作业总耗油量比上作业面积。

6、试验内容与结果

项目组分别于 2020 年 7 月 30 日在江苏省泰兴市烨佳梨园、2020 年 8 月 18 日在沛县聚英阁水果种植家庭农场、2020 年 8 月 19 日在睢宁县楸树研发基地官山示范区开展 F.USM145A-UFO650 行间树下联合避障割草机技术参数及性能测试。

6.1 试验田情况

6.1.1 果园基本情况园

江苏省泰兴市烨佳梨园(以下简称：泰兴烨佳梨园)以种植梨树为主，项目试验示范面积 150 亩。试验当天，天气晴朗，园区温度 28℃，北风 1 级，相对湿度 46%，土壤紧实度平均 17.8kg/cm²。作物品种为苏翠 1 号梨，树龄 3 年，试验场地及现场情况如图 2 所示。

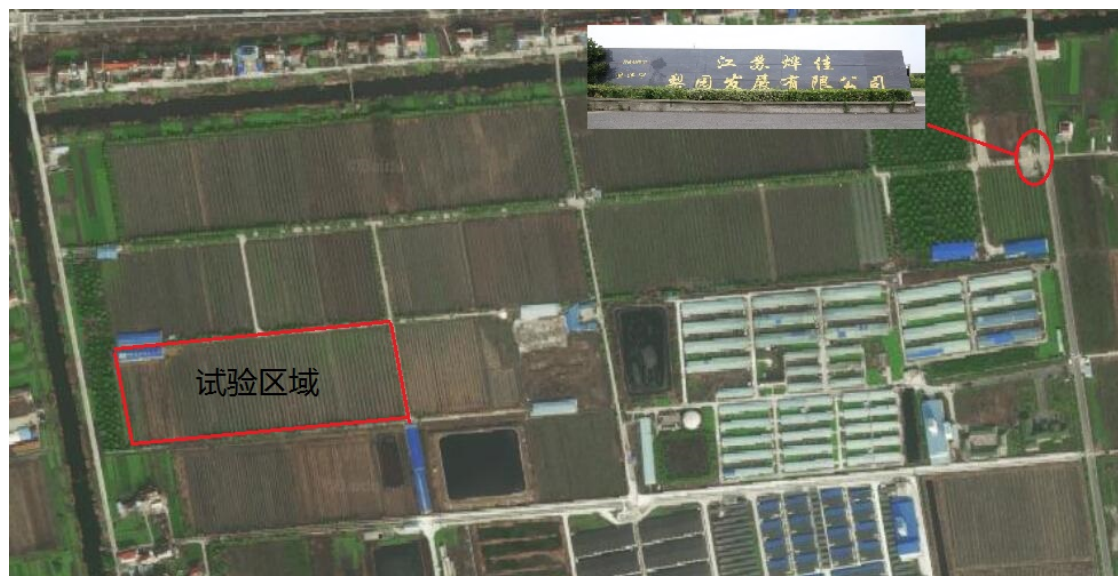




图2 焯佳梨园试验地点及作业现场情况

沛县聚英阁水果种植家庭农场(以下简称:沛县聚英阁苹果园)以种植苹果树为主,项目试验示范面积130亩。试验当天,天气晴朗,园区温度38°C,无风,相对湿度29%,土壤紧实度平均18.9kg/cm²。作物树龄3年,试验场地及现场情况如图3所示。



图3 聚英阁果园试验地点及作业现场情况

睢宁县楸树研发基地官山示范区(以下简称:睢宁官山楸树园)以种植楸树为主,项目试验示范面积 100 亩。试验当天,天气晴朗,园区温度 33℃,东北风 1 级,相对湿度 44%,土壤紧实度平均 9.23kg/cm²。作物树龄 2 年,试验场地及现场情况如图 4 所示。



图 4 楸树示范区试验地点及作业现场情况

6.1.2 行间地形及坡度

种植品种、灌溉施肥方式不同,各园区建园模式不同,这为割草机的通用性试验提供便利。果树产果每年要消耗大量的肥料,而楸树对肥料的吸收主要用于树干的生长,相对果树要小很多,这就需要每年为果园进行多次施肥和灌溉,久而久之,果园土壤的紧实度要高于楸树土壤,而且果树相对来说怕淹,所以果园行间呈两边高中间低的沟槽式,便于果树根部的及时排水。本试验楸树园,因为土质较为松软,水在土壤中的流动性较果园好,而且园区行道两端隔 50m 要进行挖沟,所以这片园区土地以平坦设计为主。园区行株距及行间坡度如图 5 所示,

各测量数据列于表 3。其中坡度角按式(1)计算。

$$\theta = \arctan\left(\frac{2H}{B}\right) \dots\dots\dots(1)$$

式中：

B —为果树行距，m；

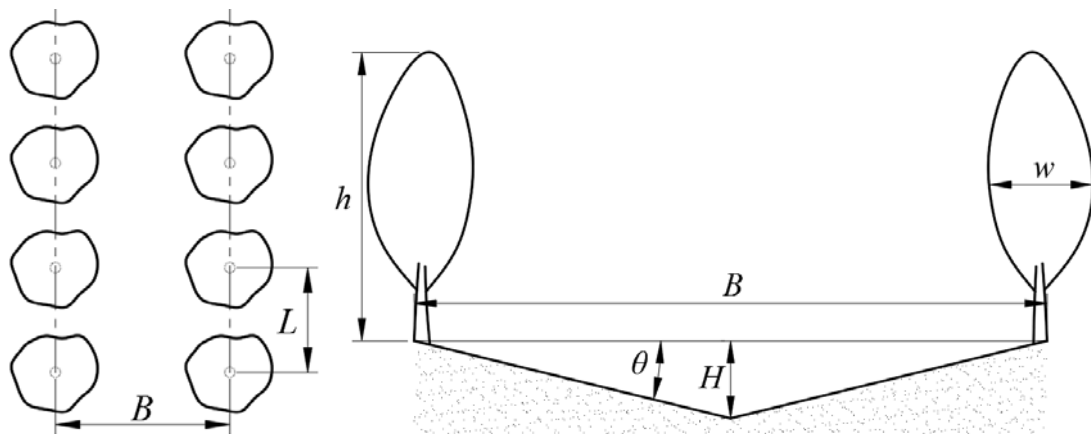
L —果树株距，m；

H —陇高，m；

h —为果树行距，m；

w —果树株距，m；

θ —坡度角，°。



注： B 为果树行距， L 为果树株距， H 为陇高， h 为树高， w 为果树冠径， θ 为坡度角。

图 5 园区行株距及行间坡度

表 3 园区行株距及行间坡度测量数据

园区	B/m	L/m	H/m	h/m	w/m	$\theta/^\circ$
泰兴烨佳梨园	5	3	0.5	2.3	1.5	11.3
沛县聚英阁苹果园	4	1.3	0.3	2.5	1.2	8.5
睢宁官山楸树园	5	3	0	5	2	0

6.2 试验草种生物学特性

6.2.1 草种分布

3 个园区田间草种以稗草、牛筋草、千金子、早熟禾、狗尾草、小飞蓬为主，6 种草的样貌特征如图 6 所示。在试验区域内随机选取 5 点测量田间草种高度，相关数据求平均后列于表 4。



稗草

牛筋草

千金子



早熟禾

狗尾草

小飞蓬

图 6 试验区杂草品种

表 4 田间草种的茎粗、高度及生长特性

草种	高度/cm	生物学特性	生长园区
稗草	84	一年生草本,4月下旬开始出苗,生长到8月中旬,一般在7月上旬开始抽穗开花,生育期76-130天。	泰兴烨佳梨园,睢宁官山楸树园
牛筋草	51	一年生草本。根系极发达。秆丛生,基部倾斜。分布于中国南北各省区及全世界温带和热带地区,花果期6-10月。	泰兴烨佳梨园,睢宁官山楸树园
千金子	50	一年生草本植物,圆锥花序长10-30cm,高30-90cm,8-11月开花结果。	泰兴烨佳梨园,沛县聚英阁苹果园
早熟禾	20	一年生或冬性禾草植物,圆锥花序宽卵形,长3-7cm,开展,直立部分高10-30cm,4-5月开花,6-7月结果。	泰兴烨佳梨园
狗尾草	55	一年生草本植物,秆直立或基部	沛县聚英阁苹果园

		膝曲，高 10-100cm，基部径达 3-7mm，花果期 5-10 月。	
小飞蓬	100	一年生草本植物，根纺锤状，茎直立，高可达 100 厘米或更高，圆柱状，叶密集，基部叶花期常枯萎，5-9 月开花。	泰兴烨佳梨园，沛县聚英阁苹果园，睢宁官山楸树园

6.2.2 草种力学特性

为了更加详细清楚的研究割草机对杂草的切割力学特性，试验测量 6 种草在离地面 10cm、15cm 和 20cm 处的草茎切断力并求其平均值，切割力选用尖峰仪器生产的型号为 JF-100A 数显压力计(量程 0-500N，精度 0.1N)，通过夹具加持来切割草杆，测试现场如图 7 所示，试验数据如表 5 所示。



图 7 刈割试验现场图

在田间各选取 30 根生长旺盛的 6 种代表性杂草，进行切断力测量和草杆直径测量(游标卡尺)，平均值及切应力如表 2 所示。其中草杆切应力公式如下：

$$\tau = \frac{4F_{\tau}}{\pi D^2} \dots\dots\dots(2)$$

式中：

τ —草杆切应力，MPa；

F_{τ} —草杆切断力，N；

D —草杆直径, mm。

刀盘切割草杆中部位位置时所受切割阻力最大, 若草杆以直径长度均匀排列于刀盘刃部, 则刀盘所受最大割草阻力计算方法如下:

$$F = \frac{nlF_{\tau}}{D} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

F —刀盘所受最大割草阻力, N;

n —刀盘刀刃个数;

l —刀刃长度, mm。

表 5 杆径与切断力测量数据

名称	离地	离地	离地	直径平均 值/mm	离地	离地	离地
	10cm 处 直径/mm	15cm 处 直径/mm	20cm 处 直径/mm		10cm 处 切断力 /N	15cm 处 切断力 /N	20cm 处 切断力 /N
稗草	6.5	6	6	6.2	55.6	56.6	58.4
牛筋草	5.5	4.5	4.5	4.8	68.7	64.9	60.1
千金子	8	8	7	7.7	48.9	42.3	43.7
早熟禾	5.5	5	5	5.2	70.5	76.9	69.4
狗尾草	3	2	2.5	2.5	20.4	15.4	16.5
小飞蓬	9	8.5	8.5	8.7	54.3	30.9	30.5

为了更加直观的研究 6 种草的切断力与切应力, 求出表 5 中各种草切断力的平均值, 并按照式(3)计算切应力, 6 种草的草高、切断力、茎粗及切应力柱状图如图 8 所示。由图中能够看出小飞蓬的高度和茎粗最大, 早熟禾的切断力最大, 牛筋草的切应力最大。

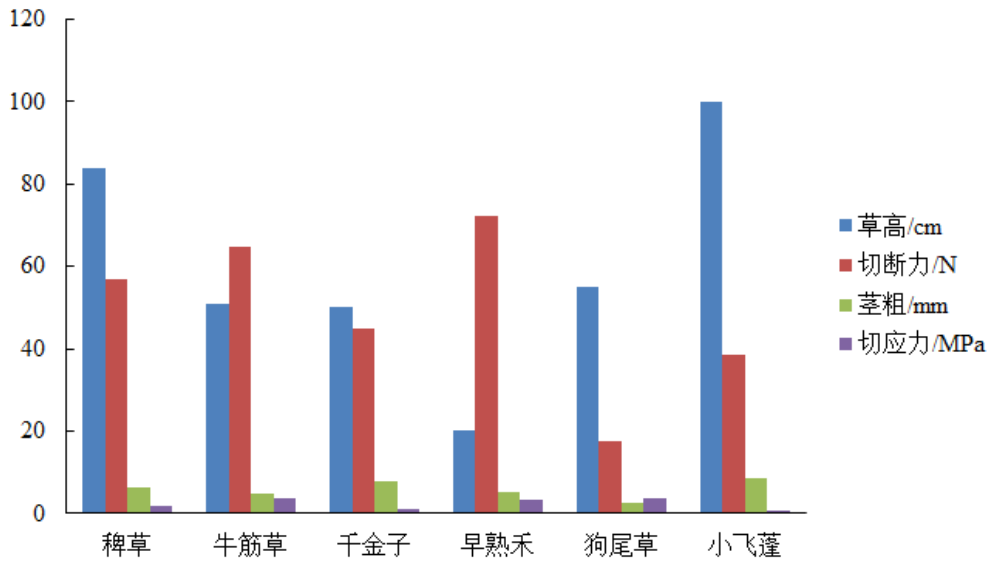


图 8 各草的草高、切断力、茎粗及切应力柱状图

6.3 割草机性能试验

6.3.1 应收草质量测定

在 3 家果园试验田内，用铁丝编制的取样框(为方便取样，进行小巧化设计，尺寸 30cm×30cm)分别在每个试验区域随机抽取 5 个样本点，按照 15cm 的留茬高度将取样框内的草全部割下称重，求平均值后按照式(4)换算成单位面积应收草质量，取样现场如图 9 所示，相关数据列于表 6。

$$G_y = \frac{G_{y30}}{0.09} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

式中：

G_{y30} —取样框实收生草质量，g；

G_y —单位面积应收生草质量，g/m²。



图 9 应收草质量取样现场

表 6 单位面积应收草质量

园区	点 1/g	点 2/g	点 3/g	点 4/g	点 5/g	均值/g	$G_y/g \cdot m^{-2}$
----	-------	-------	-------	-------	-------	------	----------------------

泰兴烨佳梨园	70.3	201.7	91.6	209.6	267.1	168.1	1867.8
沛县聚英阁苹果园	18.4	30.7	20.2	21.1	25.9	23.3	258.9
睢宁官山楸树园	84.7	75	193.6	144.5	114.7	122.5	1361.1

园区的主要草种不一，造成其单位面积应收生草质量相差较大，因沛县聚英阁苹果园杂草以狗尾草为主，狗尾草相对于其他草种较轻，故其单位面积应收生草质量只有 258.9 g/m^2 。为了进一步观察各果园杂草的分布情况，将 5 个样本点采集应收草的质量绘制成散点曲线，如图 10 所示，从图中可以看出沛县聚英阁苹果园样本点间杂草质量波动较小，即分布较其它 2 个果园均匀。

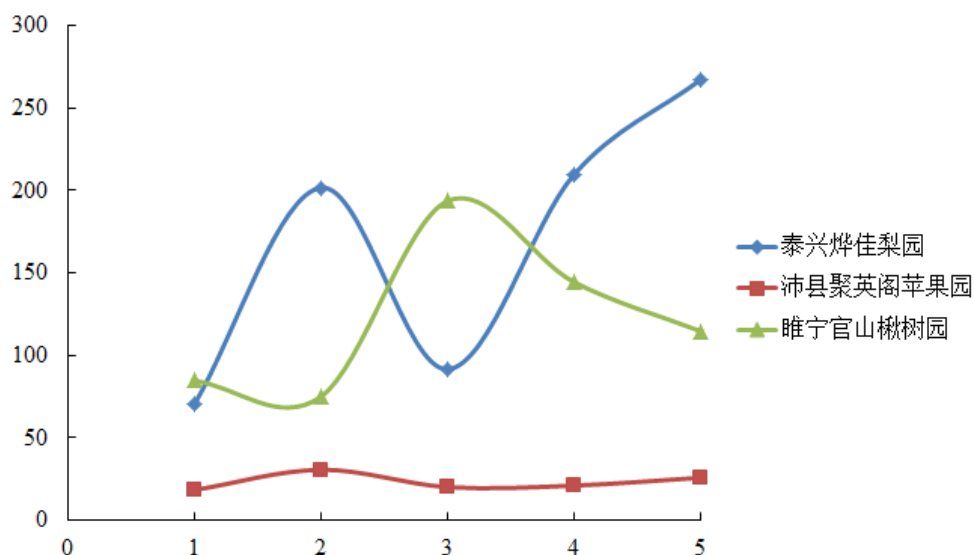


图 10 果园样本点杂草质量

6.3.2 割幅、割茬高度、避障割草高度与行间高度最大差的测定

鉴于行间树下联合避障割草机作业的特殊性，将割草机的割幅分别进行测量：行间割幅和避障割幅。行间割幅是指组合机具中用于果园行间除草的甩刀式灭茬机作业的割幅，避障割幅是指组合机具中果园株间割草圆盘所对应的割幅。由于行间作业以除草为主，杂草留茬高度较低，树下避障作业以割草为主，杂草留茬高度较高，割草机在果园行间和树下的已作业区域会有明显的割茬高度差，以此作为行间和树下割草区域判别标准，在 3 个园区进行割幅、割茬高度、避障割草高度与行间高度差的测定。试验中，割草机每一行程等间隔测 2 点，作业行程重复 3 次，测量现场如图 11 所示。割幅、割茬高度、避障割草高度与行间高

度差的试验数据列于表 7，按式(5)计算避障割草高度与行间高度差。

$$Z = H - B \cdots \cdots \cdots (5)$$

式中：

Z —避障割草高度与行间高度差，cm；

H —行间刀盘平均割茬高度，cm；

B —避障刀盘平均割茬高度，cm。



图 11 割幅、割茬高度的测量

表 7 割幅、割茬高度、避障割草高度与行间高度差

园区	割幅/m		割茬高度/m		Z/m		
	行间	避障	行间	避障			
泰兴烨 佳梨园	行程 1	点 1	1.57	0.6	0.1	0.045	
		点 2	1.54	0.67	0.08		0.2
	行程 2	点 1	1.49	0.65	0.12		0.15
		点 2	1.61	0.63	0.09		0.13
	行程 3	点 1	1.53	0.68	0.15		0.17
		点 2	1.51	0.65	0.11		0.09
沛县聚 英阁苹 果园	行程 1	点 1	1.69	0.58	0.09	0.042	
		点 2	1.53	0.59	0.11		0.18
	行程 2	点 1	1.61	0.63	0.1		0.11
		点 2	1.48	0.57	0.07		0.19
	行程 3	点 1	1.57	0.6	0.17		0.2
		点 2	1.53	0.6	0.13		0.13
睢宁官 山楸树 园	行程 1	点 1	1.51	0.6	0.1	0.025	
		点 2	1.52	0.61	0.09		0.12
	行程 2	点 1	1.49	0.61	0.12		0.12
		点 2	1.5	0.58	0.09		0.13
	行程 3	点 1	1.53	0.59	0.11		0.14
		点 2	1.5	0.6	0.11		0.13

将表 7 中的行间、避障割幅，行间、避障割茬高度绘制成曲线图，如图 12

所示。由图中可以看出，睢宁官山楸树园采样点的割幅及割茬高度较其他 2 个果园稳定，这是因为睢宁官山楸树园地势较为平整，便于割草机作业。

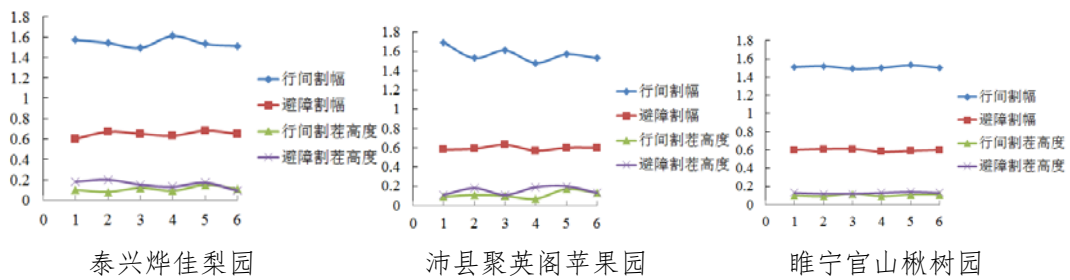


图 12 割幅、割茬高度曲线

6.3.3 漏割率的测定

割草机在田间作业过程中，由于拖拉机行驶过快或者刀盘转速过慢，会产生漏割现象，这会严重影响作业效果。而且，割草机行间和树下刀盘的作业方式不同，行间属于滚筒式打草，树下属于水平旋转式切草，行间及树下的漏割率也会不同。为此试验中进行了行间及避障漏割率的测定，同样使用 30cm×30cm 的取样框在行间及树下进行单位面积漏割损失量的测定，总体数据求平均后进行漏割率的计算。漏割率按照式(6)计算，试验结果列于表 8。

$$S_l = \frac{G_l}{G_y} \times 100 \dots\dots\dots(6)$$

式中：

S_l —漏割率，%；

G_l —单位面积漏割损失量，g/m²；

G_y —单位面积应收生草质量，g/m²。

表 8 漏割率

园区	单位面积行间漏割损失量/g·m ⁻²	单位面积避障漏割损失量/g·m ⁻²	单位面积漏割损失量均值/g·m ⁻²	漏割率/%
泰兴烨佳梨园	0	246.7	70.9	3.8
	0	0		
	63.8	181.1		
	0	0		
	70.1	289.6		
沛县聚英阁苹果园	0	0	10.9	4.2
	10.5	15.5		
	6.5	13.4		
	8.9	9.1		

	5.9	15.7		
	10.8	8.7		
	8.1	17.2		
	0	0		
	0	108.9		
睢宁官山楸树园	0	151.1	21.7	1.6
	0	0		
	0	0		
	0	0		

将表 8 中的行间及避障漏割损失量数据绘制成曲线，如图 13 所示。从图中可以看出，沛县聚英阁苹果园的数据波动的振幅较其他 2 个果园的小，这与其园间草的分布性有关：杂草分布越均匀，样本点漏割损失量间的差距越小，睢宁官山楸树园漏割损失量零值较多，这与其平整的园间路面有关：路面越平整，割草机作业性能越稳定，各样本点漏割损失量越少。

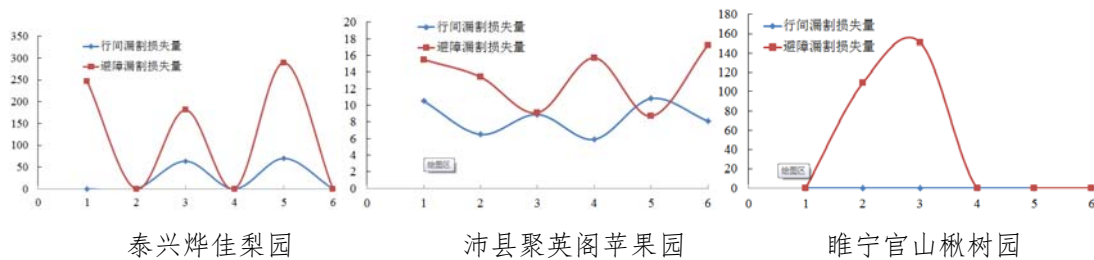


图 13 行间及避障漏割损失量

6.3.4 避障损伤率的测定

在割草机株距避障作业过程中，避障圆盘会与树干发生碰擦，从而会出现撞(划)伤、脱皮、折断等受伤现象。试验中测量割草机避让 50 棵果树所发生的树干损伤数量，试验重复 3 次后取平均值，试验现场如图 14 所示。受伤根数除以总测量根数的比值即为避障损伤率，按式(7)计算避障损伤率，试验结果列于表 9。

$$S_s = \frac{n}{N} \times 100 \dots\dots\dots(7)$$

式中：

- S_s —避障损伤率，%；
- n —损伤树干的数量；
- N —被测树干的数量。



图 14 避障损伤率测定现场

表 9 避障损伤率

园区	第 1 次试验树 干损伤数量	第 2 次试验树 干损伤数量	第 3 次试验树 干损伤数量	平均值	避障损伤率 /%
泰兴烨佳梨园	3	3	1	2.3	4.6
沛县聚英阁苹果园	5	0	3	2.7	5.4
睢宁官山楸树园	2	1	1	1.3	2.6

由表 9 可知，3 个果园的避障损伤率皆在 5% 以下，割草机避障效果较好。避障损伤率按照从小到大的顺序排列，依次为睢宁官山楸树园、泰兴烨佳梨园和沛县聚英阁苹果园。睢宁官山楸树园园间地势平坦，且楸树株距较大，故其割草机作业的避障损失率最小。泰兴烨佳梨园和沛县聚英阁苹果园都有坡度，二者避障损失率较大，又因为沛县聚英阁苹果园的株距窄，割草机树下避障作业较其它果园困难，故其避障损失率在 3 个果园中最大。

6.3.5 最短避障距离的测定

避障刀盘依靠液压缸围绕树干工作，在果树行间与株间来回摆动，对果树株距有一定的要求，试验中为了精确的测量割草机避障圆盘的最短避障距离，在一段平坦的空地上，用 3 根等间距排列的竹竿进行避障试验，竹竿间距以 0.1m 的间隔从 3m 逐渐递减排列，每次距离变动后试验 3 次。试验表明竹竿间距在 1m 以下时，避障圆盘工作性能欠佳，即割草机的最短避障距离为 1m。图 15 为割草机避最短避障距离测试现场。



图 15 割草机避最短避障距离测试现场

6.4 田间生产试验

2020 年 8 月份，在田间生产试验期间，每个果园测试 3 天，1 天 1 班次。对割草机在 3 个试验果园的使用可靠性系数、平均故障间隔时间、工作效率、单位面积耗油量 4 项指标进行了系统规范的测试，试验使用 60 马力大鹏王拖拉机，每个果园试验面积皆不小于 3hm²。表 10 为各果园班次作业时间利用情况查定表，油耗测定现场如图 16 所示。

表 10 为各果园班次作业时间利用情况查定表。

园区	开始/h:min	停止/h:min	加油/kg	割草/h	故障/min	作业面积/hm ²
泰兴烨佳梨园	5:00	14:00	55.83	9	0	4
	7:00	17:00	65.74	10	8	4.3
	5:00	19:00	88.67	14	0	6
	平均		70.08	11	2.67	4.77
沛县聚英阁苹果园	7:00	15:00	33.6	8	6	3.7
	7:00	17:00	42.55	10	0	4.5
	6:00	16:00	43.11	10	0	4.8
平均		39.75	9.33	2	4.33	
睢宁官山楸树园	8:00	15:00	43.26	7	0	4
	5:00	11:00	35.91	6	0	3.5
	6:00	16:00	60.68	10	0	6
	平均		46.62	7.67	0	4.5



图 16 田间油耗测定现场

6.4.1 使用可靠性系数

按式(8)计算表 10 中割草机在各园区的使用可靠性系数，割草机使用可靠性系数 k 依次为：泰兴烨佳梨园 99.6%，沛县聚英阁苹果园 99.64，睢宁官山楸树园 100%。

$$K = \frac{\sum T_z}{\sum (T_z + T_g)} \times 100 \dots\dots\dots(8)$$

式中：

- K —使用可靠性系数，%；
- T_z —机具班次作业时间，h；
- T_g —机具班次故障时间，h。

6.4.2 平均故障间隔时间

按式(9)计算表 10 中割草机在各园区的平均故障间隔时间，割草机平均故障间隔时间 $MTBF$ 依次为：泰兴烨佳梨园 10.96h，沛县聚英阁苹果园 9.3。

$$MTBF = \frac{\sum T_z}{r} \dots\dots\dots(9)$$

式中：

- $MTBF$ —平均故障间隔时间，h；
- r —机具累计故障(轻度故障除外)次数。

6.4.3 工作效率

按式(10)计算表 10 中割草机在各园区的工作效率，割草机工作效率 W_b 依次

为：泰兴烨佳梨园 0.43hm²/h，沛县聚英阁苹果园 0.46hm²/h，睢宁官山楸树园 0.59hm²/h。

$$W_b = \frac{U}{T_b} \dots\dots\dots(10)$$

式中：

W_b —工作效率，hm²/h；

U —作业面积，hm²；

T_b —作业时间，h。

6.4.4 单位面积耗油量

按式(11)计算表 10 中割草机在各园区的单位面积耗油量，割草机单位面积耗油量 Q 依次为：泰兴烨佳梨园 14.69kg/hm²，沛县聚英阁苹果园 9.18kg/hm²，睢宁官山楸树园 10.36kg/hm²。

$$Q = \frac{Q_r}{U} \dots\dots\dots(11)$$

式中：

Q —单位面积耗油量，kg/hm²；

Q_r —总耗油量，kg。

7、存在问题与建议

(1) 在试验过程中，割草机避障刀盘探测杆对果树主干的探测灵敏度需要现场调试(图 17)，通过调整探测杆限位螺钉的相对位置，来调整探测杆的初始位置，探测杆圆周距离避障圆盘越近，其灵敏度越高。在果园作业前，先试探性的对 5-10 棵果树进行避障割草作业，通过肉眼观察避障圆盘的避障灵敏度，反复的调整限位螺钉，直至机具可以进行正常的避障作业为止。



图 17 探测杆调试现场

(2) 作业过程中驾驶员应随时观察拖拉机后方割草机作业情况，注意避障刀盘是否距离树干过近、机具离地高度整体过低、行间及避障刀盘有无泥土堵塞、油压管漏油等突发情况，以免机具损坏，影响园区正常作业，图 18 为故障现场。



拖拉机油管爆裂

行间滚动刀盘积压泥土过多

图 18 割草机故障现场

(3) 在割草机作业过程中发现，个别果树第一主枝会受到不同程度的擦碰伤，这是由于果树第一主枝离地面距离过短，而割草机液压油箱的设计置于前进方向的右侧，油箱顶面离地距离 0.9m。经测量(图 19)，受伤的第一主枝距地最短距离 42cm，离树干中心最短距离 38cm，建议割草机在液压油箱设计方面选择远离树干侧，即试验所选割草机液压油箱选择前进方向左置。



图 19 擦碰果树第一主枝离地距离测量现场

(4) 为了避免割草伤及树干，避障圆盘半径的设计要大于刀盘的转动半径，而且劣弧状探测杆的半径要大于避障圆盘的半径，这就不可避免的造成果树树干四周小距离范围内的草无法割除，经测量(图 20)树周末割草半径范围为：12-30cm，建议这部分区域的草，利用人工进行除去，或者忽略割除。



图 20 树周末割草半径测量现场

四、果园自动化避障割草技术总结报告

我国果园大多为传统型果园，果树具有树形矮小、树冠大而低矮，机械化作业条件差等特点，果园中耕管理难度大，普通的作业机具难以适应，国内也缺乏适宜的中耕管理机具，加上近年来人工成本逐年增高等因素，导致果园生产投入大，降低了果园整体经济效益。遇到较大面积的果园，仅靠人力进行除草成本较大，因此需借助除草机械对杂草进行清除。果树行间距一般比株间距大，可以利用割草机械直接进行除草作业，但是果树株间的杂草就不能很好的用割草机进行机械化作业清除。在用除草机械除草的过程中，除草机械离果树根部太近的话就容易对树根部造成损伤，而除草机械与果树根部间预留安全空间则会使得果树根部周边的杂草难以清除，达不到全面除草的效果。且现有的大型除草机械多为固定幅度式，工作时路径固定，对成行植株等特殊场合适应性较差，除草作业不理想，对于株距之间的杂草不能清除。本项目按我省果树种植特点，选择泰兴、沛县、睢宁 3 个试验示范点，分别开展梨树、苹果树、楸树避障割草作业试验示范。根据草种生长特性、切割工艺特点，在全国范围开展机具选型，对符合割草农艺要求、用户迫切需要的装备技术，引进先进适宜的避障割草机进行试验示范，形成机械化操作规程，有效解决果园树行间、株间割草作业难、作业效率低的问题，提高作业效率，降低劳动强度，减少生产成本，探索可在全省面上推广的应用模式，促进规模化、标准化生产，让农业增产、农民增收。

一、试验机型选择

（一）试验示范基地条件

项目试验示范基地江苏烨佳梨园发展有限公司拥有梨园面积 1000 亩，以“苏翠 1 号”为主，是一个集良种繁育、规模生产、宽行窄株种植模式的现代化优质梨园。按照现代园艺的要求，实行设施化栽培，全面使用“Y”形棚架栽培模式，推广机械化管理，省力化栽培，行株距为 5m×3m。

沛县聚英阁水果种植家庭农场占地面积 200 余亩，其中苹果面积 142 亩，桃面积 60 亩，主要种植品种为维纳斯黄金苹果和新黄金蜜 1 号桃，均采用宽行距、窄株距“墙”式结构的种植模式，行株距 4m×1.2m，便于机械化作业。

睢宁县楸树研发基地占地 200 亩，主要栽植洛楸系列、中山楸、南林 1 号、豫楸系列苗木 11000 株；基地按照 4m×3m 和 5m×2.5m 种植，树行间根据季节需求灵活套种其他作物。

以上试验基地均为宽行窄株种植模式，主干型生长栽培，符合果园机械化作业要求。

（二）果园生草管理要求

果园生草是在全园种植草本植物作为覆盖物的一种现代化果园管理方法。它能改善果园小气候，改良土壤理化性质，增强果树抗病能力。因生草长势过旺会与果树争夺土壤养分，对果园起到负面作用，所以通常一年需要对其进行 3~6 次的刈割修整，割草要求必须留茬 3cm~10cm，起到保墒固土作用。果园割草生产与管理作业时，果树树干成了作业机械或机组前进的障碍物，约占果树周边可耕作面积 1/3 的区域无法作业到位，形成明显的一次作业漏耕区，从而需要人工二次补割作业，无形中增加了劳动成本，降低了工作效率。

（三）试验机型选择

项目组对避障割草机进行全面摸底调研，确定试验示范机具。先后赴青岛、三门峡、江苏等地考察调研果园用自动化避障割草机，了解到常用果园割草机有人力挂式割草机、乘坐式转盘割草机、动力悬挂旋转式割草机、避障割草机（具体见表 1），其中避障割草机又分为：独立避障割草、双边避障割草、行株间距同时避障割草等。调研了意大利 LOTTI、南通广益机电有限公司、常州国腾机械科技有限公司、常州汉森机械股份有限公司等公司生产的避障割草机。考虑到果树的行株间距一个往复割草作业正好覆盖割草范围，最终确定引进常州国腾机械有限公司生产的 F. USM145A-UF0650 行间树下联合避障割草机为项目引进试验示范机型。

表 1 果园割草机机型对比

序号	名称	图片	优缺点
1	人力挂式割草机		<p>该机型小巧灵活，不受果园种植模式及地理地貌限制，适用于规模较小的果园使用，但噪音大，操作人员易疲劳。</p>
2	乘坐式转盘割草机		<p>该机型适用于地势平坦、宽行距、大规模的现代化果园。只能行间割草，且对草的高度有要求。</p>
3	动力悬挂旋转式割草机		<p>该机型需与四轮拖拉机配套使用，要求果园行间具备机具行走条件，适用于地势平缓、宽行距、行间无明显沟坎的大规模果园除草使用。只能行间割草。</p>
4	独立避障割草机		<p>意大利 LOTTI 避障割草机，只能实现柱间距割草机，但价格昂贵，售价 13 万。</p>

5 双边避障割草机



可以实现行株间同时割草，但不符合试验基地农艺要求。

6 单边行株间组合式避障割草机



实现行、株间和树干周围割草、抛草、覆草等功能，机具行进过程中能自动避让树干、水泥立柱等障碍物。

(四) 作业原理

试验机型为单边行株间避障割草机，拖拉机需配带液压输出系统，通过侧移液压缸控制其侧移位置。割草机工作时，拖拉机PTO通过万向传动轴带动动力输入轴旋转，拖拉机输出动力经锥齿轮箱传送给带轮传动轴和齿轮泵。带轮传动轴转速经带轮传动机构变速后，带动行间割草刀辊旋转。齿轮泵将液压油以一定的压力，经高压油管和液路分配阀，输送给液压马达和液压换向阀。液压马达带动避障刀盘旋转作业，液压换向阀通过控制避障液压缸的伸缩，使得避障圆盘绕树摆动，以实现避障功能。当位于避障圆盘外缘轮廓的探测杆碰触到树干时，探测杆压块对液压换向阀的顶针施压，液压换向阀控制避障液压缸收缩，避障圆盘向后摆动；当探测杆未探测到树干时，液压换向阀顶针复位，避障液压缸伸长，避障圆盘向前摆动。避障圆盘四周固定安装有橡胶圈，可防止圆盘外缘钢结构与树干发生碰擦。避障圆盘与转动支架之间由平行四边形仿形机构连接，在减振器弹力、避障圆盘重力和仿形滑盘的共同作用下，避障圆盘纵向位置能够根据树干四周地势进行适当的自由调整，实现仿形割草。行间割草机构后方安装有镇压轮，用于对作业后的行间路面进行压实。

二、开展避障割草机作业性能试验和田间生产试验

(一) 试验条件

试验地选用江苏省泰兴市烨佳梨园(泰兴烨佳梨园)、沛县聚英阁水果种植家庭农场(沛县聚英阁苹果园)、睢宁县楸树研发基地官山示范区(睢宁官山楸树园)。各园区试验面积、温度、相对湿度、土壤紧实度、种植行间距及行道坡度等试验条件如表2所示。

表2 试验条件

Tab. 2 Test condition

园区	试验面积 /hm ²	园区温度 /°C	相对湿度 /%	土壤紧实度 / kg·cm ⁻²	果树行株距 /m×m	坡度角 /°	主要草种
泰兴烨佳梨园	10	28	46	17.8	2.3×1.5	11.3	早熟禾、水花生
沛县聚	8.7	38	29	18.9	2.5×1.2	8.5	狗尾草

英阁苹 果园 睢宁官 山楸树 园	6.7	33	44	9.23	5×2	0	牛筋草
------------------------------	-----	----	----	------	-----	---	-----

(二) 试验方法

依照《GB/T 10938-2008 旋转割草机》[16]、《GB/T 5667-2008 农业机械 生产试验方法》[17]、《JB 8520-1997 旋转式割草机 安全要求》[18]在3所示范区对避障割草机进行了作业性能试验和田间生产试验。作业性能试验包括应收草质量、割幅(行间割幅、避障割幅)、割茬高度(行间割茬高度、避障割茬高度)、漏割率(行间漏割、避障漏割)、避障损伤率、避障割草高度与行间高度最大差和最短避障距离的测定。田间生产试验包括使用可靠性系数、平均故障间隔时间、班次小时生产率、劳动生产率和单位面积耗油量的测定。

(三) 试验结果与分析

1、割草机性能试验

(1) 应收草质量测定

应收草取样现场如图2所示,采样点数据如表3所示。表中3个园区单位面积应收生草质量相差较大,按照从大到小的排序为泰兴烨佳梨园、睢宁官山楸树园、沛县聚英阁苹果园。因沛县聚英阁苹果园杂草以狗尾草为主,相对于其它草种单位面积质量最轻,故其单位面积应收生草质量只有258.9 g/m²,而泰兴烨佳梨园主要为早熟禾和水花生,相对于其它草种单位面积质量最重,其单位面积应收生草质量为1867.8 g/m²。而且从表3中可以看出沛县聚英阁苹果园样本点间杂草质量波动较小,即杂草生长分布较其它2个果园均匀。

表3 单位面积应收草质量

Tab. 3 Grass mass per unit area

园区	点1/g	点2/g	点3/g	点4/g	点5/g	均值/g	Gy/g·m ⁻²
泰兴烨佳梨园	70.3	201.7	91.6	209.6	267.1	168.1	1867.8
沛县聚英阁苹果园	18.4	30.7	20.2	21.1	25.9	23.3	258.9
睢宁官山楸树园	84.7	75	193.6	144.5	114.7	122.5	1361.1

(2) 割幅、割茬高度的测定

各园区6个采样点割幅、割茬高度的试验数据如图4所示。为了能够反映单个园区间割幅、割茬高度的稳定性,按照式(9)、(10)、(11)对各样本点割幅、割茬高度的变异系数进行计算,结果如表4所示。割草机行间割幅、避障割幅、行间割茬高度、避障割茬高度分别为1.54 m、0.61 m、0.11 m和0.15 m。睢宁官山楸树园4个指标的变异系数均比其他果园小,这与其平坦的地势有关,园区地势越平坦,行间坡度越小,割草机割幅、割茬高度的变异性越小。泰兴烨佳梨园坡度角虽然较沛县聚英阁苹果园大,但割茬高度变异系数较沛县聚英阁苹果园小,这是因为沛县聚英阁苹果园单位面积应收草质量远小于泰兴烨佳梨园,行间杂草的相对稀少影响割茬高度的采样。由此可知,割草机尽量选择在行间坡度小,路面地势较为平坦的果园作业。

$$a = \frac{\sum_{i=1}^6 a_i}{6} \quad (9)$$

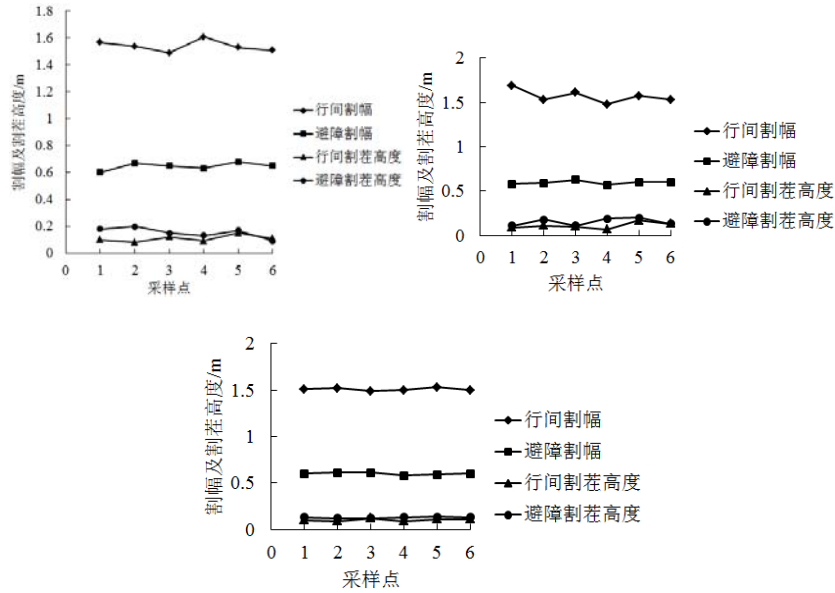
式中: a_i ——各样本点割幅、割茬高度, m。

$$s_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (a_i - a)^2}{6}} \quad (10)$$

式中：sa——各样本点割幅、割茬高度标准差，%。

$$CV = \frac{s_a}{a} \times 100\% \quad (11)$$

式中：CV——各样本点割幅、割茬高度变异系数，%。



a. 泰兴烨佳梨园 b. 沛县聚英阁苹果园 c. 睢宁官山楸树园

图4 割幅和割茬高度

Fig. 4 Cutting width and stubble height

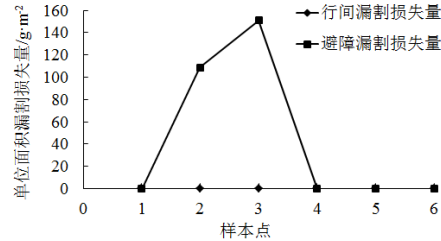
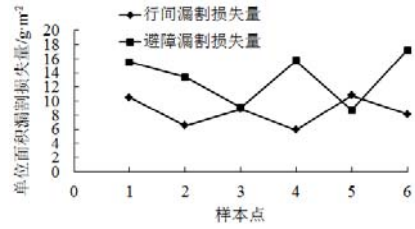
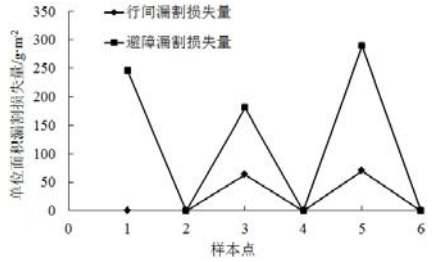
表4 割幅、割茬高度的变异系数

Tab. 4 Coefficient variation of cutting width and stubble height

园区		行间割幅	避障割幅	行间割茬高度	避障割茬高度
泰兴烨佳梨园	平均值/m	1.54	0.65	0.11	0.15
	变异系数/%	2.55	4.06	20.93	23.41
沛县聚英阁苹果园	平均值/m	1.57	0.60	0.11	0.15
	变异系数/%	4.30	3.18	28.51	24.60
睢宁官山楸树园	平均值/m	1.51	0.60	0.10	0.13
	变异系数/%	0.89	1.78	10.70	5.35
总平均值/m		1.54	0.61	0.11	0.15
总变异系数/%		2.58	3.01	20.05	17.79

(3) 漏割率的测定

经计算泰兴烨佳梨园、沛县聚英阁苹果园和睢宁官山楸树园的漏割率分别为 3.8%、4.2% 和 1.6%。睢宁官山楸树园漏割率最小，沛县聚英阁苹果园的数据波动的振幅较其它果园小，这与果园行间地势及杂草生长量的分布有关。睢宁官山楸树园路面平整，行间及避障漏割损失量零值较多(无漏割)，割草机漏割量少。沛县聚英阁苹果园虽然杂草分布均匀，样本点漏割损失量间的差距小，但是漏割率最大，这是因为样本点杂草生长旺盛，园区整体漏割损失量大。泰兴烨佳梨园和睢宁官山楸树园虽然漏割率较沛县聚英阁苹果园小，但其有草样本点的漏割损失量较沛县聚英阁苹果园大，这是由于泰兴烨佳梨园和睢宁官山楸树园整体漏割率被无漏割样本点均分，使得整体漏割率降低。



a. 泰兴烨佳梨园

b. 沛县聚英阁苹果园

c. 睢宁官山楸树园

(4) 避障损伤率的测定

受伤根数除以总测量根数的比值即为避障损伤率，试验结果如表 5 所示。3 个果园的避障损伤率皆在 5% 以下，割草机避障效果较好。避障损伤率为睢宁官山楸树园 2.6%、泰兴烨佳梨园 4.6%、沛县聚英阁苹果园 5.4%。睢宁官山楸树园行间地势平坦，且楸树株距较其他果园大，故其割草机作业的避障损失率最小。泰兴烨佳梨园和沛县聚英阁苹果园都有坡度，二者避障损失率较大，又因为沛县聚英阁苹果园的株距相对最小，割草机树下避障作业较其它果园困难，故其避障损失率在 3 个果园中最大。由此可知，果园行间地势越平坦，果树株距越大，行间坡度越小，割草机避障损伤率越低。

表 5 损伤率

Tab. 5 Damage rate

园区	第 1 次试验树干 损伤数量	第 2 次试验树干 损伤数量	第 3 次试验树干 损伤数量	平均 值	避障损伤 率/%
泰兴烨佳梨园	3	3	1	2.3	4.6
沛县聚英阁苹果园	5	0	3	2.7	5.4
睢宁官山楸树园	2	1	1	1.3	2.6

(5) 最短避障距离的测定

在园区机耕道路上用 3 根等间距排列的竹竿进行避障试验，竹竿间距以 0.1 m 的间隔从 3 m 逐渐递减排列。试验表明竹竿间距在 1 m 以下时，避障圆盘工作性能欠佳，即割草机的最短避障距离为 1 m。这与避障圆盘的直径有关，圆盘直径越大，最短避障距离越大，避障割草越不灵活，但避障刀盘单位时间作业面积增大。根据果园种植农艺要求，果树的株距最小为 1.2 m(密植果园)，为了增强割草机的通用性，设定其最短避障距离为 1m，此时避障圆盘直径为 0.62 m。

2、田间生产试验

2020 年 8 月份，对各园区进行田间生产试验，表 6 为各果园班次作业时间利用情况查定表。经计算，表 6 中割草机使用可靠性系数 k 为泰兴烨佳梨园 99.6%、沛县聚英阁苹果园 99.64%、睢宁官山楸树园 100%，割草机平均故障间隔时间 MTBF 为泰兴烨佳梨园 10.96 h、沛县聚英阁苹果园 9.3 h，割草机工作效率 Wb 为泰兴烨佳梨园 0.43 hm²/h、沛县聚英阁苹

果园 0.46 hm²/h、睢宁官山楸树园 0.59 hm²/h，割草机单位面积耗油量 Q 为泰兴烨佳梨园 14.69 kg/hm²、沛县聚英阁苹果园 9.18 kg/hm²、睢宁官山楸树园 10.36 kg/hm²。

割草机使用可靠性系数计算数据表明，F.US-UFO 割草机能够很好地在 3 个试验园区进行生产作业。3 个试验园区割草机平均故障间隔时间均大于 8 h，证明其能够顺利的完成 1 天的工作，不会因为机具的故障问题耽误白天的割草工作。同时田间生产试验也测试出了割草机在 3 个试验园区的平均工作效率为 0.49 hm²/h、单位面积耗油量为 11.41 kg/hm²，这可为果园管理者对机具盈利面积[15]的计算提供参考，以保证其生产利润。

表 6 各果园班次作业时间利用情况查定表

Tab. 6 Investigation table of mower working

园区	开始时刻 /h:min	停止时刻 /h:min	加油 /kg	割草 /h	故障 /min	作业面积 /hm ²
泰兴烨佳梨园	5:00	14:00	55.83	9	0	4
	7:00	17:00	65.74	10	8	4.3
	5:00	19:00	88.67	14	0	6
	平均		70.08	11	2.67	4.77
沛县聚英阁苹果园	7:00	15:00	33.6	8	6	3.7
	7:00	17:00	42.55	10	0	4.5
	6:00	16:00	43.11	10	0	4.8
	平均		39.75	9.33	2	4.33
睢宁官山楸树园	8:00	15:00	43.26	7	0	4
	5:00	11:00	35.91	6	0	3.5
	6:00	16:00	60.68	10	0	6
	平均		46.62	7.67	0	4.5

三、制定《果园自动化避障割草机械化作业操作规程》

项目组在生产试验中总结经验，从果园自动化避障割草机械化作业的术语和定义、作业基本要求、作业安全要求、作业质量和检测方法等方面撰写操作规程。本标准适用于应用功率大于 50 马力的牵引旋转式割草机对果园进行割草作业的过程。

四、结论

通过对 F.US-UFO 型果园避障割草机进行田间试验，项目组认为该机具能够实现行间割草、株间割草、树下割草、抛草、等功能，机具行进过程中能自动避让树干、水泥（钢筋）立柱等障碍物，适合在梨园、苹果园和楸树园等林果园区割草作业，符合市场需求和作业要求。具体结论包括：

1) 对果园种植农艺要求。果树行距宜大于动力主机宽度的 2 倍且不小于 4 m，每行长度不小于 50 m，地头应留有机转转弯调头的空地，空地宽度不小于机组转弯半径。树型视情况选择主干型、Y 型、T 型或水平棚架式，果树分枝高度不低于 50 cm，果树结果部位和树体开张角度应满足机具作业要求。

2) 割草机行间割幅为 1.54 m，避障割幅为 0.61m，行间割茬高度为 0.11 m，株间割茬高度为 0.15 m；3 家果园平均割草机漏割率为 3.2%，平均避障损伤率为 4.2%，平均故障间隔时间为 10.13 h，能够较好地完成行间和株间割草作业。

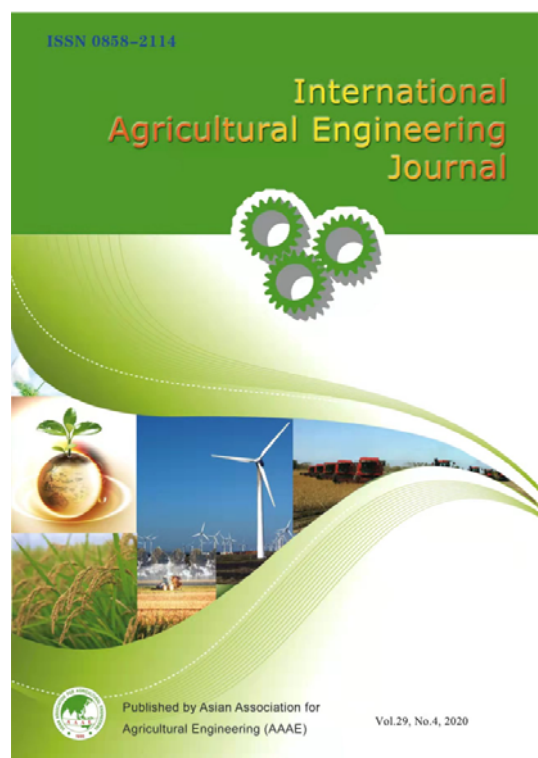
3) 果园行间坡度越小，园间路面越平坦，果树株行距越大，割草机作业质量越高。结果显示楸树机械化避障割草效果最好，梨树和苹果树次之。

4) 割草机工作效率为 0.49 hm²/h，单位面积耗油量为 11.41 kg/hm²，这可为果园管理

者对机具盈利面积的计算提供参考，以保证其生产利润。

5) 在割草机作业过程中发现，个别果树第一主枝离地面距离过矮造成不同程度的擦碰伤，而割草机液压油箱的设计置于前进方向的右侧，油箱顶面离地距离 0.9m。经测量受伤的第一主枝距地最短距离 0.42m，离树干中心最短距离 0.38m，建议割草机液压油箱设计选择前进方向左侧。

2、《果园单向联合割草机的设计与试验》、国际农业工程杂志、第29卷第4期2020年；



December 2020 International Agricultural Engineering Journal Vol. 29, No. 4 157

Design and test of orchard unilateral combine mower

Xiaohui Lei^a, Xiaolan Lv^{a*}, Meina Zhang^a, Qiyang Shen^b, Daipeng Lu^a, Zhengbao Ma^b, Dexin Zhong^c

^aInstitute of Agricultural Facilities and Equipment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Protected Agriculture Engineering in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China

^bJiangsu Agricultural Machinery Development and Application Center, Nanjing 210017, China

^cPubei Agricultural Machinery Technology Extension Station, Guangxi 535300, China

Abstract: Weeding is a necessary agronomic section in orchard management. A unilateral combine mower that can be used for efficient mechanized weeding in orchard was developed in this paper. The mower was composed of inter-row crushing and intra-row cutting mechanisms. Intra-row weeding adopted a 1.5 m long cutting roller with 24 Y-shaped stubble blades. Blades were arranged in a symmetrical double-belt structure with 60° in radial direction. Intra-row weeding adopted hydraulic driving obstacle avoidance profiling cutting mechanism. The hydraulic driving system was selecting gear pump (flow 25 ml/s) and hydraulic motor (flow 16 ml/s). The rotating diameter of the cutting disc was 0.6 m and the largest swing angle was 72.84°. In the process of the obstacle avoidance mechanism working, the trunk resistance between direction rod and trunk controlled the extension and shrinkage of hydraulic cylinder, hydraulic motor drove the cutting disc weeding under obstacle avoidance disc. Parallelogram vibration damper mechanism can realize road surface profiling under the action of vibration damper and profiling slide disc. Performance tests were conducted in pear orchard. Five kinds of indexes were tested in pear orchard to evaluate the working performance, including inter-row crushing rate, intra-row miss cutting rate, working efficiency, fuel consumption and profitable area. The results were: inter-row crushing rate of 86.12%, intra-row miss cutting rate of 5.23%, working efficiency of 0.24 ha/h, fuel consumption of 21.6 L/ha, profitable area of 1.02 ha². The research was helpful to improve the working quality of mechanical mower and could provide a reference to the mechanization management of orchard.

Keywords: orchard; mechanized weeding; combine mower; development; performance test

Citation: Lei, X., Lv, X., Zhang, M., Shen, Q., Lu, D., Ma, Z., & Zhong, D. (2020). Design and test of orchard unilateral combine mower. *International Agricultural Engineering Journal*, 29(4), 157-167.

1. Introduction

Orchard weeding includes two methods, physical and chemical weeding. Herbicide causes droplet drift (Wang et al., 2019; Zivan, Babos-Raviv, & Dulowski, 2017), since it not only damages fruit tree but also destroys the ecological environment (Linhart et al., 2019; Buckle et al., 2018; González-Delgado et al., 2017). Meanwhile, frequent use of herbicide promotes weed resistance (Gaines et al., 2020). Apart from mechanized mowing, physical weeding includes manual weeding, weed barrier

fabric laying (Hu et al., 2018), flame weeding (Mainardi et al., 2020), and artificial grass planting (Bai, Zou, & Du, 2018). Manual weeding is labor-intensive and time-consuming, used in small-scale recreational orchards. Weed barrier fabric requires high cost and has a limited service life, for early sapling cultivation (Jiang et al., 2017). Flame weeding and artificial grass planting have become hot researches in recent years, but they have not been applied to practical production in China. Thus, mechanization is the future direction of Chinese orchard weeding.

Received date: 2020-10-08 Accepted date: 2020-11-23

*Corresponding author: Lv, X., Institute of Agricultural Facilities and Equipment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Protected Agriculture Engineering in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China. Email: lxiaohui2008@163.com

Research on orchard mechanical mower in China started late and the quantity was small, focused on intra-row mower. Xu et al. (2018) developed an auto obstacle avoidance intra-row mower for trellis cultivated grapes. The coverage rate of intra-row weeding was 97.5% in the field test. Ma et al. (2019) developed an

3、《Y型格架梨园单侧避障割草机的研制》、国际农业杂志生物工程(IJABE)。

INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURAL & BIOLOGICAL ENGINEERING (IJABE)

Sponsored by CSAE & AOCABFE, and Published by CAAE

IJABE has been covered in over 30 indexing databases including SCIE, JCR, CC, BA, BIOSIS, EI Compendex, Scopus, INSPEC, CA, CSA, CAB, CABI, AJ, AGRIS, Agricola, EBSCO, Proquest, Google Scholar.

Address: No.41, Maizidian Street, Chaoyang District, Beijing 100125, China
Phone: 86-10-59197086, 59197090; Email: ijabe@sina.com; Website: <https://www.ijabe.org>

Dec. 30, 2021

Notice of Author-side Article Processing Charges

1. Institute of Agricultural Facilities and Equipment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Protected Agriculture Engineering in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; 2. Institute of Pomology, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences

Dear Xiaohui Lei¹, Xiaolan Lyu¹, Youhong Chang²,

Your paper #7013 entitled "Development of unilateral obstacle-avoiding mower for Y-trellis pear orchard" has been accepted after peer review by IJABE International Editorial Board. The total payment of your paper is **RMB ¥ 9500** (with 8 pages). Please process the payment to the IJABE Editorial Office. Payment needs to be made by bank transfer through the following means. If you have any question, please do not hesitate to contact us. Thank you.

Publication Fees & Color Page Charges

IJABE is an open access journal based on author-pays model. In order to cover necessary costs, we charge some fees from the authors of accepted papers using the following criteria.

US\$1000 per paper within 5 formatted pages for authors outside mainland China, with \$150 per extra formatted page.

RMB¥6500 per paper within 5 formatted pages for authors in mainland China, with ¥1000 per extra formatted page.

US\$500 or RMB¥3000 for one formatted Color Page.

METHOD OF PAYMENT

Transfer money from a bank account. Or Remit money by post office. Give a clear indication of whose (first or corresponding author) publication fees in the postscript.

Account name: Chinese Society of Agricultural Engineering (中国农业工程学会)

Account bank: Agricultural Bank of China, Beijing Branch, Chaoyanglu Bei Sub-branch (中国农业银行北京朝阳路北支行)

Address: No.4, Liulitun Xikou Beili, Chaoyang District, Beijing, China (北京市朝阳区六里屯西口北里4号)

Account number: 11040101040004739

Wang Yingkuan

Dr. Wang Yingkuan,

Editor-in-chief of the IJABE

附件

2021 年度十项适用农机化技术推荐书

推荐单位	江苏省农机具开发应用中心		
联系人	蔡国芳	办公电话	025-86468707
手机号码	13601401853	电子邮箱	skfzx@163.com
名称	果园自动化避障割草技术		
概述	<p>(不超过 600 字。简要阐述适用区域、技术模式、解决的主要农业生产问题、推广情况、应用规模、经济社会效益等。)</p> <p>一、适用区域</p> <p>全国范围采用宽行窄株种植模式,果树行距大于动力主机宽度的 2 倍且不小于 4 m,柱间距大于 1m,每行长度不小于 50 m,留有机头转弯空间的果园均适用该技术。</p> <p>二、技术模式</p> <p>果园中的果树均按照一定的行间距和株间距进行栽植。果树的行间距和株间距较大,使得果树行间和株间的土地上生长较多的草,而果园生草会吸收果园土壤中的营养成分,影响果树的生长和果树的产量,因此果树收获前需要多次对果园中的草进行清除。农艺上一般要求在树行间种草或自然生草,其草带应距离树盘外缘 40 厘米左右,作为施肥营养带,每年可以割 3-5 次。当草长到 40 厘米左右时,就需要割草,为了肥田可以把割下的草覆盖在树盘上,以利保墒。由我单位主推果园自动化避障割草装备技术的可以实现行间距割草、株间距割草、树下割草、抛草、覆草等功能,通过限位轮、液压提升锁紧装置,确保罩盖离地间隙的均匀一致性,实现割茬可调、地面仿形,割茬整齐,割幅可调;机具行进过程中能自动避让树干、水泥(钢筋)立柱等障碍物,对地面进行自动仿形。各单项作业模块任意组合,完成果园生草管理的单项或复式作业。</p> <p>三、解决的主要农业生产问题</p> <p>解决了国内缺乏果园专用、高效、复式作业切割装备,无法一次性完成行间距割草、株间距割草、树下除草、草杆抛洒、树下覆盖等操作,造成割草效率低、劳动强度大,管理成本高等问题,引进的果园自动化避障割草装备技术,形成机械化作业规范,提高作业效率,降低劳动强度,减少生产成本,可在全国面上推广的应用模式,促进规模化、标准化生产,让农业增产、农民增收。</p> <p>四、推广情况、应用规模</p> <p>前期江苏省已对“果园自动化避障割草装备技术引进试验”项目立项,并在农机装备与技术短板“需求清单”,将避障割草装备技术列为主推技术。以江苏省某生产企业为例,近两年避障割草机销售量达到 3200 台(包含国内外),销售额 1 亿多元,纳税 1000 多万。</p> <p>五、经济社会效益</p> <p>我国果园面积 1000 万公顷以上,每年平均割草 5~6 次。采用果园自动化避障割草机作业,作业效率约为 4~5 公顷/天。如按每台避障割草机每年作业天数 90 天,新型机具作业面积占果园全部作业面积的 60%计算,至少需要 30-40 万台果园自动避障割草机,每台按 15%利润计算,则企业有 18 亿的大市场。市场需求十分旺盛。</p>		

--	--

证
明
材
料
清
单

(包括特征照片、技术模式流程图、试验示范文件、技术报告和公开发表的文章等。图片要清晰自然，JPG、JPEG、TIF、BMP 格式均可，不低于 24 位色，大小不低于 1MB。可另附页。)

一、果园自动化避障割草技术特征照片

二、果园自动化避障割草机械化作业操作规程

三、果园自动化避障割草技术试验报告

四、果园自动化避障割草技术总结报告

五、发表的论文

1、《F.US-UFO 型果园避障割草机试验研究》、中国农机化学报、第 42 卷第 10 期 2021;

2、《果园单向联合割草机的设计与试验》、国际农业工程杂志、第 29 卷第 4 期 2020 年;

3、《Y 型格架梨园单侧避障割草机的研制》、国际农业杂志生物工程(IJABE)。

声明：本单位保证推荐材料真实有效，不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。

推荐单位（盖章）

年 月 日

证明材料清单：

一、果园自动化避障割草技术特征照片

梨树避障割草前后作业对比



苹果树避障割草前后作业对比



二、果园自动化避障割草机械化作业操作规程

1 适用范围

本规程规定了果园自动化避障割草机械化作业的术语和定义、作业基本要求、作业安全要求、作业质量和检测方法。

本标准适用于应用功率大于 50 马力的悬挂式避障割草机对果园进行割草作业的过程。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 5262-2008 农业机械试验条件 测定方法的一般规定

GB 10395.1 农林机械 安全 第 1 部分:总则

GB/T5668-2008 旋耕机

GB 10396 农林拖拉机和机械、草坪和园艺动力机械 安全标志和危险图形 总则

3 术语和定义

3.1 甩刀式割草机 flail mower

具有多个绕一根水平轴旋转、以冲击方式割草并铺草的自由摆动割草部件的割草机。

3.2 留茬高度 Stubble height

作业后立即测得的地上余留茎秆的垂直高度。

3.3 切碎长度合格率 Shredding length qualification rate

规定单位作业范围内，满足切碎长度要求的碎草重量占该范围内已割全部草重的百分比。

4 作业基本要求

4.1 田间条件

4.1.1 适宜机械化除草作业的果园地面坡度不应大于 15°。

4.1.2 适宜机械化除草作业的果园土壤绝对含水率应为 15%~25%。

4.1.3 应用甩刀式割草机除草的果园内的生草高度与杆径不应超出割草机的作业能力。

4.2 机具一般要求

4.2.1 安全防护和警示标志应符合 GB 10395.1、GB 10395.10、GB 10396 相应产品的质量要求；机具应有较好的可靠性。

4.2.2 根据果树种植农艺要求、果园规模、土壤条件、设施条件等因素综合考虑，合理选择机具和作业模式。

4.3 作业人员要求

根据作业需要配备操作人员和辅助人员。操作人员应经过专业技术培训合格，取得驾驶执照，熟悉安全作业要求、机具性能、调整使用方法及农艺要求；辅助人员应具备基本的作业和安全常识。

5 作业安全要求

5.1 一般作业安全要求

5.1.1 工作前需穿着符合劳动防护要求的工作服装，开机前要检查机器所有外露旋转件带有符合规定的防护装置。

5.1.2 首次开机发动机启动前，应在空地来回试机，掌握挂档和离合技巧，特别要熟悉离合器的功能和作用。

5.1.3 每次工作前应检查各部位螺栓是否有松动、脱落现象；检查各操作部件是否灵活有效。

5.1.4 发动机启动前必须检查离合器是否在分离位置，变速杆是否放到空档位置。

5.1.5 添加油料时应停机并避开火种。

5.1.6 作业过程中禁止碰摸各类旋转部件，避免受伤，并远离排气管高温区，小心烫伤。

5.1.7 更换刀具、清除杂草及检查维修，必须在发动机停止运转后方能进行。

5.1.8 机具在自走转移过程中必须切断作业部件的离合。

5.1.9 操作者应注意作业面上的小土丘、空洞、树枝影响和其他隐蔽的危险。

5.1.10 在穿越无草表面或经过碎石表面时，应先停止刀具的旋转。

5.1.11 运行中的机具应在操作者可控范围内。操作者若需要离开，离开前应按操作规程的要求停止发动机并取出钥匙。

5.2 斜坡作业安全要求

5.2.1 禁止在坡度大于 15°的斜坡上作业。

5.2.2 应沿斜坡上下方向割草。

5.2.3 在斜坡上应注意洞、槽、坑、岩石和其他隐藏物，以免滑倒或翻倒。

5.2.4 选择合适的前进速度，在湿滑的斜坡草地上轮胎可能会打滑，尽量避免在湿滑的情况下斜坡作业。若轮胎打滑，应脱开刀具，用慢速直线下坡。

5.2.5 在下坡时离合器应结合，禁止用空挡下斜坡。

5.2.6 尽量避免在斜坡上停机、制动或转弯。

5.2.7 在斜坡上应保持低速作业，不应突然改变速度或方向，以免翻车。

5.3 避障割草作业

5.3.1 接合动力要在刀轴提升的状态下进行；割草作业时不得倒退和转弯。

5.3.2 作业路线应按 S 型路线往返行走，行距较窄的果树可隔行行走，方便作业。

5.3.3 作业应根据实际情况调整避障拨杆灵敏度，避障盘应尽量贴近树根。可尝试避障盘作业果树若干，根据松紧调整灵敏度。

5.3.4 作业过程中，若要进行倒退移动时，必须挂低挡、小油门，控制好离合器并确保身后有足够的移动空间，缓慢起步。

5.3.5 机组作业时，非操作人员远离机组，操作人员不得靠近工作部件，外露危险件应有可靠的防护装置。

5.3.6 除刀具和与地面接触的行走部件外，其他动力驱动的部件都应有防护装置。

5.4.7 工作时，必须保证割草机与动力装置的挂接机构处于锁定状态

6.作业质量

6.1 割草作业

6.1.1 作业要求

6.1.1.1 旋转割草部件（甩刀）应在距离地面一段距离的情况下接合动力；

6.1.1.2 割草作业时应绕过作业区域内枝杆过高、粗的杂草；

6.1.1.3 作业时应保持匀速直线行驶，作业边角余量小，无明显遗漏，地面无缠草、机具无缠草现象；

6.1.2 作业质量指标应符合表 2 的要求

表 2 甩刀式割草机作业质量指标

序号	项目	指标要求
1	平均留茬高度, cm	3~10
2	切碎长度, cm	≤10
3	切碎长度合格率 %	≥90

三、果园自动化避障割草技术试验报告

果园自动化避障割草技术试验报告

2020年10月

目录

1、试验目的.....	10
2、试验对象.....	10
3、试验器材.....	10
4、试验依据.....	11
5、试验方法.....	11
5.1 作业性能试验 11	
5.1.1 应收草质量测定	11
5.1.2 割幅的测定（行间割幅、避障割幅）	12
5.1.3 割茬高度的测定（行间割茬高度、避障割茬高度）	12
5.1.4 漏割率的测定（行间漏割、避障漏割）	12
5.1.5 避障损伤率的测定	12
5.1.6 避障割草高度与行间高度最大差	12
5.1.7 最短避障距离的测定	12
5.2 田间生产试验 12	
5.2.1 使用可靠性系数	12
5.2.2 平均故障间隔时间	13
5.2.3 工作效率	13
5.2.4 单位面积耗油量	13
6、试验内容与结果.....	13
6.1 试验田情况 13	
6.1.1 果园基本情况园	13
6.1.2 行间地形及坡度	15
6.2 试验草种生物学特性 16	
6.2.1 草种分布	16
6.2.2 草种力学特性	18
6.3 割草机性能试验 20	
6.3.1 应收草质量测定	20
6.3.2 割幅、割茬高度、避障割草高度与行间高度最大差的测定	21
6.3.3 漏割率的测定	23
6.3.4 避障损伤率的测定	24
6.3.5 最短避障距离的测定	25
6.4 田间生产试验 26	
6.4.1 使用可靠性系数	27
6.4.2 平均故障间隔时间	27
6.4.3 工作效率	27
6.4.4 单位面积耗油量	28
7、存在问题与建议.....	28

1、试验目的

针对果园行间及树下割草要求,项目组开展试验考核果园自动化避障割草机作业的适用性、可靠性与经济性,对机具的作业性能进行测试,形成果园自动化避障割草装备技术规范,并进行相关技术培训。

2、试验对象

割草机为常州国腾机械有限公司生产的 F.USM145A-UFO650 行间树下联合避障割草机,产品实物如图 1 所示,具体结构与性能参数列于表 1。

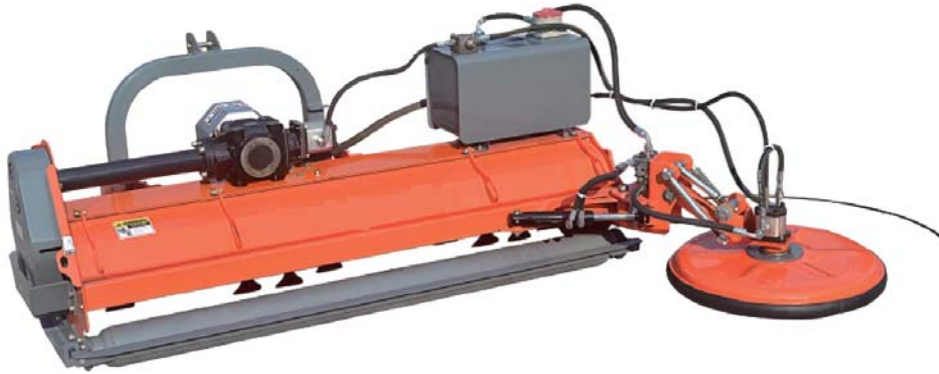


图 1 F.USM145A-UFO650 行间树下联合避障割草机实物照片

表 1 机具结构与性能参数

名称	行间树下联合避障割草机
配套动力/hp	≥ 50
整机重量/kg	416
外形尺寸(长×宽×高)/mm	1720×2330×890
割幅/mm	2110
作业速度/ $m \cdot s^{-1}$	0.5
行间除草刀辊转速/ $r \cdot \min^{-1}$	2337
行间除草刀辊刀片数量/个	54
避障刀盘转速/ $r \cdot \min^{-1}$	2000
避障刀盘直径/mm	620
避障刀盘刀片数量/个	2

3、试验器材

(1) 试验设备

表 2 试验设备参数

序号	名称	规格型号	数量
1	电子天平	C5001	1
2	土壤紧实度测定仪	TJSD-750	1
3	水分传感器	FDS-100	1
4	皮尺	50m	1
5	钢卷尺	5m	1
6	量筒	2L	1
7	油桶	50L	1
8	不锈钢管		5
9	样方框		1

(2) 试验材料

试验用其他材料：签字笔，自封袋。

4、试验依据

GB/T 10938-2008 旋转割草机

GB/T 5667-2008 农业机械 生产试验方法

JB 8520-1997 旋转式割草机 安全要求

5、试验方法

依照《GB/T 10938-2008旋转割草机》，2020年7月份至8月份在江苏省泰兴市烨佳梨园、沛县聚英阁水果种植家庭农场、睢宁县楸树研发基地官山示范区对割草机进行了作业性能试验和田间生产试验。作业性能试验包括割幅（行间割幅、避障割幅）、割茬高度（行间割茬高度、避障割茬高度）、漏割率（行间漏割、避障漏割）、避障损伤率、避障割草高度与行间高度最大差和最短避障距离的测定，田间生产试验包括使用可靠性系数、平均故障间隔时间、班次小时生产率、劳动生产率和单位面积耗油量的测定。

5.1 作业性能试验

5.1.1 应收草质量测定

在选定的试验田内，用取样框分别取5个样点，按照要求的割茬高度将草全部割下，称其重量，求平均后换算成单位面积平均收获草的质量。该质量即为单位面积应收草质量。

5.1.2 割幅的测定（行间割幅、避障割幅）

将割草机的割幅分别进行测量：行间割幅、避障割幅。行间割幅是指组合机具中用于果园行间除草的甩刀式灭茬机作业的割幅，避障割幅是指组合机具中果园株间割草圆盘所对应的割幅。每一行程在测区内等距测定 2 点，重复 3 次试验。计算其平均值，即为实际平均割幅。

5.1.3 割茬高度的测定（行间割茬高度、避障割茬高度）

沿割幅方向在全割幅内测量行间割茬高度和避障割茬高度。用 1m 的钢直尺放在地面上，等间隔测量 20 根后求平均值，每一行程等间隔测 2 点，作业行程重复 3 次。

5.1.4 漏割率的测定（行间漏割、避障漏割）

在测区内，全割幅范围内测定未割生草去掉割茬后的质量即单位面积漏割损失量。每点沿机组前进方向测 0.5m 长（割幅小于 2.5m 的测 1m 长），每一行程等间隔测 2 点，试验重复 3 次。

5.1.5 避障损伤率的测定

株距避障作业过程中树干被撞（划）伤、脱皮、折断等受伤现象。受伤根数除以总测量根数的比值即为避障损伤率。每 50m 测量 1 次，共 3 次。

5.1.6 避障割草高度与行间高度差

避障刀盘割茬高度与行间刀盘割茬高度差，每一行程等间隔测 2 点，试验重复 3 次。

5.1.7 最短避障距离的测定

避障刀盘绕树所需最小半径，每一行程等间隔测 3 点，试验重复 3 次。

5.2 田间生产试验

5.2.1 使用可靠性系数

在生产考核期间，机具有效作业时间总和占考核时间的百分比。

5.2.2 平均故障间隔时间

在生产考核期间，机具有效作业时间总和比上机具累计故障次数。

5.2.3 工作效率

在生产考核期间，机具作业面积比上作业时间。

5.2.4 单位面积耗油量

在生产考核期间，机具作业总耗油量比上作业面积。

6、试验内容与结果

项目组分别于 2020 年 7 月 30 日在江苏省泰兴市烨佳梨园、2020 年 8 月 18 日在沛县聚英阁水果种植家庭农场、2020 年 8 月 19 日在睢宁县楸树研发基地官山示范区开展 F.USM145A-UFO650 行间树下联合避障割草机技术参数及性能测试。

6.1 试验田情况

6.1.1 果园基本情况园

江苏省泰兴市烨佳梨园(以下简称：泰兴烨佳梨园)以种植梨树为主，项目试验示范面积 150 亩。试验当天，天气晴朗，园区温度 28℃，北风 1 级，相对湿度 46%，土壤紧实度平均 17.8kg/cm²。作物品种为苏翠 1 号梨，树龄 3 年，试验场地及现场情况如图 2 所示。

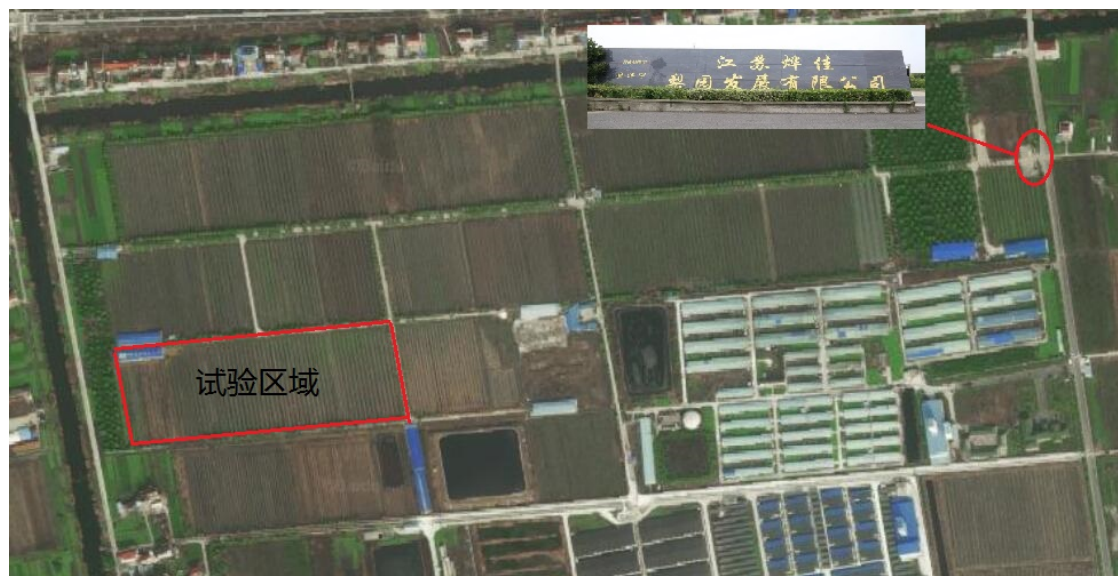




图2 沛佳梨园试验地点及作业现场情况

沛县聚英阁水果种植家庭农场(以下简称:沛县聚英阁苹果园)以种植苹果树为主,项目试验示范面积130亩。试验当天,天气晴朗,园区温度38°C,无风,相对湿度29%,土壤紧实度平均18.9kg/cm²。作物树龄3年,试验场地及现场情况如图3所示。



图3 聚英阁果园试验地点及作业现场情况

睢宁县楸树研发基地官山示范区(以下简称:睢宁官山楸树园)以种植楸树为主,项目试验示范面积 100 亩。试验当天,天气晴朗,园区温度 33℃,东北风 1 级,相对湿度 44%,土壤紧实度平均 9.23kg/cm²。作物树龄 2 年,试验场地及现场情况如图 4 所示。



图 4 楸树示范区试验地点及作业现场情况

6.1.2 行间地形及坡度

种植品种、灌溉施肥方式不同,各园区建园模式不同,这为割草机的通用性试验提供便利。果树产果每年要消耗大量的肥料,而楸树对肥料的吸收主要用于树干的生长,相对果树要小很多,这就需要每年为果园进行多次施肥和灌溉,久而久之,果园土壤的紧实度要高于楸树土壤,而且果树相对来说怕淹,所以果园行间呈两边高中间低的沟槽式,便于果树根部的及时排水。本试验楸树园,因为土质较为松软,水在土壤中的流动性较果园好,而且园区行道两端隔 50m 要进行挖沟,所以这片园区土地以平坦设计为主。园区行株距及行间坡度如图 5 所示,

各测量数据列于表 3。其中坡度角按式(1)计算。

$$\theta = \arctan\left(\frac{2H}{B}\right) \dots\dots\dots(1)$$

式中：

B —为果树行距，m；

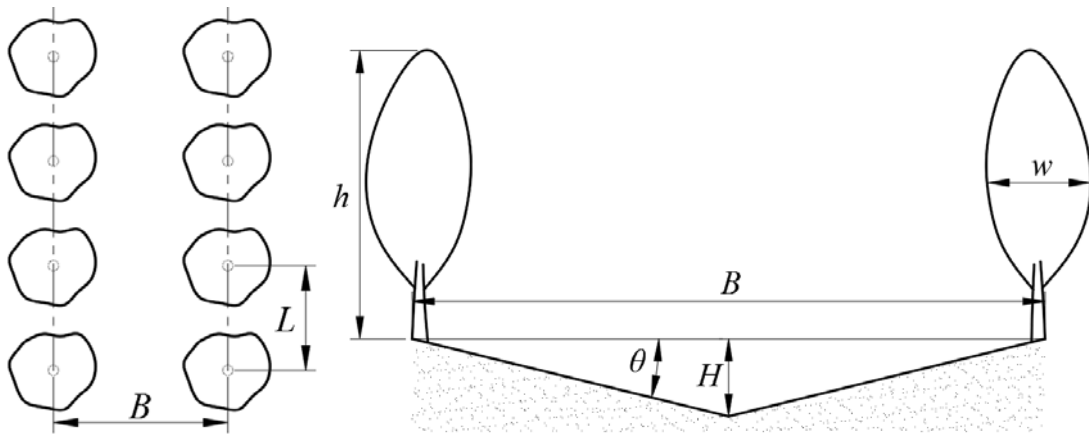
L —果树株距，m；

H —陇高，m；

h —为果树行距，m；

w —果树株距，m；

θ —坡度角，°。



注： B 为果树行距， L 为果树株距， H 为陇高， h 为树高， w 为果树冠径， θ 为坡度角。

图 5 园区行株距及行间坡度

表 3 园区行株距及行间坡度测量数据

园区	B/m	L/m	H/m	h/m	w/m	$\theta/^\circ$
泰兴烨佳梨园	5	3	0.5	2.3	1.5	11.3
沛县聚英阁苹果园	4	1.3	0.3	2.5	1.2	8.5
睢宁官山楸树园	5	3	0	5	2	0

6.2 试验草种生物学特性

6.2.1 草种分布

3个园区田间草种以稗草、牛筋草、千金子、早熟禾、狗尾草、小飞蓬为主，6种草的样貌特征如图6所示。在试验区域内随机选取5点测量田间草种高度，相关数据求平均后列于表4。



稗草

牛筋草

千金子



早熟禾

狗尾草

小飞蓬

图 6 试验区杂草品种

表 4 田间草种的茎粗、高度及生长特性

草种	高度/cm	生物学特性	生长园区
稗草	84	一年生草本,4月下旬开始出苗,生长到8月中旬,一般在7月上旬开始抽穗开花,生育期76-130天。	泰兴烨佳梨园,睢宁官山楸树园
牛筋草	51	一年生草本。根系极发达。秆丛生,基部倾斜。分布于中国南北各省区及全世界温带和热带地区,花果期6-10月。	泰兴烨佳梨园,睢宁官山楸树园
千金子	50	一年生草本植物,圆锥花序长10-30cm,高30-90cm,8-11月开花结果。	泰兴烨佳梨园,沛县聚英阁苹果园
早熟禾	20	一年生或冬性禾草植物,圆锥花序宽卵形,长3-7cm,开展,直立部分高10-30cm,4-5月开花,6-7月结果。	泰兴烨佳梨园
狗尾草	55	一年生草本植物,秆直立或基部	沛县聚英阁苹果园

		膝曲，高 10-100cm，基部径达 3-7mm，花果期 5-10 月。	
小飞蓬	100	一年生草本植物，根纺锤状，茎直立，高可达 100 厘米或更高，圆柱状，叶密集，基部叶花期常枯萎，5-9 月开花。	泰兴烨佳梨园，沛县聚英阁苹果园，睢宁官山楸树园

6.2.2 草种力学特性

为了更加详细清楚的研究割草机对杂草的切割力学特性，试验测量 6 种草在离地面 10cm、15cm 和 20cm 处的草茎切断力并求其平均值，切割力选用尖峰仪器生产的型号为 JF-100A 数显压力计(量程 0-500N，精度 0.1N)，通过夹具加持来切割草杆，测试现场如图 7 所示，试验数据如表 5 所示。



图 7 刈割试验现场图

在田间各选取 30 根生长旺盛的 6 种代表性杂草，进行切断力测量和草杆直径测量(游标卡尺)，平均值及切应力如表 2 所示。其中草杆切应力公式如下：

$$\tau = \frac{4F_{\tau}}{\pi D^2} \dots\dots\dots(2)$$

式中：

τ —草杆切应力，MPa；

F_{τ} —草杆切断力，N；

D —草杆直径，mm。

刀盘切割草杆中部位位置时所受切割阻力最大，若草杆以直径长度均匀排列于刀盘刃部，则刀盘所受最大割草阻力计算方法如下：

$$F = \frac{nlF_{\tau}}{D} \dots\dots\dots(3)$$

式中：

F —刀盘所受最大割草阻力，N；

n —刀盘刀刃个数；

l —刀刃长度，mm。

表 5 杆径与切断力测量数据

名称	离地	离地	离地	直径平均 值/mm	离地	离地	离地
	10cm 处 直径/mm	15cm 处 直径/mm	20cm 处 直径/mm		10cm 处 切断力 /N	15cm 处 切断力 /N	20cm 处 切断力 /N
稗草	6.5	6	6	6.2	55.6	56.6	58.4
牛筋草	5.5	4.5	4.5	4.8	68.7	64.9	60.1
千金子	8	8	7	7.7	48.9	42.3	43.7
早熟禾	5.5	5	5	5.2	70.5	76.9	69.4
狗尾草	3	2	2.5	2.5	20.4	15.4	16.5
小飞蓬	9	8.5	8.5	8.7	54.3	30.9	30.5

为了更加直观的研究 6 种草的切断力与切应力，求出表 5 中各种草切断力的平均值，并按照式(3)计算切应力，6 种草的草高、切断力、茎粗及切应力柱状图如图 8 所示。由图中能够看出小飞蓬的高度和茎粗最大，早熟禾的切断力最大，牛筋草的切应力最大。

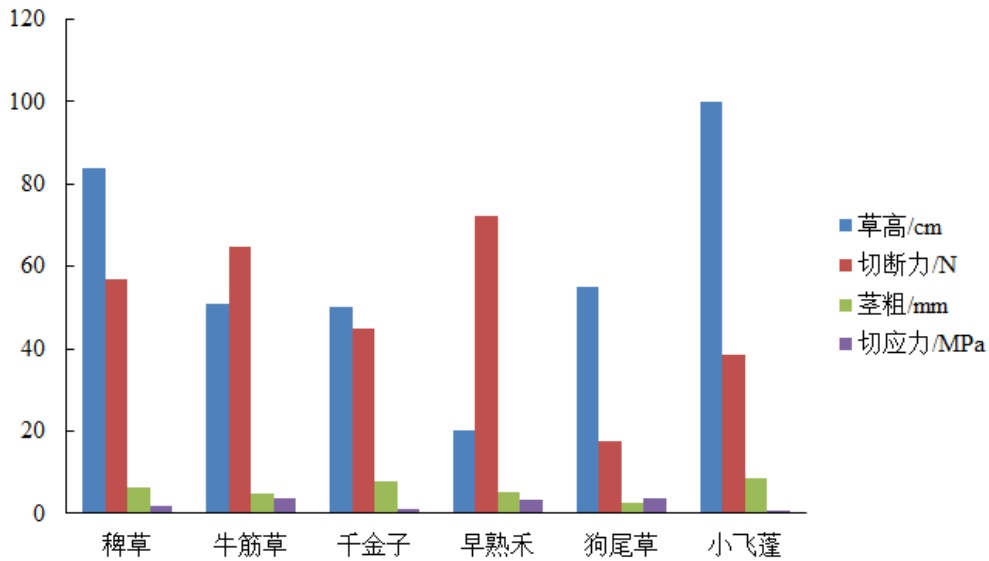


图 8 各草的草高、切断力、茎粗及切应力柱状图

6.3 割草机性能试验

6.3.1 应收草质量测定

在 3 家果园试验田内，用铁丝编制的取样框(为方便取样，进行小巧化设计，尺寸 30cm×30cm)分别在每个试验区域随机抽取 5 个样本点，按照 15cm 的留茬高度将取样框内的草全部割下称重，求平均值后按照式(4)换算成单位面积应收草质量，取样现场如图 9 所示，相关数据列于表 6。

$$G_y = \frac{G_{y30}}{0.09} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

式中：

G_{y30} —取样框实收生草质量，g；

G_y —单位面积应收生草质量，g/m²。



图 9 应收草质量取样现场

表 6 单位面积应收草质量

园区	点 1/g	点 2/g	点 3/g	点 4/g	点 5/g	均值/g	$G_y/g \cdot m^{-2}$
----	-------	-------	-------	-------	-------	------	----------------------

泰兴烨佳梨园	70.3	201.7	91.6	209.6	267.1	168.1	1867.8
沛县聚英阁苹果园	18.4	30.7	20.2	21.1	25.9	23.3	258.9
睢宁官山楸树园	84.7	75	193.6	144.5	114.7	122.5	1361.1

园区的主要草种不一，造成其单位面积应收生草质量相差较大，因沛县聚英阁苹果园杂草以狗尾草为主，狗尾草相对于其他草种较轻，故其单位面积应收生草质量只有 258.9 g/m^2 。为了进一步观察各果园杂草的分布情况，将 5 个样本点采集应收草的质量绘制成散点曲线，如图 10 所示，从图中可以看出沛县聚英阁苹果园样本点间杂草质量波动较小，即分布较其它 2 个果园均匀。

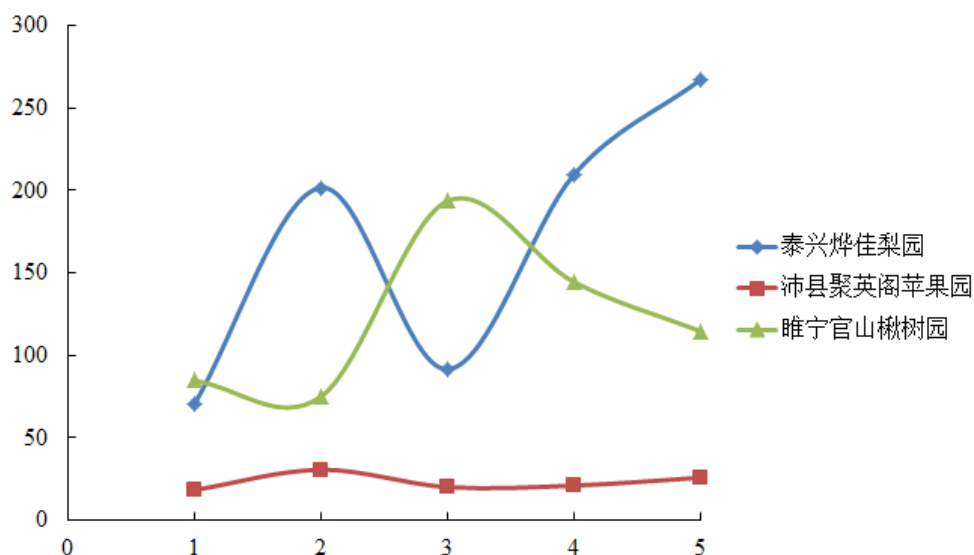


图 10 果园样本点杂草质量

6.3.2 割幅、割茬高度、避障割草高度与行间高度最大差的测定

鉴于行间树下联合避障割草机作业的特殊性，将割草机的割幅分别进行测量：行间割幅和避障割幅。行间割幅是指组合机具中用于果园行间除草的甩刀式灭茬机作业的割幅，避障割幅是指组合机具中果园株间割草圆盘所对应的割幅。由于行间作业以除草为主，杂草留茬高度较低，树下避障作业以割草为主，杂草留茬高度较高，割草机在果园行间和树下的已作业区域会有明显的割茬高度差，以此作为行间和树下割草区域判别标准，在 3 个园区进行割幅、割茬高度、避障割草高度与行间高度差的测定。试验中，割草机每一行程等间隔测 2 点，作业行程重复 3 次，测量现场如图 11 所示。割幅、割茬高度、避障割草高度与行间高

度差的试验数据列于表 7，按式(5)计算避障割草高度与行间高度差。

$$Z = H - B \cdots \cdots (5)$$

式中：

Z —避障割草高度与行间高度差，cm；

H —行间刀盘平均割茬高度，cm；

B —避障刀盘平均割茬高度，cm。



图 11 割幅、割茬高度的测量

表 7 割幅、割茬高度、避障割草高度与行间高度差

园区	割幅/m		割茬高度/m		Z/m		
	行间	避障	行间	避障			
泰兴烨 佳梨园	行程 1	点 1	1.57	0.6	0.1	0.045	
		点 2	1.54	0.67	0.08		0.2
	行程 2	点 1	1.49	0.65	0.12		0.15
		点 2	1.61	0.63	0.09		0.13
	行程 3	点 1	1.53	0.68	0.15		0.17
		点 2	1.51	0.65	0.11		0.09
沛县聚 英阁苹 果园	行程 1	点 1	1.69	0.58	0.09	0.042	
		点 2	1.53	0.59	0.11		0.18
	行程 2	点 1	1.61	0.63	0.1		0.11
		点 2	1.48	0.57	0.07		0.19
	行程 3	点 1	1.57	0.6	0.17		0.2
		点 2	1.53	0.6	0.13		0.13
睢宁官 山楸树 园	行程 1	点 1	1.51	0.6	0.1	0.025	
		点 2	1.52	0.61	0.09		0.12
	行程 2	点 1	1.49	0.61	0.12		0.12
		点 2	1.5	0.58	0.09		0.13
	行程 3	点 1	1.53	0.59	0.11		0.14
		点 2	1.5	0.6	0.11		0.13

将表 7 中的行间、避障割幅，行间、避障割茬高度绘制成曲线图，如图 12

所示。由图中可以看出，睢宁官山楸树园采样点的割幅及割茬高度较其他 2 个果园稳定，这是因为睢宁官山楸树园地势较为平整，便于割草机作业。

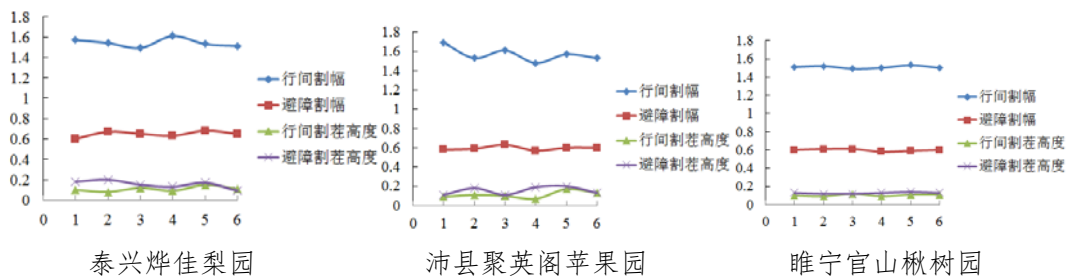


图 12 割幅、割茬高度曲线

6.3.3 漏割率的测定

割草机在田间作业过程中，由于拖拉机行驶过快或者刀盘转速过慢，会产生漏割现象，这会严重影响作业效果。而且，割草机行间和树下刀盘的作业方式不同，行间属于滚筒式打草，树下属于水平旋转式切草，行间及树下的漏割率也会不同。为此试验中进行了行间及避障漏割率的测定，同样使用 30cm×30cm 的取样框在行间及树下进行单位面积漏割损失量的测定，总体数据求平均后进行漏割率的计算。漏割率按照式(6)计算，试验结果列于表 8。

$$S_l = \frac{G_l}{G_y} \times 100 \dots\dots\dots(6)$$

式中：

- S_l —漏割率，%；
- G_l —单位面积漏割损失量，g/m²；
- G_y —单位面积应收生草质量，g/m²。

表 8 漏割率

园区	单位面积行间漏割损失量/g·m ⁻²	单位面积避障漏割损失量/g·m ⁻²	单位面积漏割损失量均值/g·m ⁻²	漏割率/%
泰兴烨佳梨园	0	246.7	70.9	3.8
	0	0		
	63.8	181.1		
	0	0		
	70.1	289.6		
沛县聚英阁苹果园	0	0	10.9	4.2
	10.5	15.5		
	6.5	13.4		
	8.9	9.1		

	5.9	15.7		
	10.8	8.7		
	8.1	17.2		
	0	0		
	0	108.9		
睢宁官山楸树园	0	151.1	21.7	1.6
	0	0		
	0	0		
	0	0		

将表 8 中的行间及避障漏割损失量数据绘制成曲线，如图 13 所示。从图中可以看出，沛县聚英阁苹果园的数据波动的振幅较其他 2 个果园的小，这与其园间草的分布性有关：杂草分布越均匀，样本点漏割损失量间的差距越小，睢宁官山楸树园漏割损失量零值较多，这与其平整的园间路面有关：路面越平整，割草机作业性能越稳定，各样本点漏割损失量越少。

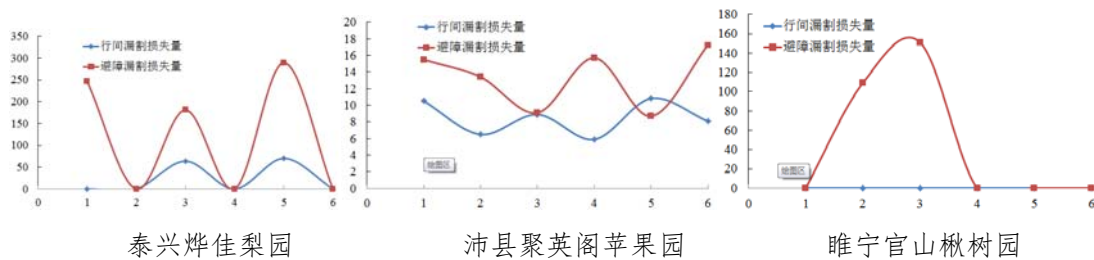


图 13 行间及避障漏割损失量

6.3.4 避障损伤率的测定

在割草机株距避障作业过程中，避障圆盘会与树干发生碰擦，从而会出现撞(划)伤、脱皮、折断等受伤现象。试验中测量割草机避让 50 棵果树所发生的树干损伤数量，试验重复 3 次后取平均值，试验现场如图 14 所示。受伤根数除以总测量根数的比值即为避障损伤率，按式(7)计算避障损伤率，试验结果列于表 9。

$$S_s = \frac{n}{N} \times 100 \dots\dots\dots(7)$$

式中：

- S_s —避障损伤率，%；
- n —损伤树干的数量；
- N —被测树干的数量。



图 14 避障损伤率测定现场

表 9 避障损伤率

园区	第 1 次试验树 干损伤数量	第 2 次试验树 干损伤数量	第 3 次试验树 干损伤数量	平均值	避障损伤率 /%
泰兴烨佳梨园	3	3	1	2.3	4.6
沛县聚英阁苹果园	5	0	3	2.7	5.4
睢宁官山楸树园	2	1	1	1.3	2.6

由表 9 可知，3 个果园的避障损伤率皆在 5% 以下，割草机避障效果较好。避障损伤率按照从小到大的顺序排列，依次为睢宁官山楸树园、泰兴烨佳梨园和沛县聚英阁苹果园。睢宁官山楸树园园间地势平坦，且楸树株距较大，故其割草机作业的避障损失率最小。泰兴烨佳梨园和沛县聚英阁苹果园都有坡度，二者避障损失率较大，又因为沛县聚英阁苹果园的株距窄，割草机树下避障作业较其它果园困难，故其避障损失率在 3 个果园中最大。

6.3.5 最短避障距离的测定

避障刀盘依靠液压缸围绕树干工作，在果树行间与株间来回摆动，对果树株距有一定的要求，试验中为了精确的测量割草机避障圆盘的最短避障距离，在一段平坦的空地上，用 3 根等间距排列的竹竿进行避障试验，竹竿间距以 0.1m 的间隔从 3m 逐渐递减排列，每次距离变动后试验 3 次。试验表明竹竿间距在 1m 以下时，避障圆盘工作性能欠佳，即割草机的最短避障距离为 1m。图 15 为割草机避最短避障距离测试现场。



图 15 割草机避最短避障距离测试现场

6.4 田间生产试验

2020 年 8 月份，在田间生产试验期间，每个果园测试 3 天，1 天 1 班次。对割草机在 3 个试验果园的使用可靠性系数、平均故障间隔时间、工作效率、单位面积耗油量 4 项指标进行了系统规范的测试，试验使用 60 马力大鹏王拖拉机，每个果园试验面积皆不小于 3hm²。表 10 为各果园班次作业时间利用情况查定表，油耗测定现场如图 16 所示。

表 10 为各果园班次作业时间利用情况查定表。

园区	开始/h:min	停止/h:min	加油/kg	割草/h	故障/min	作业面积/hm ²
泰兴烨佳梨园	5:00	14:00	55.83	9	0	4
	7:00	17:00	65.74	10	8	4.3
	5:00	19:00	88.67	14	0	6
	平均		70.08	11	2.67	4.77
沛县聚英阁苹果园	7:00	15:00	33.6	8	6	3.7
	7:00	17:00	42.55	10	0	4.5
	6:00	16:00	43.11	10	0	4.8
平均		39.75	9.33	2	4.33	
睢宁官山楸树园	8:00	15:00	43.26	7	0	4
	5:00	11:00	35.91	6	0	3.5
	6:00	16:00	60.68	10	0	6
	平均		46.62	7.67	0	4.5



图 16 田间油耗测定现场

6.4.1 使用可靠性系数

按式(8)计算表 10 中割草机在各园区的使用可靠性系数，割草机使用可靠性系数 k 依次为：泰兴烨佳梨园 99.6%，沛县聚英阁苹果园 99.64，睢宁官山楸树园 100%。

$$K = \frac{\sum T_z}{\sum (T_z + T_g)} \times 100 \dots\dots\dots(8)$$

式中：

- K —使用可靠性系数，%；
- T_z —机具班次作业时间，h；
- T_g —机具班次故障时间，h。

6.4.2 平均故障间隔时间

按式(9)计算表 10 中割草机在各园区的平均故障间隔时间，割草机平均故障间隔时间 $MTBF$ 依次为：泰兴烨佳梨园 10.96h，沛县聚英阁苹果园 9.3。

$$MTBF = \frac{\sum T_z}{r} \dots\dots\dots(9)$$

式中：

- $MTBF$ —平均故障间隔时间，h；
- r —机具累计故障(轻度故障除外)次数。

6.4.3 工作效率

按式(10)计算表 10 中割草机在各园区的工作效率，割草机工作效率 W_b 依次

为：泰兴烨佳梨园 0.43hm²/h，沛县聚英阁苹果园 0.46hm²/h，睢宁官山楸树园 0.59hm²/h。

$$W_b = \frac{U}{T_b} \dots\dots\dots(10)$$

式中：

W_b —工作效率，hm²/h；

U —作业面积，hm²；

T_b —作业时间，h。

6.4.4 单位面积耗油量

按式(11)计算表 10 中割草机在各园区的单位面积耗油量，割草机单位面积耗油量 Q 依次为：泰兴烨佳梨园 14.69kg/hm²，沛县聚英阁苹果园 9.18kg/hm²，睢宁官山楸树园 10.36kg/hm²。

$$Q = \frac{Q_r}{U} \dots\dots\dots(11)$$

式中：

Q —单位面积耗油量，kg/hm²；

Q_r —总耗油量，kg。

7、存在问题与建议

(1) 在试验过程中，割草机避障刀盘探测杆对果树主干的探测灵敏度需要现场调试(图 17)，通过调整探测杆限位螺钉的相对位置，来调整探测杆的初始位置，探测杆圆周距离避障圆盘越近，其灵敏度越高。在果园作业前，先试探性的对 5-10 棵果树进行避障割草作业，通过肉眼观察避障圆盘的避障灵敏度，反复的调整限位螺钉，直至机具可以进行正常的避障作业为止。



图 17 探测杆调试现场

(2) 作业过程中驾驶员应随时观察拖拉机后方割草机作业情况，注意避障刀盘是否距离树干过近、机具离地高度整体过低、行间及避障刀盘有无泥土堵塞、油压管漏油等突发情况，以免机具损坏，影响园区正常作业，图 18 为故障现场。



拖拉机油管爆裂

行间滚动刀盘积压泥土过多

图 18 割草机故障现场

(3) 在割草机作业过程中发现，个别果树第一主枝会受到不同程度的擦碰伤，这是由于果树第一主枝离地面距离过短，而割草机液压油箱的设计置于前进方向的右侧，油箱顶面离地距离 0.9m。经测量(图 19)，受伤的第一主枝距地最短距离 42cm，离树干中心最短距离 38cm，建议割草机在液压油箱设计方面选择远离树干侧，即试验所选割草机液压油箱选择前进方向左置。



图 19 擦碰果树第一主枝离地距离测量现场

(4) 为了避免割草伤及树干，避障圆盘半径的设计要大于刀盘的转动半径，而且劣弧状探测杆的半径要大于避障圆盘的半径，这就不可避免的造成果树树干四周小距离范围内的草无法割除，经测量(图 20)树周末割草半径范围为：12-30cm，建议这部分区域的草，利用人工进行除去，或者忽略割除。



图 20 树周末割草半径测量现场

四、果园自动化避障割草技术总结报告

我国果园大多为传统型果园，果树具有树形矮小、树冠大而低矮，机械化作业条件差等特点，果园中耕管理难度大，普通的作业机具难以适应，国内也缺乏适宜的中耕管理机具，加上近年来人工成本逐年增高等因素，导致果园生产投入大，降低了果园整体经济效益。遇到较大面积的果园，仅靠人力进行除草成本较大，因此需借助除草机械对杂草进行清除。果树行间距一般比株间距大，可以利用割草机械直接进行除草作业，但是果树株间的杂草就不能很好的用割草机进行机械化作业清除。在用除草机械除草的过程中，除草机械离果树根部太近的话就容易对树根部造成损伤，而除草机械与果树根部间预留安全空间则会使得果树根部周边的杂草难以清除，达不到全面除草的效果。且现有的大型除草机械多为固定幅度式，工作时路径固定，对成行植株等特殊场合适应性较差，除草作业不理想，对于株距之间的杂草不能清除。本项目按我省果树种植特点，选择泰兴、沛县、睢宁 3 个试验示范点，分别开展梨树、苹果树、楸树避障割草作业试验示范。根据草种生长特性、切割工艺特点，在全国范围开展机具选型，对符合割草农艺要求、用户迫切需要的装备技术，引进先进适宜的避障割草机进行试验示范，形成机械化操作规程，有效解决果园树行间、株间割草作业难、作业效率低的问题，提高作业效率，降低劳动强度，减少生产成本，探索可在全省面上推广的应用模式，促进规模化、标准化生产，让农业增产、农民增收。

一、试验机型选择

（一）试验示范基地条件

项目试验示范基地江苏烨佳梨园发展有限公司拥有梨园面积 1000 亩，以“苏翠 1 号”为主，是一个集良种繁育、规模生产、宽行窄株种植模式的现代化优质梨园。按照现代园艺的要求，实行设施化栽培，全面使用“Y”形棚架栽培模式，推广机械化管理，省力化栽培，行株距为 5m×3m。

沛县聚英阁水果种植家庭农场占地面积 200 余亩，其中苹果面积 142 亩，桃面积 60 亩，主要种植品种为维纳斯黄金苹果和新黄金蜜 1 号桃，均采用宽行距、窄株距“墙”式结构的种植模式，行株距 4m×1.2m，便于机械化作业。

睢宁县楸树研发基地占地 200 亩，主要栽植洛楸系列、中山楸、南林 1 号、豫楸系列苗木 11000 株；基地按照 4m×3m 和 5m×2.5m 种植，树行间根据季节需求灵活套种其他作物。

以上试验基地均为宽行窄株种植模式，主干型生长栽培，符合果园机械化作业要求。

（二）果园生草管理要求

果园生草是在全园种植草本植物作为覆盖物的一种现代化果园管理方法。它能改善果园小气候，改良土壤理化性质，增强果树抗病能力。因生草长势过旺会与果树争夺土壤养分，对果园起到负面作用，所以通常一年需要对其进行 3~6 次的刈割修整，割草要求必须留茬 3cm~10cm，起到保墒固土作用。果园割草生产与管理作业时，果树树干成了作业机械或机组前进的障碍物，约占果树周边可耕作面积 1/3 的区域无法作业到位，形成明显的一次作业漏耕区，从而需要人工二次补割作业，无形中增加了劳动成本，降低了工作效率。

（三）试验机型选择

项目组对避障割草机进行全面摸底调研，确定试验示范机具。先后赴青岛、三门峡、江苏等地考察调研果园用自动化避障割草机，了解到常用果园割草机有人力挂式割草机、乘坐式转盘割草机、动力悬挂旋转式割草机、避障割草机（具体见表 1），其中避障割草机又分为：独立避障割草、双边避障割草、行株间距同时避障割草等。调研了意大利 LOTTI、南通广益机电有限公司、常州国腾机械科技有限公司、常州汉森机械股份有限公司等公司生产的避障割草机。考虑到果树的行株间距一个往复割草作业正好覆盖割草范围，最终确定引进常州国腾机械有限公司生产的 F. USM145A-UF0650 行间树下联合避障割草机为项目引进试验示范机型。

表 1 果园割草机机型对比

序号	名称	图片	优缺点
1	人力挂式割草机		<p>该机型小巧灵活，不受果园种植模式及地理地貌限制，适用于规模较小的果园使用，但噪音大，操作人员易疲劳。</p>
2	乘坐式转盘割草机		<p>该机型适用于地势平坦、宽行距、大规模的现代化果园。只能行间割草，且对草的高度有要求。</p>
3	动力悬挂旋转式割草机		<p>该机型需与四轮拖拉机配套使用，要求果园行间具备机具行走条件，适用于地势平缓、宽行距、行间无明显沟坎的大规模果园除草使用。只能行间割草。</p>
4	独立避障割草机		<p>意大利 LOTTI 避障割草机，只能实现柱间距割草机，但价格昂贵，售价 13 万。</p>

5 双边避障割草机



可以实现行株间同时割草，但不符合试验基地农艺要求。

6 单边行株间组合式避障割草机



实现行、株间和树干周围割草、抛草、覆草等功能，机具行进过程中能自动避让树干、水泥立柱等障碍物。

(四) 作业原理

试验机型为单边行株间避障割草机，拖拉机需配带液压输出系统，通过侧移液压缸控制其侧移位置。割草机工作时，拖拉机 PTO 通过万向传动轴带动动力输入轴旋转，拖拉机输出动力经锥齿轮箱传送给带轮传动轴和齿轮泵。带轮传动轴转速经带轮传动机构变速后，带动行间割草刀辊旋转。齿轮泵将液压油以一定的压力，经高压油管和液路分配阀，输送给液压马达和液压换向阀。液压马达带动避障刀盘旋转作业，液压换向阀通过控制避障液压缸的伸缩，使得避障圆盘绕树摆动，以实现避障功能。当位于避障圆盘外缘轮廓的探测杆碰触到树干时，探测杆压块对液压换向阀的顶针施压，液压换向阀控制避障液压缸收缩，避障圆盘向后摆动；当探测杆未探测到树干时，液压换向阀顶针复位，避障液压缸伸长，避障圆盘向前摆动。避障圆盘四周固定安装有橡胶圈，可防止圆盘外缘钢结构与树干发生碰擦。避障圆盘与转动支架之间由平行四边形仿形机构连接，在减振器弹力、避障圆盘重力和仿形滑盘的共同作用下，避障圆盘纵向位置能够根据树干四周地势进行适当的自由调整，实现仿形割草。行间割草机构后方安装有镇压轮，用于对作业后的行间路面进行压实。

二、开展避障割草机作业性能试验和田间生产试验

(一) 试验条件

试验地选用江苏省泰兴市烨佳梨园(泰兴烨佳梨园)、沛县聚英阁水果种植家庭农场(沛县聚英阁苹果园)、睢宁县楸树研发基地官山示范区(睢宁官山楸树园)。各园区试验面积、温度、相对湿度、土壤紧实度、种植行间距及行道坡度等试验条件如表 2 所示。

表 2 试验条件

Tab. 2 Test condition

园区	试验面积 /hm ²	园区温度 /°C	相对湿度 /%	土壤紧实度 / kg·cm ⁻²	果树行株距 /m×m	坡度角 /°	主要草种
泰兴烨佳梨园	10	28	46	17.8	2.3×1.5	11.3	早熟禾、水花生
沛县聚	8.7	38	29	18.9	2.5×1.2	8.5	狗尾草

英阁苹 果园 睢宁官 山楸树 园	6.7	33	44	9.23	5×2	0	牛筋草
------------------------------	-----	----	----	------	-----	---	-----

(二) 试验方法

依照《GB/T 10938-2008 旋转割草机》[16]、《GB/T 5667-2008 农业机械 生产试验方法》[17]、《JB 8520-1997 旋转式割草机 安全要求》[18]在3所示范区对避障割草机进行了作业性能试验和田间生产试验。作业性能试验包括应收草质量、割幅(行间割幅、避障割幅)、割茬高度(行间割茬高度、避障割茬高度)、漏割率(行间漏割、避障漏割)、避障损伤率、避障割草高度与行间高度最大差和最短避障距离的测定。田间生产试验包括使用可靠性系数、平均故障间隔时间、班次小时生产率、劳动生产率和单位面积耗油量的测定。

(三) 试验结果与分析

1、割草机性能试验

(1) 应收草质量测定

应收草取样现场如图2所示,采样点数据如表3所示。表中3个园区单位面积应收生草质量相差较大,按照从大到小的排序为泰兴烨佳梨园、睢宁官山楸树园、沛县聚英阁苹果园。因沛县聚英阁苹果园杂草以狗尾草为主,相对于其它草种单位面积质量最轻,故其单位面积应收生草质量只有258.9 g/m²,而泰兴烨佳梨园主要为早熟禾和水花生,相对于其它草种单位面积质量最重,其单位面积应收生草质量为1867.8 g/m²。而且从表3中可以看出沛县聚英阁苹果园样本点间杂草质量波动较小,即杂草生长分布较其它2个果园均匀。

表3 单位面积应收草质量

Tab. 3 Grass mass per unit area

园区	点1/g	点2/g	点3/g	点4/g	点5/g	均值/g	Gy/g·m ⁻²
泰兴烨佳梨园	70.3	201.7	91.6	209.6	267.1	168.1	1867.8
沛县聚英阁苹果园	18.4	30.7	20.2	21.1	25.9	23.3	258.9
睢宁官山楸树园	84.7	75	193.6	144.5	114.7	122.5	1361.1

(2) 割幅、割茬高度的测定

各园区6个采样点割幅、割茬高度的试验数据如图4所示。为了能够反映单个园区间割幅、割茬高度的稳定性,按照式(9)、(10)、(11)对各样本点割幅、割茬高度的变异系数进行计算,结果如表4所示。割草机行间割幅、避障割幅、行间割茬高度、避障割茬高度分别为1.54 m、0.61 m、0.11 m和0.15 m。睢宁官山楸树园4个指标的变异系数均比其他果园小,这与其平坦的地势有关,园区地势越平坦,行间坡度越小,割草机割幅、割茬高度的变异性越小。泰兴烨佳梨园坡度角虽然较沛县聚英阁苹果园大,但割茬高度变异系数较沛县聚英阁苹果园小,这是因为沛县聚英阁苹果园单位面积应收草质量远小于泰兴烨佳梨园,行间杂草的相对稀少影响割茬高度的采样。由此可知,割草机尽量选择在行间坡度小,路面地势较为平坦的果园作业。

$$a = \frac{\sum_{i=1}^6 a_i}{6} \quad (9)$$

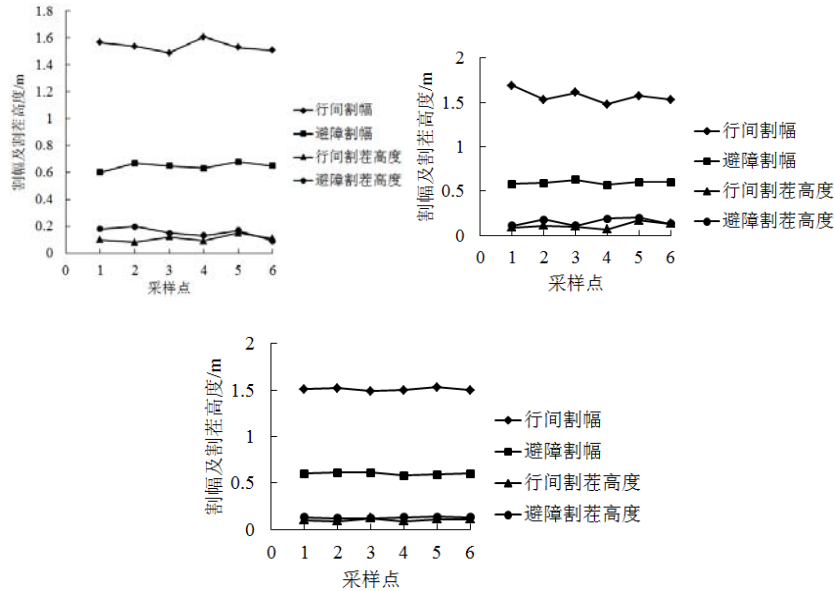
式中: a_i ——各样本点割幅、割茬高度, m。

$$s_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (a_i - a)^2}{6}} \quad (10)$$

式中：sa——各样本点割幅、割茬高度标准差，%。

$$CV = \frac{s_a}{a} \times 100\% \quad (11)$$

式中：CV——各样本点割幅、割茬高度变异系数，%。



a. 泰兴烨佳梨园 b. 沛县聚英阁苹果园 c. 睢宁官山楸树园

图4 割幅和割茬高度

Fig. 4 Cutting width and stubble height

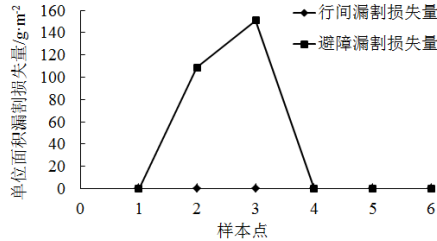
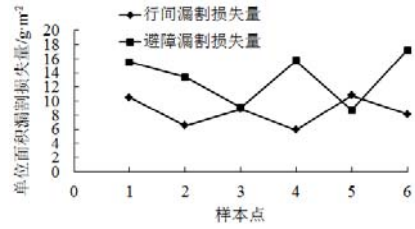
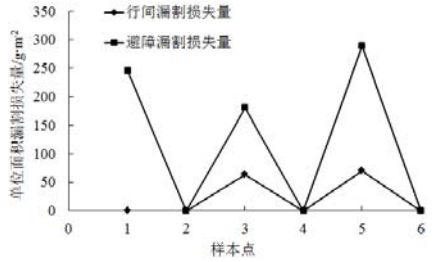
表4 割幅、割茬高度的变异系数

Tab. 4 Coefficient variation of cutting width and stubble height

园区		行间割幅	避障割幅	行间割茬高度	避障割茬高度
泰兴烨佳梨园	平均值/m	1.54	0.65	0.11	0.15
	变异系数/%	2.55	4.06	20.93	23.41
沛县聚英阁苹果园	平均值/m	1.57	0.60	0.11	0.15
	变异系数/%	4.30	3.18	28.51	24.60
睢宁官山楸树园	平均值/m	1.51	0.60	0.10	0.13
	变异系数/%	0.89	1.78	10.70	5.35
总平均值/m		1.54	0.61	0.11	0.15
总变异系数/%		2.58	3.01	20.05	17.79

(3) 漏割率的测定

经计算泰兴烨佳梨园、沛县聚英阁苹果园和睢宁官山楸树园的漏割率分别为 3.8%、4.2% 和 1.6%。睢宁官山楸树园漏割率最小，沛县聚英阁苹果园的数据波动的振幅较其它果园小，这与果园行间地势及杂草生长量的分布有关。睢宁官山楸树园路面平整，行间及避障漏割损失量零值较多(无漏割)，割草机漏割量少。沛县聚英阁苹果园虽然杂草分布均匀，样本点漏割损失量间的差距小，但是漏割率最大，这是因为样本点杂草生长旺盛，园区整体漏割损失量大。泰兴烨佳梨园和睢宁官山楸树园虽然漏割率较沛县聚英阁苹果园小，但其有草样本点的漏割损失量较沛县聚英阁苹果园大，这是由于泰兴烨佳梨园和睢宁官山楸树园整体漏割率被无漏割样本点均分，使得整体漏割率降低。



a. 泰兴烨佳梨园

b. 沛县聚英阁苹果园

c. 睢宁官山楸树园

(4) 避障损伤率的测定

受伤根数除以总测量根数的比值即为避障损伤率，试验结果如表 5 所示。3 个果园的避障损伤率皆在 5% 以下，割草机避障效果较好。避障损伤率为睢宁官山楸树园 2.6%、泰兴烨佳梨园 4.6%、沛县聚英阁苹果园 5.4%。睢宁官山楸树园行间地势平坦，且楸树株距较其他果园大，故其割草机作业的避障损失率最小。泰兴烨佳梨园和沛县聚英阁苹果园都有坡度，二者避障损失率较大，又因为沛县聚英阁苹果园的株距相对最小，割草机树下避障作业较其它果园困难，故其避障损失率在 3 个果园中最大。由此可知，果园行间地势越平坦，果树株距越大，行间坡度越小，割草机避障损伤率越低。

表 5 损伤率

Tab. 5 Damage rate

园区	第 1 次试验树干 损伤数量	第 2 次试验树干 损伤数量	第 3 次试验树干 损伤数量	平均 值	避障损伤 率/%
泰兴烨佳梨园	3	3	1	2.3	4.6
沛县聚英阁苹果园	5	0	3	2.7	5.4
睢宁官山楸树园	2	1	1	1.3	2.6

(5) 最短避障距离的测定

在园区机耕道路上用 3 根等间距排列的竹竿进行避障试验，竹竿间距以 0.1 m 的间隔从 3 m 逐渐递减排列。试验表明竹竿间距在 1 m 以下时，避障圆盘工作性能欠佳，即割草机的最短避障距离为 1 m。这与避障圆盘的直径有关，圆盘直径越大，最短避障距离越大，避障割草越不灵活，但避障刀盘单位时间作业面积增大。根据果园种植农艺要求，果树的株距最小为 1.2 m(密植果园)，为了增强割草机的通用性，设定其最短避障距离为 1m，此时避障圆盘直径为 0.62 m。

2、田间生产试验

2020 年 8 月份，对各园区进行田间生产试验，表 6 为各果园班次作业时间利用情况查定表。经计算，表 6 中割草机使用可靠性系数 k 为泰兴烨佳梨园 99.6%、沛县聚英阁苹果园 99.64%、睢宁官山楸树园 100%，割草机平均故障间隔时间 MTBF 为泰兴烨佳梨园 10.96 h、沛县聚英阁苹果园 9.3 h，割草机工作效率 Wb 为泰兴烨佳梨园 0.43 hm²/h、沛县聚英阁苹

果园 0.46 hm²/h、睢宁官山楸树园 0.59 hm²/h，割草机单位面积耗油量 Q 为泰兴烨佳梨园 14.69 kg/hm²、沛县聚英阁苹果园 9.18 kg/hm²、睢宁官山楸树园 10.36 kg/hm²。

割草机使用可靠性系数计算数据表明，F.US-UFO 割草机能够很好地在 3 个试验园区进行生产作业。3 个试验园区割草机平均故障间隔时间均大于 8 h，证明其能够顺利的完成 1 天的工作，不会因为机具的故障问题耽误白天的割草工作。同时田间生产试验也测试出了割草机在 3 个试验园区的平均工作效率为 0.49 hm²/h、单位面积耗油量为 11.41 kg/hm²，这可为果园管理者对机具盈利面积[15]的计算提供参考，以保证其生产利润。

表 6 各果园班次作业时间利用情况查定表

Tab. 6 Investigation table of mower working

园区	开始时刻 /h:min	停止时刻 /h:min	加油 /kg	割草 /h	故障 /min	作业面积 /hm ²
泰兴烨佳梨园	5:00	14:00	55.83	9	0	4
	7:00	17:00	65.74	10	8	4.3
	5:00	19:00	88.67	14	0	6
	平均		70.08	11	2.67	4.77
沛县聚英阁苹果园	7:00	15:00	33.6	8	6	3.7
	7:00	17:00	42.55	10	0	4.5
	6:00	16:00	43.11	10	0	4.8
	平均		39.75	9.33	2	4.33
睢宁官山楸树园	8:00	15:00	43.26	7	0	4
	5:00	11:00	35.91	6	0	3.5
	6:00	16:00	60.68	10	0	6
	平均		46.62	7.67	0	4.5

三、制定《果园自动化避障割草机械化作业操作规程》

项目组在生产试验中总结经验，从果园自动化避障割草机械化作业的术语和定义、作业基本要求、作业安全要求、作业质量和检测方法等方面撰写操作规程。本标准适用于应用功率大于 50 马力的牵引旋转式割草机对果园进行割草作业的过程。

四、结论

通过对 F.US-UFO 型果园避障割草机进行田间试验，项目组认为该机具能够实现行间割草、株间割草、树下割草、抛草、等功能，机具行进过程中能自动避让树干、水泥（钢筋）立柱等障碍物，适合在梨园、苹果园和楸树园等林果园区割草作业，符合市场需求和作业要求。具体结论包括：

1) 对果园种植农艺要求。果树行距宜大于动力主机宽度的 2 倍且不小于 4 m，每行长度不小于 50 m，地头应留有机转转弯调头的空地，空地宽度不小于机组转弯半径。树型视情况选择主干型、Y 型、T 型或水平棚架式，果树分枝高度不低于 50 cm，果树结果部位和树体开张角度应满足机具作业要求。

2) 割草机行间割幅为 1.54 m，避障割幅为 0.61m，行间割茬高度为 0.11 m，株间割茬高度为 0.15 m；3 家果园平均割草机漏割率为 3.2%，平均避障损伤率为 4.2%，平均故障间隔时间为 10.13 h，能够较好地完成行间和株间割草作业。

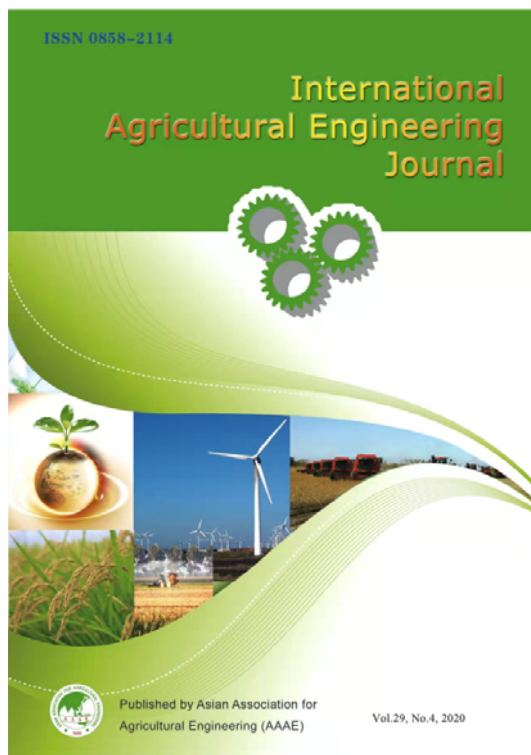
3) 果园行间坡度越小，园间路面越平坦，果树株行距越大，割草机作业质量越高。结果显示楸树机械化避障割草效果最好，梨树和苹果树次之。

4) 割草机工作效率为 0.49 hm²/h，单位面积耗油量为 11.41 kg/hm²，这可为果园管理

者对机具盈利面积的计算提供参考，以保证其生产利润。

5) 在割草机作业过程中发现，个别果树第一主枝离地面距离过矮造成不同程度的擦碰伤，而割草机液压油箱的设计置于前进方向的右侧，油箱顶面离地距离 0.9m。经测量受伤的第一主枝距地最短距离 0.42m，离树干中心最短距离 0.38m，建议割草机液压油箱设计选择前进方向左侧。

2、《果园单向联合割草机的设计与试验》、国际农业工程杂志、第29卷第4期2020年；



December 2020 International Agricultural Engineering Journal Vol. 29, No. 4 157

Design and test of orchard unilateral combine mower

Xiaohui Lei^a, Xiaolan Lv^{a*}, Meina Zhang^a, Qiyang Shen^b, Daipeng Lu^a, Zhengbao Ma^b, Dexin Zhong^c

^aInstitute of Agricultural Facilities and Equipment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Protected Agriculture Engineering in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China

^bJiangsu Agricultural Machinery Development and Application Center, Nanjing 210017, China

^cPudong Agricultural Machinery Technology Extension Station, Guangxi 531360, China

Abstract: Weeding is a necessary agronomic section in orchard management. A unilateral combine mower that can be used for efficient mechanical weeding in orchard was developed in this paper. The mower was composed of inter-row crushing and intra-row cutting mechanisms. Inter-row weeding adopted a 1.5 m long cutting roller with 24 Y-shaped stubble blades. Blades were arranged in a symmetrical double-helix structure with 60° in radial direction. Intra-row weeding adopted hydraulic driving obstacle avoidance profiling cutting mechanism. The hydraulic driving system was selecting gear pump (flow 25 ml/s) and hydraulic motor (flow 16 ml/s). The rotating diameter of the cutting disc was 0.6 m and the largest swing angle was 72.84°. In the process of the obstacle avoidance mechanism working, the trunk resistance between detection rod and trunk controlled the extension and shrinkage of hydraulic cylinder, hydraulic motor drove the cutting disc weeding under obstacle avoidance disc. Parallelogram vibration damper mechanism can realize road surface profiling under the action of vibration damper and profiling slide disc. Performance tests were conducted in pear orchard. Five kinds of indexes were tested in pear orchard to evaluate the working performance, including inter-row crushing rate, intra-row mow cutting rate, working efficiency, fuel consumption and profitable area. The results were: inter-row crushing rate of 86.12%, intra-row mow cutting rate of 5.22%, working efficiency of 0.24 hm²/h, fuel consumption of 21.6 L/hm², profitable area of 1.02 hm². The research was helpful to improve the working quality of mechanical mower and could provide a reference to the mechanization management of orchard.

Keywords: orchard; mechanized weeding; combine mower; developer; performance test

Citation: Lei, X., Lv, X., Zhang, M., Shen, Q., Lu, D., Ma, Z., & Zhong, D. (2020). Design and test of orchard unilateral combine mower. International Agricultural Engineering Journal, 29(4), 157-167.

1. Introduction

Orchard weeding includes two methods, physical and chemical weeding. Herbicide causes droplet drift (Wang et al., 2019; Zivan, Baldoš-Ravic, & Dobrowski, 2017), since it not only damages fruit tree but also destroys the ecological environment (Linhart et al., 2019; Backlewe et al., 2018; González-Delgado et al., 2017). Meanwhile, frequent use of herbicide promotes weed resistance (Gaines et al., 2020). Apart from mechanized mowing, physical weeding includes manual weeding, weed barrier

fabric laying (Hu et al., 2018), flame weeding (Mainardis et al., 2020), and artificial grass planting (Bai, Zou, & Du, 2018). Manual weeding is labor-intensive and time-consuming, used in small-scale recreational orchards. Weed barrier fabric requires high cost and has a limited service life, for early sapling cultivation (Jiang et al., 2017). Flame weeding and artificial grass planting have become hot researches in recent years, but they have not been applied to practical production in China. Thus, mechanization is the future direction of Chinese orchard weeding.

Research on orchard mechanical mower in China started late and the quantity was small, focused on intra-row mower. Xu et al. (2018) developed an auto obstacle avoidance intra-row mower for trellis cultivated grapes. The coverage rate of intra-row weeding was 97.5% in the field test. Ma et al. (2019) developed an

Received date: 2020-10-08 Accepted date: 2020-11-23

* Corresponding author: Lv, X., Institute of Agricultural Facilities and Equipment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Protected Agriculture Engineering in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China. Email: lxiaohui2008@163.com

3、《Y型格架梨园单侧避障割草机的研制》、国际农业杂志生物工程(IJABE)。

INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURAL & BIOLOGICAL ENGINEERING (IJABE)

Sponsored by CSAE & AOCABFE, and Published by CAAE

IJABE has been covered in over 30 indexing databases including SCIE, JCR, CC, BA, BIOSIS, EI Compendex, Scopus, INSPEC, CA, CSA, CAB, CABI, AJ, AGRIS, Agricola, EBSCO, Proquest, Google Scholar.

Address: No.41, Maizidian Street, Chaoyang District, Beijing 100125, China
Phone: 86-10-59197086, 59197090; Email: ijabe@sina.com, Website: <https://www.ijabe.org>

Dec. 30, 2021

Notice of Author-side Article Processing Charges

1. Institute of Agricultural Facilities and Equipment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Protected Agriculture Engineering in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; 2. Institute of Pomology, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences

Dear Xiaohui Lei¹, Xiaolan Lyu¹, Youhong Chang²,

Your paper #7013 entitled "Development of unilateral obstacle-avoiding mower for Y-trellis pear orchard" has been accepted after peer review by IJABE International Editorial Board. The total payment of your paper is **RMB ¥ 9500** (with 8 pages). Please process the payment to the IJABE Editorial Office. Payment needs to be made by bank transfer through the following means. If you have any question, please do not hesitate to contact us. Thank you.

Publication Fees & Color Page Charges

IJABE is an open access journal based on author-pays model. In order to cover necessary costs, we charge some fees from the authors of accepted papers using the following criteria.

US\$1000 per paper within 5 formatted pages for authors outside mainland China, with \$150 per extra formatted page.

RMB¥6500 per paper within 5 formatted pages for authors in mainland China, with ¥1000 per extra formatted page.

US\$500 or RMB¥3000 for one formatted Color Page.

METHOD OF PAYMENT

Transfer money from a bank account. Or Remit money by post office. Give a clear indication of whose (first or corresponding author) publication fees in the postscript.

Account name: Chinese Society of Agricultural Engineering (中国农业工程学会)

Account bank: Agricultural Bank of China, Beijing Branch, Chaoyanglu Bei Sub-branch (中国农业银行北京朝阳路北支行)

Address: No.4, Liulitun Xikou Beili, Chaoyang District, Beijing, China (北京市朝阳区六里屯西口北里4号)

Account number: 11040101040004739

Wang Yingkuan

Dr. Wang Yingkuan,

Editor-in-chief of the IJABE