

自走式菜用大豆摘荚机的设计

王显锋,张红梅,徐新华,余永昌

(河南农业大学 机电工程学院,河南 郑州 450002)

摘要:随着近些年来国内外对菜用大豆需求量的不断增长,菜用大豆实现机械化收获的需要尤为迫切,针对该种需求及当今该领域研究制造的不足,吸收了现有菜用大豆收获机型的经验,分析、总结和优化了现有文献中的构想及同类机械的工作原理,设计了自走式不对行菜用大豆摘荚机,该机主要由机车系统、滚筒弹齿式采摘台、输送系统、清选系统、储运箱等组成,能够一次性完成豆荚的采摘、清选作业,不仅提高了摘净率、降低了破损率,还具有很好的筛选效果,提高了豆荚采摘的质量,更加符合我国的国情。

关键词:菜用大豆;自走式;收获机;采摘

中图分类号:S225.6 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2015.02.0310

Design of Self – propelled Green Soybean Pods Picking Machine

WANG Xian-feng,ZHANG Hong-mei,XU Xin-hua,Yu Yong-chang

(College of mechanical & Electrical Engineering of Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002 ,China)

Abstract: As the growing demand for green soybean in recent years both home and abroad, the needs of the mechanized harvesting is particularly urgent. In accordance with the need and the shortage of the current research in this field, having absorbed the experience of existing models of soybean harvester, analyzed and optimized the idea in the existing literature and the working principle of the congener mechanical, the no-line self-propelled green soybean harvester was designed. It is mainly composed of locomotive system, drum spring-tooth picking platform, conveying equipment, cleaning equipment, storage tank and so on, which can complete pod picking and cleaning all at once, not only improves the net rate, reduce the damage rate, but also has very good filtering effect, improve the quality of the pod picking, more suitable for the conditions of our country.

Keywords: Green soybean;Self-propelled;Harvester;Picking

菜用大豆(*Glycine max* L. Merr.)又称毛豆或青毛豆,肉质脆嫩,营养丰富,既可作为大豆食用,加工为美味菜肴,还具有一定的养生保健功效^[1-3]。豆荚采摘后,其营养丰富的植株既可作牛羊的饲料促进畜牧业的发展,也可作为绿肥来改良土壤结构、增加土壤肥力^[4]。菜用大豆作为一种菜、粮、草、肥兼用作物,因其生产成本低、易栽培、营养丰富、用途广泛、效益好等特点为人们所喜爱^[1,5]。

随着市场对菜用大豆需求的不断加大,其对收获的机械化程度的要求也更为迫切,而国内外对此研究很少。农业部南京农业机械化研究所的秦广明、肖宏儒、宋志禹等研制出了5TD60型青大豆脱荚机,采用单株喂入方式,脱荚装置由至少一对位于夹持输送机构内侧的上、下脱荚辊构成,脱荚辊的辊轴上具有间隔分布且径向延伸的柔性脱荚齿。当单株喂料时间在1~2 s时,生产效率在300 kg·h⁻¹以上。其优点在于,不存在插入豆棵的钉齿,因此在脱荚过程中,茎叶基本不会被打落,从而简化了后续的清选作业^[6-7]。但不足之处是,该机器是场上作业机,需要先把毛豆收割后运到场上,工作工序多;而且该摘荚机是单株喂入式,工作效率还不够高,还需要手工操作,劳动强度也不小。山

东等地进口有日本的小型毛豆摘荚机,采用滚筒弹齿式采摘装置,但其在采收率和清杂效果方面不尽如人意。美国十方国际公司有OXBO型鲜豆收获机,体积庞大,价格不菲,不适合我国国情。

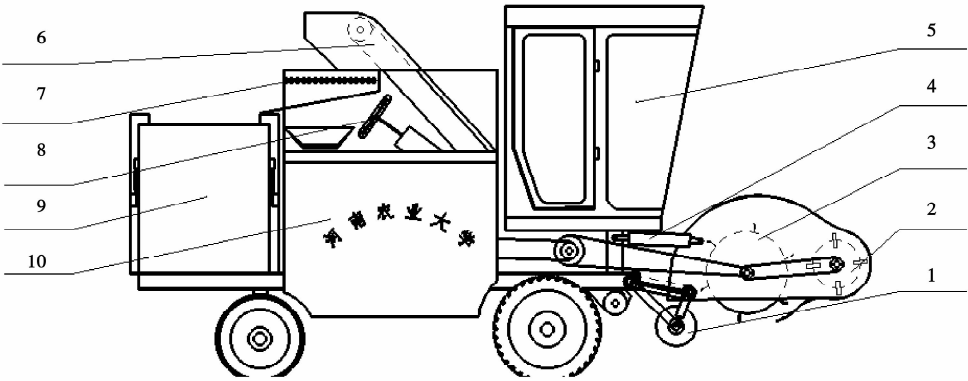
为此,结合柔性脱荚齿无损伤、低杂质的优点和滚筒内弹齿式脱精率高的优点^[8-12],设计了自走式菜用大豆联合收获机,以实现我国菜用大豆收获的全程机械化。该收获机在工作过程中,前面采摘台的滚筒带动柔性脱荚齿逆时针旋转把豆荚摘掉,并抛入输送带输送到清选装置进行清选,完成菜用大豆的采摘。

1 自走式不对行菜用大豆联合收获机结构与工作原理

1.1 整机结构

自走式不对行菜用大豆摘荚机的结构如图1所示,主要由机车系统、采摘台、输送系统、清选系统和储运箱等组成。采摘台由液压升降机构、旋转滚筒和脱荚齿组成;仿形轮和旋转滚筒用液压系统控制调节高度,以便适用于不同的株高和地形;清选系统由滚轴筛、振动筛和风机组成。

收稿日期:2014-06-18
基金项目:大豆产业技术体系岗位专家基金(CARS-04-23);公益性行业(农业)科研专项基金(2013030114)。
第一作者简介:王显锋(1985-),男,硕士,主要从事菜用大豆收获机械化研究。E-mail:wangxianfeng689@163.com。
通讯作者:余永昌(1955-),男,教授,博导,主要从事菜用大豆收获机械化研究。E-mail:hnyych@163.com。



1. 仿形轮; 2. 捡拾装置; 3. 采摘滚筒; 4. 高度调节系统; 5. 驾驶室; 6. 输送装置; 7. 滚轴筛; 8. 风机; 9. 储运箱; 10. 动力系统。
1. Copying wheel; 2. Collecting device; 3. picking roller; 4. Height adjustment system bridge; 5. Cab; 6. Conveying equipment; 7. Roller sieve; 8. Fan; 10. Power system.

图 1 自走式菜用大豆摘荚机结构图
Fig. 1 Body layout of movable soybean harvester

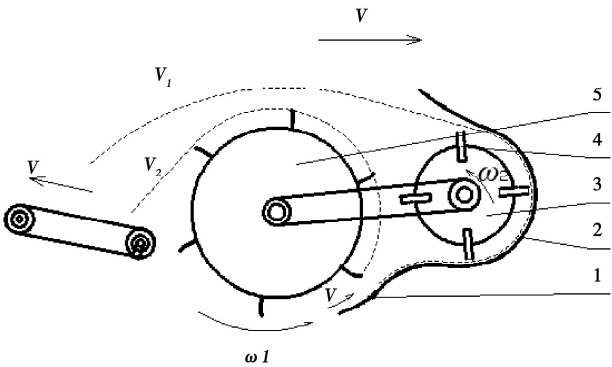
其工作原理为,机车在向右行驶的同时,采摘滚筒 2 逆时针旋转,带动柔性弹齿从下向上挑过整棵植株,将豆荚和细小枝叶从植株摘下。随着滚筒的旋转,摘下的豆荚和枝叶在弹齿的带动作用下向后运动,最后被甩到后面的输送带 6 上,并运送到滚动筛 7 上被除去大杂,之后在风机 8 和振动筛的共同作用下除去小杂,最后进入储运箱,从而实现豆荚的采摘和清选。

该机结构紧凑,体积小,受地理和种植模式限制小,适合我国国情;同时采用了二段式输送带,合理布置了输送带的位置,视野开阔,消除了现有机型侧面安装输送带造成的安全隐患,也更符合人体工程学,提高了驾驶员的舒适度。

1.2 采摘台的设计

1.2.1 采摘台整体结构及其工作原理 由于菜用大豆的植株密度大、豆荚鲜嫩、体积较小、分布集中,采摘后一般需要冷藏运输或直接出售,品质要求高,故采摘时尤其需要考虑其高脱净率,对其机械损伤要尽可能小,保证其低损失率和加工后不易变质,为此,吸收了梳齿式高采摘率和柔性脱荚齿无损伤的优点,采摘台由采摘滚筒和捡拾机构两部分组成。

工作时,菜用大豆摘荚机以速度 V 向右行驶,采摘滚筒 5 和捡拾器滚筒 3 均为逆时针旋转,且 $\omega_2 > \omega_1$ 。首先,在捡拾器挡板 1 的作用下,大豆植株向右侧卧倒,便于采摘滚筒采摘;在采摘滚筒的旋转作用下,柔性脱荚齿以从下往上挑的方式把豆荚摘掉,一部分豆荚被摘荚齿携带到一级传送带上,其运动轨迹为 v_2 ,另一部分豆荚则在离心力作用下向前抛出,该部分豆荚则随捡拾器挡板进入捡拾器内部,在捡拾器滚筒的旋转作用下,被抛送到采摘滚筒上方,最终落到一级传送带上,其运动轨迹为 v_1 ;最终,豆荚被一级传送带传送到二级传送带上,完成摘荚工作。



1. 捡拾器挡板; 2. 豆荚轨迹; 3. 捡拾器滚筒; 4. 捡拾器毛刷; 5. 采摘滚筒。
1. Pickup panel; 2. Pod track; 3. Pickup roller; 4. Pickup brush; 5. Pick roller.

图 2 采摘台结构示意图

Fig. 2 Structure diagram of the picking-mechanism

1.2.2 采摘滚筒的设计 采摘滚筒主要由旋转滚筒和柔性脱荚齿组成,脱荚齿在旋转滚筒上沿轴向排列为 N 排,并交错周布于旋转滚筒上,如图 3 所示。

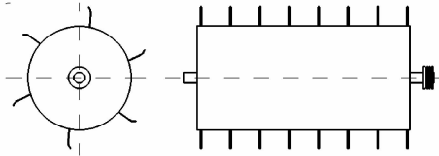


图 3 采摘滚筒结构示意图

Fig. 3 Structure diagram of picking drum

(1) 滚筒直径:据统计,豆荚植株高度 h_1 为 25 ~ 63 cm,取最高值 63 cm,底荚高度 h_2 为 5.4 ~ 20 cm,取最低值 5.4 cm^[12-14],即从底荚到顶端的长度 $l = h_1 - h_2 = 57.6$ cm,故初设滚筒直径 400 mm,安装脱荚齿后直径为 700 mm。

(2) 旋转滚筒上摘荚齿排数的确定:菜用大豆摘荚机工作状态时,设工作行驶速度 $V = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,

采摘滚筒转速 $\omega = 150 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 建立图 5 所示直角坐标系。

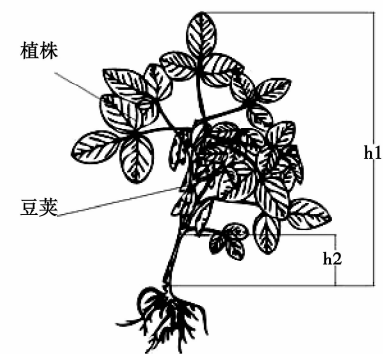


图 4 大豆植株尺寸
Fig. 4 Measurement of green soybean plant

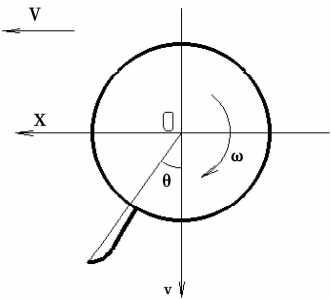


图 5 摘荚齿的旋转运动示意图
Fig. 5 The movement diagram of picking-tooth's rotation

则弹齿顶端位移方程为:

$$x = (R + L) \cos \alpha + vt \tag{1}$$

$$y = (R + L) \sin \alpha \tag{2}$$

$$\alpha = \omega t \tag{3}$$

又菜用大豆豆荚呈集聚性生长,其直径约为 8 cm,需要弹齿经过 n 次采摘完毕,即采摘一棵菜用大豆所用时间 t 内,机器水平位移

$$s = 0.08 \text{ m} \tag{4}$$

则时间

$$t = s/v \tag{5}$$

又滚筒转过的角度为

$$\theta = \omega t \tag{6}$$

滚筒上弹齿的排数

$$N = n * 2\pi/\theta \tag{7}$$

故 采摘滚筒上弹齿的排数

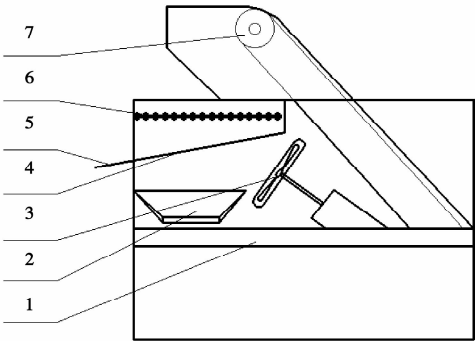
$$N = n * 2\pi v/\omega s = 5n \tag{8}$$

并由此得出,弹齿的排数与速度 v 、采摘一棵植株需要的弹齿经过次数 n 均成正比关系, $4 \geq n \geq 1$, 若取 $n = 2$, 则采摘滚筒上弹齿的排数为 $N = 10$ 。

1.3 清选系统的设计

清选系统(图 6)主要由滚轴筛、风机和振动筛等三部分组成。

传统的清选系统的类型有气流式、筛子式、气流筛子组合式,筛子的类型有编织筛、冲孔筛和鱼眼筛。而菜用大豆豆荚有绒毛、水分大,故豆荚之间、豆荚与金属之间摩擦力都较普通物料大得多,



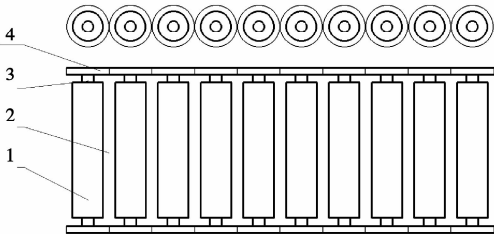
1. 机架; 2. 重杂出口; 3. 风机; 4. 振动筛; 5. 豆荚出口; 6. 滚轴筛; 7. 输送带及料斗。
1. Body frame; 2. Heavy impurities export; 3. Fan; 4. Vibrating screen; 5. Pod export; 6. Roller screen; 7. Conveyor belt and hopper.

图 6 清选机构示意图

Fig. 6 Structure diagram of cleaning-mechanism

同时在采摘豆荚时会夹杂有茎叶和杂草,与豆荚掺杂在一起,也加大了清杂难度,用传统的清选装置效果普遍不好。

为此,首先要将带有杂质的物料分开,并把茎叶和杂草等大杂清理出去,才能近似满足传统清选装置的工作条件。设计了滚轴筛(图 7),即一排摩擦力很小的光轴,光轴与光轴表面之间的距离略大于豆荚的厚度,初设为 11 mm,在齿轮的带动下,落在上面的物料及杂质向后运动,而豆荚也被分散开,从光轴之间的缝隙掉落到下面的振动筛上,而较大的茎叶和杂草则一直向后滚动,掉落到田间。



1. 滚轴筛轴; 2. 滚轴筛孔; 3. 传动轴; 4. 传动齿轮。
1. Axis of roller sieve; 2. Hole of roller sieve; 3. The driving shaft; 4. The driving gear.

图 7 滚轴筛结构示意图

Fig. 7 Structure diagram of roller sieve

经过滚轴筛清选过的物料在掉落的过程中,受到风力清选系统的二次清杂,主要清理的杂质有体积较小的叶片和杂草。

经过二次清选,掉落到振动筛上的剩余物料有豆荚、小石块等,在振动筛的作用下,小石块落下排出到田间,豆荚则沿倾斜筛面滑落到后面的储运箱中,完成豆荚的清选。

1.4 自走式不对行菜用大豆摘荚机传动系统设计

菜用大豆摘荚机的主要传动路线如图 8 所示,先由机车系统把动力传到动力输入带轮,然后传递到输送带、摘荚机构、液压系统和清选系统四个部分,再分别传动到各系统的主要工作主轴上。

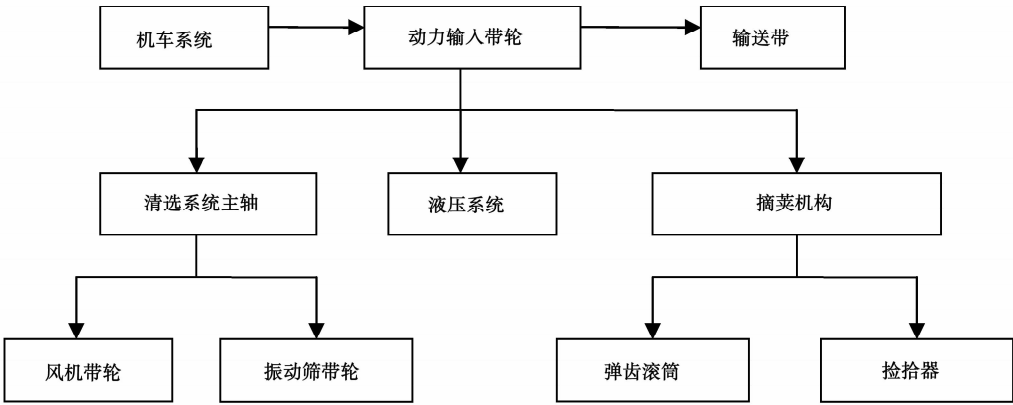


图 8 传动路线
Fig. 8 Schematic of transmission route

2 结 论

结合现有台式菜用大豆的工作原理,设计了能够适应我国农业机械化要求的自走式菜用大豆摘荚机,为了达到低损失率、作业安全和清选效果好的目的,进行了主要摘荚机构的改进设计。

首先采用了梳齿滚筒式采摘原理,在摘荚齿上添加了具有弹性和粘性特性的橡胶套,并增加了捡拾器,将提高摘净率,降低豆荚损伤程度和掉荚率,可使豆荚收获的质量得到改善;其次是对整机结构进行了优化,使其结构紧凑,体积小,以满足我国地理条件复杂和种植模式多样化需求;采用了二段式输送带,合理布置了输送带的位置,视野开阔,将消除现有机型侧置输送带造成的安全隐患,也更符合人体工程学,提高驾驶员的舒适度;最后改进设计了滚轴筛及其与传统清选系统的组合,将大幅度地提高菜用大豆荚的清选效果。

改进设计后的菜用大豆收获机械整体机构更为紧凑,作业质量将会有所提高,并探索性的讨论了摘荚的原理及过程,对更好的促进不同类型的摘荚机械设计完善也有一定的参考意义。

参考文献

[1] 盖钧镒,王明军,陈长之. 中国毛豆生产的历史渊源与发展[J]. 大豆科学,2002,21(1):7-13. (Gai J Y, Wang M J, Chen C Z. Historical origin and development of Maodou production in China[J]. Soybean Science,2002,21(1):7-13.)
[2] Young G, Mebrahtu T. Acceptability of green soybeans as a vegetable entity[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2000, 55: 323-333.
[3] 陈新,顾和平,易金鑫,等. 有机毛豆高产栽培技术[J]. 江苏农业科学,2008(5):170-172. (Chen X, Gu H P, Yi J X, et al. Organic soybean high yield cultivation techniques[J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2008(5):170-172.)
[4] 陆晓民. 五种植物生长调节剂对早熟毛豆产量、品质及某些生理特性的影响[J]. 作物杂志,2005(4):23-25. (Lu X M. Influence on yield, quality and some physiological character of five kinds of plant growth regulator to the early-maturing soybean [J].

Crops, 2005(4):23-25.)
[5] 武天龙,汤楠,赵则胜,等. 菜用大豆粒荚选择标准的研究[J]. 大豆科学,2000,19(2):184-188. (Wu T L, Tang N, Zhao Z S, et al. Study on selective standard of seed pods of vegetable soybean[J]. Soybean Science,2000,19(2):184-188.)
[6] 秦广明,肖宏儒,宋志禹. 5TD60 型青大豆脱荚机设计与试验[J]. 中国农机化,2011(5):80-83. (Qin G M, Xiao H R, Song Z Y. Design and experiment of 5TD60 green soybean huller [J]. Chinese Agricultural Mechanization,2011(5):80-83.)
[7] 秦广明,宋志禹,肖宏儒. 5TD60 型青大豆脱荚机性能试验研究[J]. 农业装备技术,2011,37(5):25-26. (Qin G M, Song Z Y, Xiao H R. Experiment research on performance of 5TD60 green soybean huller [J]. Agricultural Equipment & Technology, 2011,37(5):25-26.)
[8] 丁志欣,杨宛章,靳范. 辣椒收获机弹齿式采摘台的设计与分析[J]. 新疆农机化, 2010(6):23-26. (Ding Z X, Yang W Z, Jin F. Design and analysis on spring-tooth picking device of pepper harvester [J]. Xinjiang Aagricultural Mechanization, 2010 (6):23-26.)
[9] 孙国生. 农机农艺融合破解辣椒收获机技术难点[J]. 农业工程,2012,2(4):7-8. (Sun G S. Break through technical difficulties of pepper harvester by fusing agricultural machinery and agromomic[J]. Agricultural Engineering, 2012,2(4):7-8.)
[10] 刘晓飞,陈永成,秦新燕,等. 4LS-1.6 型线辣椒收获机的研制[J]. 农机化研究,2012,34(1):135-138. (Liu X F,Chen Y C, Qin X Y, et al. The development of chili pepper harvester of the type of 4LS-1.6 [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012,34(1):135-138.)
[11] 孙国生. 4JZ-3600/2600 型自走式辣椒收获机的研制[J]. 农业工程,2012,2(3):69-71. (Sun G S. Design of 4JZ-3600/2600 type movable pepper harvester [J]. Agricultural Engineering, 2012, 2(3): 69-71.)
[12] Brian A K, James R C. Within-row spacing effects on traits of importance to mechanical harvest in paprika-type peppers[J]. Scientia Horticulturae 1997,69:31-39.
[13] 游美红,丁永电,谢加春. 江西省万载县有机毛豆生产技术研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(5):1344-1345. (You M H, Ding Y D, Xie J C, et al. Technical research on organic green soybean in Jiangxi province Wanzai Country[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences. 2007,35(5):1344-1345.)
[14] Mbuvu S W, Litchfield J B. Mechanical shelling and combine harvesting of green soybeans[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1994,10(3):353-355.