

插装式大豆小区播种机排种系统预充种清种机构的设计

黄珊珊,陈海涛,王业成

(东北农业大学 工程学院,黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要:为满足大豆小区育种播种机播种时不混种、换种便捷等作业要求,解决插装式排种系统所造成的空行程过大和清种不彻底的问题,设计了一种弧形齿条式预充种清种机构。通过理论分析确定了弧形齿条基本参数和首末齿的齿顶降低系数,应用 ADAMS 软件进行了齿轮与弧形齿条啮合仿真,仿真结果表明设计满足要求。以大豆品种绥农 26 为试验材料进行改进前后的排种系统性能对比试验,结果表明,改进后的插装式排种系统空行程距离缩小到 0.42 m 且能够在 3.33 s 内实现无混杂换种,满足设计要求,为系列大豆育种播种机的开发夯实了基础。

关键词:大豆育种;排种器;小区播种机;ADAMS

中图分类号:S223.2;S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2017.04.0626

Design on the Pre Filling Seed-clearing Institution of Insert-metering System for Soybean Sub-district Seeder

HUANG Shan-shan, CHEN Hai-tao, WANG Ye-cheng

(Engineering College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to satisfy the requirements of soybean sub-district seeding without hybrid and other convenient, solve the bigger idle running and incomplete seed-clearing, the pre filling seed-clearing institution form of curved arc for the insert-metering device was designed. The theoretical analysis was used to determine the basic parameters of the arc rack and the decreasing coefficient for the fore and aft-tooth addendum, and the results of the gear mesh with arc rack simulation based on ADAMS software showed that the design met the requirements. The soybean Suinong 26 was selected as experimental material, performance comparisons test results of the suction drum-type seed metering system before and after improvement showed that, the idle running of the improved insert-metering system was within 0.42 m and quickly insertion and extraction within 3.33 s to accomplish another without hybrid which met the design requirements, laid a solid foundation for the development of the series of soybean breeding seeder.

Keywords: Soybean breeding; Seed-metering device; Sub-district seeder; ADAMS

良种的培育与推广是农业增产的重要环节之一^[1],育种技术的发展对品种改良、良种繁育具有重要意义^[2]。我国大豆育种播种机的研究工作起步较晚,目前还远不能满足现代农业发展对大豆培育工作的需要^[3]。虽然国外育种机械产品技术已逐渐趋于成熟,但其购置费和维护费昂贵,且由于农艺的差异,无法满足国内大豆育种的需求^[4]。因此加速研发符合我国当下国情的大豆小区育种播种机具有十分重要的现实意义^[5]。

由于大豆育种试验中不仅所涉及的种子种类繁多、不得混杂,且需频繁换种,因此,排种系统的设计是大豆育种播种机设计工作的重中之重^[6]。本课题组前期研制的插装式大豆小区排种器安装拆卸快捷,其排种性能达到了育种作业农艺基本要求^[7],但在生产实践应用过程中发现其存在播种空行程过大和换种困难等问题,亟待解决。

本文针对上述插装式排种系统存在的问题,对其插装机构和预充种机构进行改进设计,旨在使其在插装到机架的过程中完成预充种,提起排种器箱体侧向倾倒完成清除种箱内剩余种子,从而实现既缩短播种空行程,又快速便捷彻底清种换种,满足小区育种机械化作业需求。

1 排种系统总体结构与作业原理

插装式大豆小区育种播种机排种系统总体结构如图 1 所示。主要由排种器箱体和配合安装在排种器定位罩上的把手、铰接轴、导套、前定位装置及预充种清种机构侧板上的弧形齿条、U 型座等部件组成。

在播种机进行下一播种区域作业前,育种工作人员通过把手放下装好种子的排种器箱体。在将其插装到 U 型座的过程中,利用弧形齿条式预充种

收稿日期:2017-03-07

基金项目:国家现代农业产业技术体系(nycytx-004)。

第一作者简介:黄珊珊(1992-),女,硕士,主要从事农业机械装备研究。E-mail:779533715@qq.com。

通讯作者:陈海涛(1962-),男,教授,博导,主要从事农业机械装备及生物质材料研究。E-mail:htchen@neau.edu.cn。

机构旋转箱体实现预充种;在一个播种区域作业时,利用机组通过小区间隔区域的时间内通过把手向上提起排种器总成,进行残余种子的清理,然后换上下一个小区要播种的品种,从而实现快速清种换种和预充种。

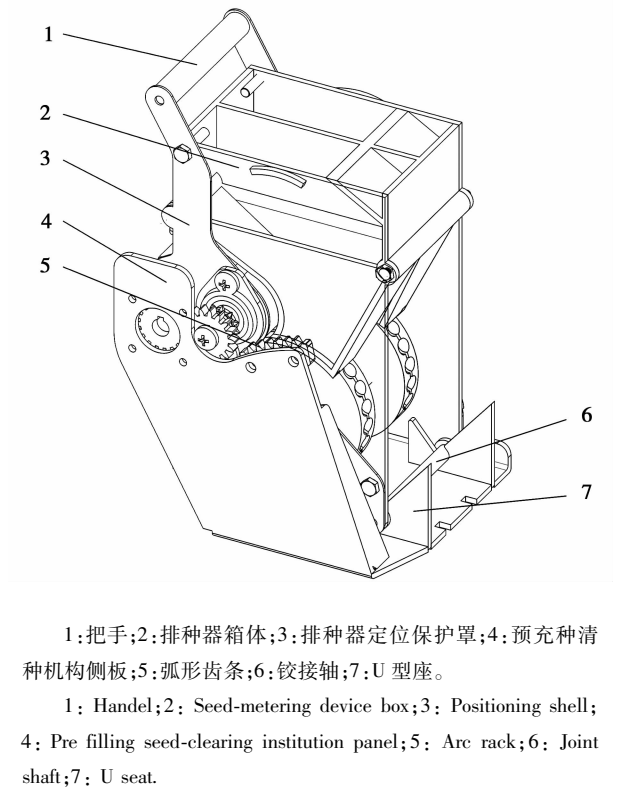


图 1 排种系统结构示意图

Fig. 1 Structure of seed-metering system

2 关键机构改进设计

2.1 插装机构

为使排种器与机架安装拆卸快捷,便于清种,排种器采用插装式结构,在排种器上装配有导套、前定位装置和铰接轴,在单体架上固定安装预充种清种板和 U 型座。正常工作状态时铰接轴与 U 型座以铰接形式配合,并依靠导套与上定位柱间的锁紧力、前定位装置和下定位柱间的锁紧力以及排种器箱体重力,保证排种器处于作业状态时传动稳定,齿轮啮合时不发生弹跳现象。

播种开始时,操作者通过把手将排种器箱体上的铰接轴放入到 U 型座内,形成铰链链接,然后向前下方压把手,使排种器箱体旋转,直至导套与上定位柱接触、前定位装置与下定位柱锁紧,排种器呈水平角度实现可播种作业状态。当播种结束时,操作者向后上方推把手,使排种器箱体绕铰接轴与 U 型座形成的铰链点转动,然后操作者向上提起把手,使排种器箱体脱离底座清除种箱内残留种子。

当将排种器总成放回原位时即可实施其它品种的播种作业(图 2)。

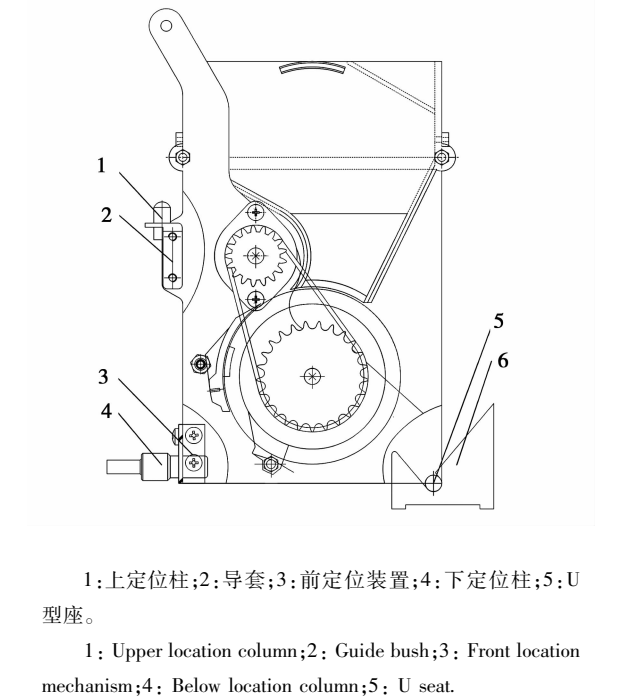


图 2 插装机构示意图

Fig. 2 Structure of insert-metering device

2.2 预充种机构

机械式排种器充种时,从种子进入型孔到种子从排种盘排出落入种沟的过程中,播种机一般会前进 1.0 ~ 1.5 m,这段距离为无种区域^[8]。大田播种作业时这段无种区域的影响问题不突出,但在小区育种试验中,无种区域就会严重影响试验的准确性^[9]。

为减小无种区域对育种精度的影响,在插装式排种系统中加设预充种装置,使其在排种器插装过程中完成预充种,提高育种精度。预充种的过程中应使护种板所在的窝眼轮区域布满种子,才能使下一播种区域内空行程距离缩小到 0.5 m 以内,达到满足育种要求的效果。

本设计中采用弧形齿条与清种齿轮啮合的方式来完成排种器的预充种^[10]。如图 3 所示,插装过程中使排种器箱体旋转,实现清种齿轮与固定在预充种清种板上的弧形齿条啮合,啮合过程中,清种齿轮带动同轴的清种链轮转动,清种链轮通过链传动带动排种链轮及窝眼轮转动,从而实现提前充种的目的。

2.2.1 弧形齿条齿数 护种板与窝眼轮的结构关系示意图如图 4 所示。本设计选择护种区弧度包角为 $\theta = 78^\circ$ 。

清种轴到排种轴的传动比由式(1)确定。

$$i=\frac{Z_2}{Z_1}$$

(1)

式中, Z_1 为清种链轮齿数, Z_2 为排种链轮齿数。

预充种过程窝眼轮需转过角度 θ , 则清种轴需转过角度 β 由式(2)确定。

$$\beta=\theta\cdot i$$

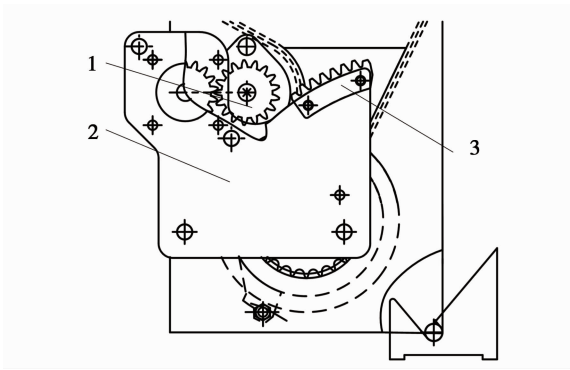
(2)

此时,清种齿轮需要转过的齿数即所设计的弧形齿条齿数由式(3)确定。

$$n_1=n_0\cdot\frac{\beta}{360}$$

(3)

式中, n_0 为清种齿轮全齿数。



1: 齿轮; 2: 预充种清种侧板; 3: 弧形齿条。
1: Gear; 2: Pre filling seed-clearing institution panel; 3: Arc rack.

图3 预充种结构示意图
Fig.3 Structure of pre filling device

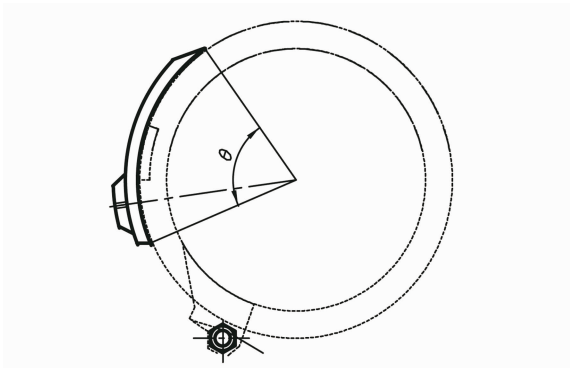


图4 窝眼轮护种板区域结构示意图
Fig.4 Structure of protecting seeds device

2.2.2 弧形齿条首末齿高度 在设计弧形齿条时还必须考虑清种齿轮在进入和脱离啮合时,是否会出现齿顶干涉现象^[11],若有干涉现象存在需采取降低弧形齿条首末齿的高度来避免干涉碰撞,以保证正确传动^[12]。预充种传动示意图如图5所示。

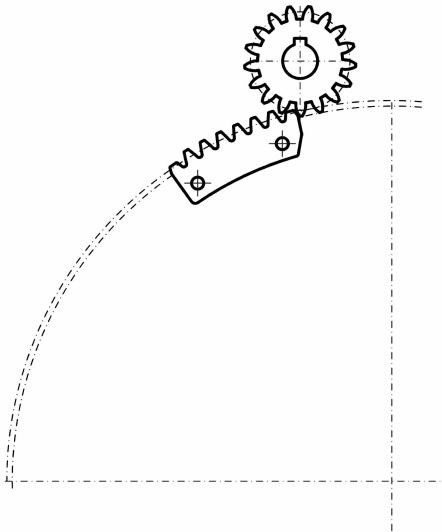


图5 预充种传动示意图
Fig.5 Transmission of pre filling device

由图6可知,清种齿轮的首齿齿顶必须通过弧形齿条的齿顶C点,否则弧形齿条与清种齿轮就产生了干涉现象,导致无法啮合^[13]。

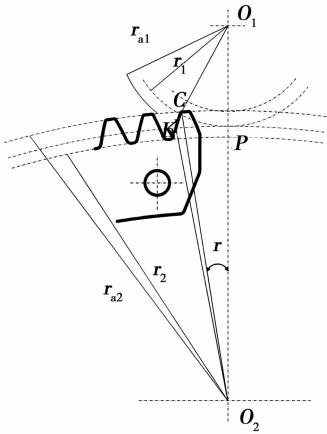


图6 计算首末齿齿顶降低系数示意图
Fig.6 Calculation of decreasing coefficient for the first and last tooth addendum

$$O_1O_2=\frac{m}{2}(z_2+z_1')$$

(4)

$$r_{a2}=\frac{m}{2}(z_2+h_a^*)$$

(5)

$$\widehat{PK}=\frac{5}{4}P=\frac{5}{4}\pi m$$

(6)

$$\angle PO_2K=\frac{5\pi}{2z_2}$$

(7)

$$\angle PO_2C=\gamma=\frac{5\pi}{2z_2}+inva_{a2}-inva$$

(8)

式中, z_1 为弧形齿条上不完全齿数; z_1' 为弧形齿条假想完整齿数; z_2 为清种齿轮齿数; h_a^* 为标准齿齿顶高系数; m 为齿轮模数。

$$r_{a2}' \leq O_1C = \frac{m}{2} \sqrt{(z_1' + z_2)^2 + (z_2 + 2h_a^*)^2 - 2(z_1' + z_2)(z_2 + 2h_a^*) \cos r}$$

(9)

故首末齿齿顶降低系数 σ 由式(10)确定。

$$\sigma = (r_{a2} - r_{a2}') / m$$

(10)

同样末齿可由式(4) - (9) 导出相同的关系公式。

因此, 经计算本设计弧形齿条其首末齿齿顶降低系数取 0.495, 此时其重合度 1.247, 满足连续传动和定位要求。

表 1 齿轮和弧形齿条参数

Table 1 Parameters of gear and arc rack

零件名称 Part name	齿数 Teeth number	模数 Module/mm	压力角 pressure angle /°	齿顶高系数 Height of addendum coefficient	齿顶系数 Addendum coefficient
齿轮 Gear	17	2.5	20	1	0.25
弧形齿条 Arc rack	8	2.5	20	1	0.25

将装配体保存并将其导入 ADAMS 仿真软件中, 在 ADAMS 环境下, 对模型中的齿轮和弧形齿条定义材料, 施加各种约束并定义啮合齿轮之间的碰撞力如图 7 所示。

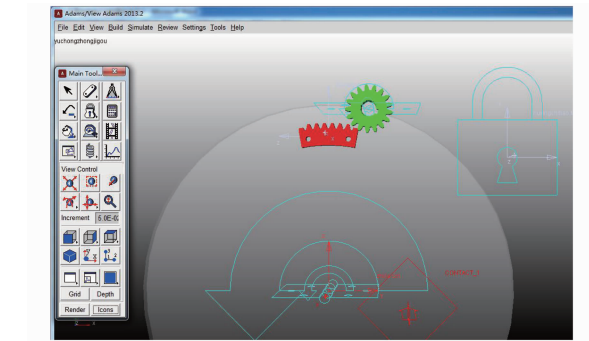


图 7 动力学仿真模型

Fig. 7 Dynamics simulation model

3.2 碰撞力的选择及定义

在 ADAMS 中计算接触力的方法有两种, 一种是补偿法; 另一种是冲击函数法。补偿法是通过确定惩罚系数和补偿系数这两个参数来计算碰撞力, 但由于这两个系数都需要通过大量的实验才能确定, 较难把握, 所以一般采用冲击函数法, 冲击函数法 IMPACT 函数的表达式为:

式(8)中, a 和 a_{a2} 分别为弧形齿条齿顶压力角和节圆压力角。为保证首齿能通过 C 点, 故首齿的顶圆半径应小于或等于 O_1C , 即满足式(9)。

3 动力学仿真与分析

3.1 动力学模型的建立

利用 Solidworks 对预充种机构中的齿轮、弧形齿条、支架进行几何建模并装配, 其中齿轮及弧形齿条的具体参数如表 1 所示。

$$F_{_impact} = \text{Max} \{ 0, k(q_0 - q)e - c \frac{dq}{dt} \text{STEP}(q, q_0 - d, 1, q_0, 0) \}$$

式中, q 为两个需要接触物体的实际距离; dq/dt 为两个物体随时间的变化率, 即速度; q_0 为两个物体要接触的参考距离; k 为刚度系数; e 为刚性力指数; c 为阻尼率; d 为阻尼率达到最大所要经过的距离; 如果 $q > q_0$, 则 $F_{_impact} = 0$; 如果 $q < q_0$, 则 $F_{_impact} = \text{Max} \{ 0, k(q_0 - q)e - c \cdot \text{STEP}(q, q_0 - d, 1, q_0, 0) \}$ 。

3.3 碰撞力 (impact) 中参数的确定

(1) 刚度系数, 旋转体物体的碰撞其刚度系数可根据式(11)来确定:

$$k = \frac{4}{3} R^{\frac{1}{2}} E$$

(11)

式中, $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$, R_1, R_2 分别为两碰撞物体碰撞处的半径, V_1, V_2 分别为两物体的泊松比, $\frac{1}{E} = \frac{1 - V_1^2}{E_1} + \frac{1 - V_2^2}{E_2}$, E_1, E_2 分别为两物体的弹性模量。

(2) 碰撞指数, 反映材料非线性程度, 金属与金属材料为 1.5。

(3) 最大阻尼系数, 表征碰撞能量的损失, 通常设为刚度系数的 0.1% ~ 1%。

(4) 切入深度, 表征最大阻尼时的侵入深度即随着侵入深度的增加, 阻尼力逐渐加大。

3.4 仿真结果与分析

利用 ADAMS 对仿真模型进行分析,可以得到仿真时间 $t = 0.5\text{ s}$, $\text{step} = 500$ 步,输入转速为

$5\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 时的齿轮弧形齿条动态啮合力曲线如图 8。

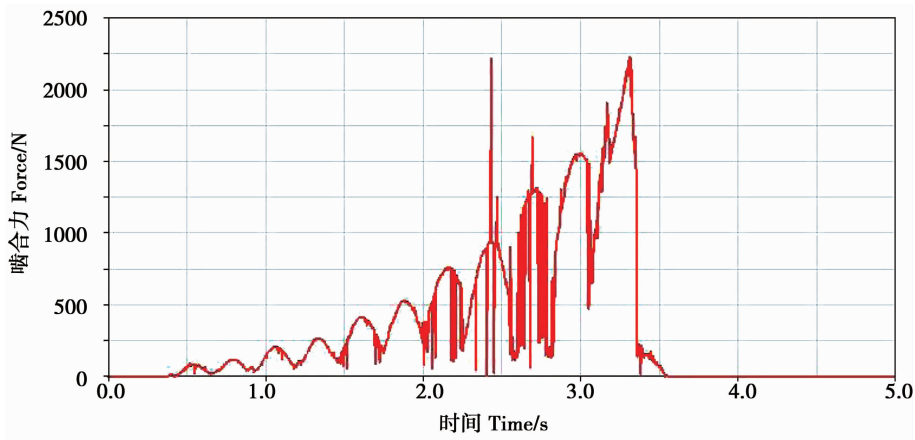


图 8 齿轮弧形齿条动态啮合力曲线

Fig. 8 Dynamic meshing force curve of gear and rack

由仿真结果分析可知,在齿轮开始进入啮合时,首齿齿高的降低并未使齿轮表现出较大的波动,在 0.5 s 以后为逐渐加速阶段,波动的幅度较平稳,整个啮合过程幅值为 $2\ 250\text{ N}$,满足齿轮疲劳强度的要求。这种仿真研究方式为齿轮-齿条机构的进一步优化设计、强度校核和降低振动噪声等方面的分析提供了一种新的方法。

4 插装式排种系统性能对比试验

4.1 材料

试验选用大豆品种绥农 26 作为试验材料,该品种百粒重 21.3 g ,种子净度为 99.0% ,种子三维尺寸平均值为:长度 7.7 mm ,宽度 7.1 mm ,厚度 6.2 mm 。

4.2 方法

在作业速度为 $5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 、双行株距为 8 cm 的相同试验条件下,对改进前后大豆育种播种机插装

式排种系统进行性能对比试验。

参照国家标准“GB-T 6973-2005 单粒(精密)播种机试验方法”确定空行程距离 S 和插装时间 T 作为排种器预充种效果和插装效率的性能评价指标。各试验评价指标的测定方法为:试验时,测定将装好种子的排种器插装到机架上的水平锁紧位置,达到能够实现正常作业所需要的时间为插装时间 T ;每次试验中均在排种器落下第一粒种子的位置进行标记,从小区的起始点到第一粒种子之间的距离即为空行程距离 S 。

试验分别选定 6 个改进前与 6 个改进后的排种器,每个排种器重复测试 3 次,以其均值作为实测值。

4.3 结果与分析

根据试验数据,计算出的性能对比试验结果如表 2 所示。

表 2 改进前后排种系统性能对比试验结果

Table 2 Performance comparison test results of the suction drum-type seed metering system before and after improvement

组别 Group	改进前 Before improvement		改进后 After improvement	
	空行程距离 S	插装时间 T	空行程距离 S	插装时间 T
	Idle running distance/m	Instrumentation time/s	Idle running distance/m	Instrumentation time/s
1	0.79	6.33	0.41	3.33
2	0.80	5.67	0.43	3.00
3	0.76	5.33	0.39	3.67
4	0.78	6.00	0.41	3.33
5	0.79	5.67	0.42	3.67
6	0.81	6.00	0.44	3.00
平均值 Average	0.79	5.83	0.42	3.33
变异系数 CV/%	2.2	6.0	4.2	8.9

由表 2 可见,与改进前的插装式排种系统性能相比:改进后的排种系统空行程距离为 0.42 m,较改进前缩短了 0.37 m;改进后的排种系统插装时间为 3.33 s,较改进前缩短了 2.5 s,效率提高了 42%。对比试验结果表明:改进后的插装式排种系统能够实现预充种使空行程距离缩小到 0.5 m 以内,提高了育种精度,同时插装便捷,能够实现快速清种、换种。

5 结论与讨论

(1)本文针对小区育种排种系统的排种空行程和清种不彻底等问题,对插装式排种系统进行了如下改进:改进了插装机构,加设了弧形齿条式预充种清种机构,通过理论分析和动力学仿真试验确定了关键部件结构参数,满足设计要求。

(2)以大豆品种绥农 26 作为试验材料,对改进前、后的排种系统进行了性能对比试验,试验结果表明,改进后的排种系统插装时间仅需要 3.33 s,插装便捷从而能够实现快速清种、换种,空行程距离缩短为 0.42 m,变异系数为 4.2%,提高了育种小区的整齐性,满足小区育种的农艺要求。

参考文献

[1] 连政国,王建刚,杨兆慧,等. 小区育种机械化在中国的发展[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 140-144. (Lian Z G, Wang J G, Yang Z H, et al. Breeding mechanization development in China[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(10): 140-144.)

[2] 刘曙光,尚书旗,杨然兵,等. 小区播种机的发展分析[J]. 农机化研究, 2011(3): 237-241. (Liu S G, Shang S Q, Yang R B, et al. Analysis of plot seeder development[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011(3): 237-241.)

[3] 姜峰,陈海涛,王业成. 小区育种插装式排种器的设计[J]. 农业工程学报, 2010, 26(增刊1): 9-12. (Jiang F, Chen H T, Wang Y C. Design of insert-metering device for sub-district breeding seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(S1): 9-12.)

[4] 盛江源. 试验区用播种机排种器的研究[J]. 吉林农业大学学报, 1986, 8(4): 90-95. (Sheng J Y. Study on the metering device of seeder forexperimental area[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1986, 8(4): 90-95.)

[5] 盖钧镒,崔章林,邱家驹. 大豆育种研究与发展[J]. 大豆通报, 1995(1): 1-3. (Gai J Y, Cui Z L, Qiu J X. Research and development on soybean breeding[J]. Soybean Science, 1995(1): 1-3.)

[6] 杨然兵,尚书旗,郑月男. 新西兰田间育种机械化播种技术研究与分析[J]. 农业机械学报, 2010, 21(9): 96-97. (Yang R B, Shang S Q, Zheng Y N. Research and analysis on the breeding mechanization planting field technology of New Zealand[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2010, 21(9): 96-97.)

[7] 赵宇,陈海涛,王业成,等. 垄上双行插装式排种器性能试验研究初报[J]. 大豆科学, 2013, 32(1): 98-101. (Zhao Y, Chen H T, Wang Y C, et al. Preliminary study on the performance of insert-metering sub-district seeder[J]. Soybean Science, 2013, 32(1): 98-101.)

[8] 孙齐磊,张晓辉,牟宗桂. 排种器的机理及影响因素的研究[J]. 农机化研究, 2002(3): 40-41. (Sun Q L, Zhang X H, Mou Z G. Study on the theory of the metering mechanism and the influ-ence factors[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2002(3): 40-41.)

[9] 孙志礼. 机械设计[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2000. (Sun Z L. Mechanical design[M]. Shenyang: Northeastern University Publisher, 2000.)

[10] 孙恒,陈作模. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. (Sun H, Chen Z M. Principle of machinery[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.)

[11] 龙凯,程颖. 齿轮啮合力仿真计算的参数选取研究[J]. 计算机仿真, 2002, 19(6): 87-91. (Long K, Cheng Y. The parameter selection of simulation calculation of gear meshing force[J]. Computer Simulation, 2002, 19(6): 87-91.)

[12] 厉海祥. 点线啮合齿轮传动[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011. (Li H X. Dotted line meshing gear transmission[M]. Beijing: Machine Industry Press, 2011.)

[13] 李润方,王建军. 齿轮系统动力学[M]. 北京: 科学出版社, 1997. (Li R F, Wang J J. Gear system dynamic [M]. Beijing: Science Press, 1997.)