

引用格式:

张文韬, 吴明亮, 谢伟, 罗海峰, 许月文. 4SYT-0.8 型自走式油菜苔收割机的设计[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(3): 376–380.

ZHANG W T, WU M L, XIE W, LUO H F, XU Y W. Design of 4SYT-0.8 self-propelled rape bolt harvester [J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2020, 46(3): 376–380.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



4SYT-0.8 型自走式油菜苔收割机的设计

张文韬¹, 吴明亮^{1,2*}, 谢伟^{1,2}, 罗海峰^{1,2}, 许月文¹

(1.湖南农业大学机电工程学院, 湖南 长沙 410128 ;2.湖南省现代农业装备工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

摘 要: 借鉴立式油菜割晒机的切割输送方式, 研制了 4SYT-0.8 型自走式油菜苔收割机。油菜苔收割机主要由行走底盘、立式切割台、割台升降装置等组成。确定了切割割台、割台升降装置的结构参数、切割割台与机具前进速度相匹配的横向输送链拨齿线速度、切割器切割线速度等作业参数, 作业时可根油菜苔切割高度要求调整切割器离地高度。试制样机在垄宽 60 cm、行距 40 cm、平均密度 39.82 万株/hm² 的单垄 2 行油菜菜苔种植地进行收割试验, 结果表明: 行驶速度为 0.8 m/s、横向输送链拨齿线速度为 1.12 m/s、切割器切割线速度为 0.96 m/s 时, 对油菜苔的漏割率为 0.8%, 输送损失率为 1.3%, 作业质量可满足要求。

关 键 词: 自走式油菜苔收割机; 切割作业参数; 漏割率; 输送损失率

中图分类号: S225.92 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2020)03-0376-05

Design of 4SYT-0.8 self-propelled rape bolt harvester

ZHANG Wentao¹, WU Mingliang^{1,2*}, XIE Wei^{1,2}, LUO Haifeng^{1,2}, XU Yuewen¹

(1.College of Electromechanical Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.Hunan Provincial Engineering Technology Research Center for Modern Agricultural Equipment, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: Based on the cutting and conveying method of the vertical rape windrower, a 4SYT-0.8 self-propelled rape bolt harvester was developed, which is mainly composed of chassis, vertical header and lifting device of header. The operation parameters such as linear velocity of the transverse conveying chain and the cutting linear velocity of the cutter were matched with the forward speed of the vertical header. The cutting height of the cutter could be adjusted according to the cutting height requirements of rape bolt. The test of prototype was carried out in 2 rows of each ridge rape bolt planting fields with the ridge width of 60 cm, the row spacing of 40 cm and the average planting density of 398 200 plants/hm². The results showed that the leakage cutting rate was 0.8% and the conveying loss rate was 1.3%, when the driving speed was 0.8 m/s, the linear velocity of the transverse conveying chain was 1.12 m/s and the cutting linear velocity of the cutter was 0.96 m/s. The operation quality could meet the operation requirements.

Keywords: self-propelled rape bolt harvester; cutting operating parameters; rate of cut leakage; rate of conveying loss

目前收获菜用油菜苔^[1-2]基本由人工完成, 劳动强度较大, 成本较高^[3-4], 生产效率较低。蔬菜采收机械的研究和开发主要集中在结球类叶类蔬菜和不结球类叶类蔬菜, 如日本、意大利研制的自走式甘

蓝联合收获机, 多采用先拔取后切根的方式, 一次完成甘蓝的拔取、切根以及去包叶^[5-6]; 浙江大学和甘肃农业大学开发的甘蓝收获机械^[7-8]均为单行一次性收获作业; 对于不结球类叶类蔬菜的机械化无

收稿日期: 2019-12-21

修回日期: 2020-02-19

基金项目: 湖南省科学技术厅重点项目(2019NK2151); 湖南省教育厅项目(19C0906); 湖南农业大学“双一流”建设项目(SYL20180218)

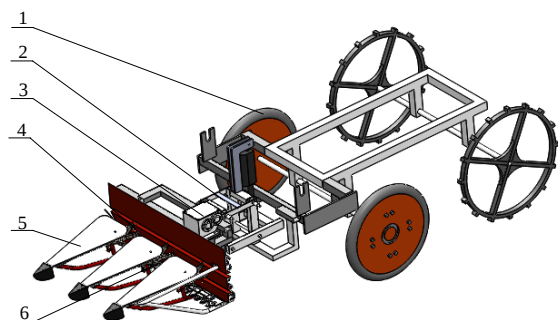
作者简介: 张文韬(1995—), 男, 湖南娄底人, 硕士研究生, 主要从事农业机械创新设计研究, 641458849@qq.com; *通信作者, 吴明亮, 博士, 教授, 主要从事农业机械创新设计研究, mlwu@hunau.edu.cn

序收获均为一次性、不带根收获^[9-10]。由于油菜菜苔的物料特性和剪切性能与其他叶菜类作物差异较大，现有的采收装备并不适合油菜菜苔机械化收获作业，笔者在吸收现有蔬菜采收机相关研究成果的基础上，研制了切割高度可调的 4SYT-0.8 型自走式油菜苔收割机。

1 油菜苔收割机的结构及工作原理

1.1 结构

根据南方油菜茼作种植的农艺要求，油菜苔种植垄面宽为 60 cm，沟深 25 cm，上沟宽 40 cm，下沟宽 15 cm。设计油菜苔收割机，结构如图 1 所示。主要由行走底盘、传动系统、立式割台、割台升降装置等组成。行走底盘选用高速插秧机行走系，立式割台通过割台升降装置挂接于行走底盘前方，主要由往复式切割器、分禾器和横向输送装置等组成，割台升降装置在电动推杆的驱动下使立式割台沿竖直方向垂直升降，调节切割高度。整机主要技术指标如表 1 所示。



1 分禾器；2 横向输送装置；3 往复式切割器；4 割台升降装置；5 传动系统；6 行走底盘。

图 1 4SYT-0.8 型自走式油菜苔收割机的结构

Fig.1 Structure of 4SYT-0.8 self-propelled rape bolt harvester

表 1 4SYT-0.8 型自走式油菜苔收割机主要技术参数

Table 1 Main technical indexes of 4SYT-0.8 self-propelled rape

bolt harvester

项目	参数
行走速度/(m·s ⁻¹)	≤ 4.5
配套动力/kW	13.2
往复式切割器型号	标准Ⅵ型
切割器离地高度调节范围/mm	100~300
割幅/mm	800
生产率/(hm ² ·h ⁻¹)	≤ 1.62

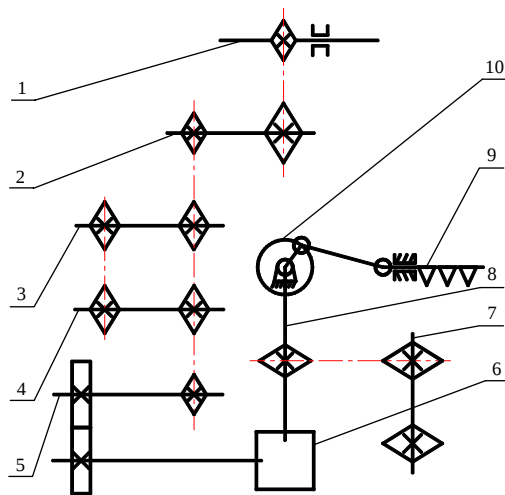
1.2 工作原理

行走底盘动力经过割台升降装置传递到立式割台上，分别驱动往复式切割器和横向输送装置中的上、下两排输送拨齿运动，横向输送拨齿再带动拨禾星轮旋转。工作时，油菜苔在拨禾星轮的扶持下被往复式切割器割断，并将割断的油菜苔推送至横向输送装置处，在其上下输送拨齿和弹性压杆共同作用下，自左向右横向输送并有序铺放于机具前进方向的右侧，最终完成对油菜苔的切割和横向输送。

2 关键部件的设计及参数确定

2.1 传动系统

传动系统的总体方案如图 2 所示。作业时，发动机输出轴动力通过链传动传递至过桥轴 I 上的链轮，并通过同轴链轮传递至割台升降装置的传动轴 II 上的链轮，经同轴链轮将动力传递至割台升降装置上的传动轴 III 上链轮，并经同轴链轮将动力传递至立式割台动力输入轴 IV 上的链轮，经同轴齿轮传动将动力输入至减速器，减速器输出轴 V 上一链轮带动横向输送传动轴 VI 旋转，进而驱动横向输送装置上、下输送拨齿自左向右运动。减速器输出轴 V 同时将动力传至曲柄滑块机构并驱动往复式切割器运动。



1 发动机输出轴；2 过桥轴 I；3 传动轴 II；4 传动轴 III；5 立式割台动力输入轴 IV；6 减速器；7 横向输送传动轴 VI；8 减速器输出轴 V；9 往复式切割器；10 曲柄滑块机构。

图 2 传动系统

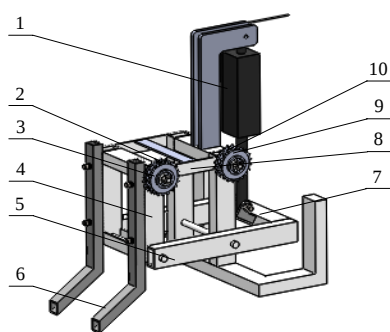
Fig.2 Transmission system

2.2 割台升降装置

油菜苔收割为多茬收获作业,在完成一茬收获作业后,留茬会继续生长,前后茬的割茬高度不同,需割台升降装置调节割台高度。

2.2.1 割台升降装置的结构和工作原理

割台升降装置结构如图 3 所示。主要包括平行四边形框架、链轮链条组合、电动推杆等部件。平行四边形框架包括上方的短连杆、下方的长连杆与立杆,短连杆与立杆铰接于上方 2 根固定心轴上,长连杆与立杆铰接于下方 2 根固定心轴上,短连杆和立杆以及长连杆和立杆均可绕固定心轴转动。链轮链条组合由 2 组同轴链轮构成,2 组同轴链轮分别安装于短连杆与立杆铰接点处的 2 根固定心轴上,右端同轴链轮中的外链轮与底盘动力相连,左端同轴链轮中的外链轮与立式割台动力相连,割台升降装置作业时,2 组同轴链轮始终同速转动,故在进行升降作业时,无需切断割台动力,操作方便。支撑杆与电动推杆底部铰接,工作时,通过电动推杆的伸缩带动长连杆绕其与立杆铰接点旋转,完成平行四边形框架的升降,进而驱动立式割台升降,升降过程中立式割台始终保持竖直状态,可避免因割台升降导致的割台角度变化引起的割茬不整齐。



1 电动推杆;2 立杆;3 长连杆;4 割台连接杆;
5 短连杆;6 支撑杆;7 外链轮 1;8 内链轮 1;9 外
链轮 2;10 内链轮 2。

图 3 割台升降装置的结构

Fig.3 Structure of lifting device of header

2.2.2 割台升降装置行程的确定

割台升降装置工作原理如图 4 所示。 $OCDE$ 为平行四边形机构,电动推杆由初始长度 L 伸长为 l ,驱动长连杆 BC 绕铰接点 O 旋转 $\angle BOB'$,根据平行四边形机构的特点,短连杆 DE 绕 E 点旋转相同角度 $\angle DED'$,立杆 CD 平行移动到 $C'D'$ 位置,立式割台由 F 点平行移动提升至 F' 点,提升高度为 h 。

$$h = \sin(\arccos \frac{l_1^2 + l_2^2 - l^2}{2l_1 \cdot l_2} - \arccos \frac{l_1^2 + l_2^2 - L^2}{2l_1 \cdot l_2}) \cdot l_0, \text{ 其中:}$$

线段 DE 长度记为 l_0 ,线段 OA 长度记为 l_1 ,线段 OB 与 OB' 长度相等,记为 l_2 。

根据农艺要求,割台割刀离地高度为 100~300 mm,计算出所需电动推杆总行程为 129.6 mm,因而选择总行程为 150 mm 的 LX700 型电动推杆。

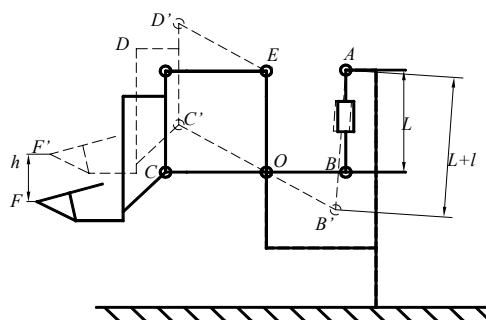


图 4 割台升降装置的工作原理

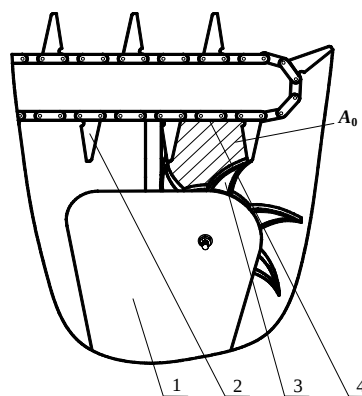
Fig.4 Working principle figure for the lifting device of header

2.3 立式割台

立式割台通过连接杆与割台升降装置刚性连接。油菜苔收割机的行走速度与往复式切割器切割速度的匹配,以及行走速度与横向输送链拨齿线速度的匹配,是保证油菜苔收割机顺利切割、输送不堵塞的重要前提。为此,需根据生产率确定机具行走速度,进而确定切割器切割线速度与横向输送链拨齿线速度。

2.3.1 横向输送链拨齿线速度的确定

立式割台工作时,相邻 2 个输送链齿及其接触的星轮拨齿与输送链之间形成待输送空腔 V_0 ,如图 5 所示,定义该输送空腔在水平面上的横断面积为有效输送面积,记为 A_0 。该空腔容纳着被割下的油菜苔,并由横向输送链拨齿将其往侧边输送。



1 分禾器;2 输送链齿;3 星轮齿;4 输送链。

图 5 输送空腔位置

Fig.5 Position for conveying space

机具单位时间 t 内作业面积 A 为割台割幅 B 与机器行走速度 v_1 的乘积, 即 $A=B \cdot v_1 \cdot t$ 。

设单位时间作业面积 A 与油菜苔茎秆聚积到待输送空间 V_0 后所占空间的水平横断面面积 A_1 的比值为油菜苔聚积系数 q , 则 $A_1=B \cdot v_1 \cdot t / q$ 。

输送链带动拨禾星轮转动时, 相同时间内拨禾星轮转过的总面积 A_2 是 2 个星轮齿间有效输送面积 A_0 的倍数, 即 $A_2=A_0 \cdot v_2 \cdot t / b$, 其中 b 为输送链上两相邻链齿间距, v_2 为横向输送链拨齿线速度。

为保证输送不堵塞, 割台拨禾星轮转动的总面积 A_2 应不小于收割的油菜苔聚积后的面积 A_1 , 同时, 设 λ 为输送速比, 即输送链上的输送线速度 v_2 与机器的行走速度 v_1 的比值, $\lambda=v_2/v_1$ 。

输送链齿与星轮齿啮合, 故输送链齿距与星轮齿距相等, 由行星轮尺寸得出输送链齿距 $b=125$ mm, 割幅 $B=0.8$ m, 聚积系数 q 与油菜苔的种植密度和油菜苔植株大小有关, 在长江中下游多熟制条件下, 10 月上旬油菜直播的最佳种植密度为 $3.0 \times 10^5 \sim 4.5 \times 10^5$ 株/hm²[11], 根据文献[12], 取油菜苔聚积系数 $q=25$, 计算可得 $\lambda \geq 0.52$ 。

根据文献[13], 拨禾星轮顺利拨动物料进行切割的条件为: $\lambda \cos \alpha \geq 1$, 其中 α 为拨禾星轮安装倾角。根据文献[14]和[15], 拨禾星轮的安装倾角以 20° 为宜, 可得 $\lambda \geq 1.06$; 根据《农业机械设计手册》[16], 输送速比为 $1.4 \sim 2.0$ 时, 输送速比越大, 对油菜苔的损伤越大, 故取 $\lambda=1.4$ 。选取行走底盘低速档作业, 前进速度 v_1 为 0.8 m/s, 计算得输送链线速度 $v_2=1.12$ m/s。

2.3.2 切割器线速度及曲柄转速的确定

往复式切割器工作时, 动刀的绝对运动是自身往复运动与随机具前进运动的合成, 动刀切割线速度与机具前进速度的比值刀机速比 $\beta=v_3/v_1$ 。其中 β 为刀机速比, v_3 为切割器切割线速度。

刀机速比大小由被割作物的种类、机器类型决定, 割晒机 β 取值 $1.0 \sim 1.2$ [16]。刀机速比越大, 重割率越大, 漏割率越小。重割现象只会增大机具功耗, 而漏割率过高将增大损失率, 降低作业质量, 故在推荐的刀机速比范围内宜取较大值(1.2), 计算得切割器线速度 v_3 为 0.96 m/s。

3 试验

2019 年 10 月, 在湖南农业大学耘园基地, 机械化条播种植‘湘油 1035’菜用油菜, 出苗后基本苗为 39.82 万株/hm², 垄面宽 60 cm, 单垄 2 行, 行距 40 cm。

为检测油菜苔收割机各作业参数配置的合理性及油菜苔切割与横向输送性能, 依据 JB/T 7733—2007《割晒机技术条件》和 DB/T 1106—2019《非结球叶类蔬菜机械收获作业技术规程》[17-18], 以漏割率、输送损失率为评价指标, 对菜苔收割机进行试验验证。试验时, 调整机具行驶速度为 0.8 m/s, 往复式切割器动刀片线速度为 0.9 m/s, 横向输送链拨齿线速度为 1.12 m/s。重复 5 次。整机作业过程中运转稳定, 输送无堵塞, 割茬整齐。

漏割率和输送损失率列于表 2。平均漏割率 0.8% , 平均输送损失率 1.3% , 说明作业质量可满足油菜苔收获作业要求。

表 2 割台切割油菜苔的漏割率和输送损失率

Table 2 Rate of cut leakage and rate of conveying loss of rape bolt harvesting

试验号	总株数	漏割数	输送失败数	漏割率/%	输送损失率/%
1	46	1	2	2.2	4.3
2	48	0	0	0.0	0.0
3	47	1	0	2.1	0.0
4	46	0	1	0.0	2.2
5	49	0	0	0.0	0.0
平均值				0.8	1.3

4 结论与讨论

基于油菜立式割晒机的切割与输送方式, 研制了集油菜苔分禾、切割与横向输送作业为一体的 4SYT-0.8 型自走式油菜苔收割机。

收割油菜菜苔试验表明, 当机具前进速度为 0.8 m/s、横向输送链拨齿线速度为 1.12 m/s、切割器线速度为 0.96 m/s 时, 漏割率仅为 0.8% , 输送损失率为 1.3% , 作业质量可满足油菜苔收获作业要求。

油菜苔茎叶柔嫩, 在机械化收获过程中对其造成的破损程度应是检验油菜苔收获的重要依据, 但由于现阶段缺乏破损评价指标相关标准, 本研究未将菜苔破损率作为试验评价指标。对油菜苔收获的相关破损的定量评价指标体系需要进一步研究确定, 以利油菜苔收获机械设计的进一步完善。

参考文献:

- [1] 官春云. 依托科技创新与服务加快油菜产业发展方式转变[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2010, 11(4): 1-3.
GUAN C Y. Relying on scientific and technological innovation and service to accelerate the transformation of development mode of rape industry [J]. Journal of Hunan Agricultural University(Social Sciences), 2010, 11(4): 1-3.
- [2] 刘新红, 邓力超, 曲亮, 等. 油菜的多用途利用及产业发展建议[J]. 湖南农业科学, 2018, 28(5): 100-103.
LIU X H, DENG L C, QU L, et al. Multipurpose utilization of rape and suggestions on development of rape industry[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2018, 28(5): 100-103.
- [3] 肖体琼, 崔思远, 陈永生, 等. 国内外蔬菜机械化生产技术体系研究综述[J]. 北方园艺, 2017, 39(9): 183-187.
XIAO T Q, CUI S Y, CHEN Y S, et al. Review of vegetable mechanized production technology system in China and abroad[J]. Northern Horticulture, 2017, 39(9): 183-187.
- [4] 陆海涛, 吕建强, 金伟, 等. 我国叶类蔬菜机械化收获技术的发展现状[J]. 农机化研究, 2018, 40(6): 261-268.
LU H T, LYU J Q, JIN W, et al. The current situation of the mechanized harvesting technology development of leaf vegetable in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2018, 40(6): 261-268.
- [5] HACHIYA M, AMANO T, YAMAGATA M, et al. Development and utilization of a new mechanized cabbage harvesting system for large fields[J]. Japan Agricultural Research Quarterly, 2004, 38(2): 97-103.
- [6] ASA-LIFT Inc. Cabbage harvester[EB/OL].[2011-03-20].<http://www.asa-lift.com/asaen/index.html>.
- [7] 杜冬冬, 费国强, 王俊, 等. 自走式甘蓝收获机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(14): 16-23.
DU D D, FEI G Q, WANG J, et al. Development and experiment of self-propelled cabbage harvester[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(14): 16-23.
- [8] 张绢, 王芬娥, 郭维俊, 等. 4YB- 型甘蓝联合收获机的设计[J]. 甘肃农业大学学报, 2012, 47(5): 143-147.
ZHANG J, WANG F E, GUO W J, et al. Research and design of 4YB- I cabbage harvester[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2012, 47(5): 143-147.
- [9] 高龙, 戈景刚, 孔德刚, 等. 小型智能叶菜类蔬菜收割机设计[J]. 农机化研究, 2016, 29(9): 147-150.
GAO L, GE J G, KONG D G, et al. Design of a small intelligent leafy vegetable harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 29(9): 147-150.
- [10] 刘东, 肖宏儒, 金月, 等. 基于 ANSYS 的鸡毛菜收获机割台部分振动模态分析[J]. 农机化研究, 2019, 41(10): 15-19.
LIU D, XIAO H R, JIN Y, et al. Vibration modal analysis of the header of chine little greens harvester based on ANSYS[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2019, 41(10): 15-19.
- [11] 刘士山, 张余红, 刘前禄, 等. 甘蓝型早熟油菜直播高产栽培的适宜施氮量和密度研究[J]. 作物研究, 2017, 31(5): 494-497.
LIU S S, ZHANG Y H, LIU Q L, et al. Effects of nitrogen applied rates and plant density on yield and nitrogen fertilizer use efficiency of direct-sowing early-mature rapeseed[J]. Crop Research, 2017, 31(5): 494-497.
- [12] 王修善, 刘大为, 李旭, 等. 4SY-2.0 型自走式油菜割晒机的设计与试验[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2016, 42(4): 445-453.
WANG X S, LIU D W, LI X, et al. Design and experiment of 4SY-2.0 self-propelled rape windrower[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2016, 42(4): 445-453.
- [13] 韩国军, 王晓梅, 廖冬梅. 星轮扶禾器扶禾能力的探讨[J]. 农机化研究, 1997, 19(2): 67-70.
HAN G J, WANG X M, LIAO D M. Discussion on the lifting ability of star wheel grain lifter[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 1997, 19(2): 67-70.
- [14] 马骥, 毛国伦. 宽幅立式割台采用被动式星轮扶禾器部件的试验研究[J]. 农业机械学报, 1980, 11(2): 76-86.
MA J, MAO G L. Research and test of large cutting-width vertical type reaper with star wheel lifter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural, 1980, 11(2): 76-86.
- [15] 福建省机械研究所. 带扶禾器立式割台设计与试验[J]. 粮油加工, 1976(8): 5-17.
Fujian Mechanical Research Institute. Design and test of vertical cutting table with grain lifter[J]. Cereals and Oils Processing, 1976(8): 5-17.
- [16] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[K]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences. Manual of Agricultural Machinery Design[K]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2007.
- [17] JB/T 7733—2007 割晒机技术条件[S].
JB/T 7733—2007 Technical Conditions of Windrowing [S].
- [18] DB36/T 1106—2019 非结球叶类蔬菜机械收获作业技术规程[S].
DB36/T 1106—2019 Technical Specification for Mechanical Harvesting of Non-Heading Leafy Vegetables[S].

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 吴志立