

冬小麦断根铲最佳结构参数试验

吕钊钦, 李汝莘, 尹克容, 赵冉

(山东农业大学机电学院, 泰安 271018)

摘要: 机械断根技术是冬小麦高产栽培的重要配套措施。断根铲是小麦机械断根的关键工作部件, 结构参数设计是否合理, 决定了小麦机械断根效果和断根作业质量。通过对断根铲结构参数的试验和分析, 提出了断根铲的断根机理, 对断根铲不同结构参数的断根效果和作业质量进行了试验研究, 得到了符合小麦断根要求的最佳结构参数。结果表明: 断根铲的翼张角 2γ 增大, 滑切作用降低, 杂草缠绕、堵塞增加; 切土角 β_0 越小, 断根能力越强; 碎土角 β 对小麦断根伤根起辅助作用, 入土角 α 和断根铲幅宽 B 越大, 断根量越大, 但翻土、损伤麦苗、地表不平也随之加重。断根铲合理的结构参数为: $\gamma=45^\circ$, $\beta=12^\circ$, $\beta_0=18^\circ$, $\alpha=8.5^\circ$, $B=8\text{ cm}$ 。研究结果为小麦断根机械的设计提供了依据。

关键词: 铲, 结构, 机理, 机械断根, 小麦

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.08.015

中图分类号: S223.24

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-8-0083-05

吕钊钦, 李汝莘, 尹克容, 等. 冬小麦断根铲最佳结构参数试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 83—87.

Lü Zhaoqin, Li Ruxin, Yin Kerong, et al. Experiment on the best structure parameters of root-cutting shovel for winter wheat[J].

Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 83—87. (in Chinese with English abstract)

0 引言

中国工程院院士余松烈教授等研究发现冬小麦移栽后产量明显增加, 进一步研究表明机械断根技术是冬小麦精播高产栽培的重要配套措施^[1-6]。断根铲是小麦断根机械的关键工作部件, 结构参数设计是否合理, 决定了小麦机械的断根效果和断根质量。小麦断根铲为一被切割的三棱楔, 其结构参数主要有: 翼张角 2γ 、刃角 i 、隙角 ε 、切土角 β_0 、碎土角 β 、入土角 α 、幅宽 B 、铲翼宽 b 、铲翼缘高 h 等。这些参数对小麦断根的作业质量和断根效果有着怎样的影响, 取什么样的值合适, 有关这方面的研究尚未见报道。普通中耕铲是针对玉米、棉花等大行距、浅松土的中耕作业要求而设计的, 不适应小麦机械断根的技术要求, 试验发现使用普通中耕铲断根时翻土严重、大量土层压在麦苗上, 严重影响麦苗的正常生长; 土层混乱、跑墒严重; 小麦行距窄, 护苗带小, 造成麦苗铲伤、损伤严重等问题^[7-17]。

本文根据小麦机械断根的农艺要求, 采用农机农艺相结合的方法, 通过试验对断根铲的工作参数进行了优化设计, 研究设计出适合小麦断根要求的工作部件, 为小麦断根机械的设计提供了依据。

1 小麦断根对断根铲的要求

1) 小麦行间作业, 切断或损伤小麦根系 (主要是次生根), 断根伤根尽可能多;

2) 疏松土壤, 不乱土层, 松土后土壤弥合好, 地表平整, 利于保墒;

3) 松土而不翻土, 断根后土层不压伤麦苗, 在断根的同时能除掉杂草但不被杂草缠结;

4) 小麦断根深度为 10~12 cm。

2 断根铲断根机理

断根铲由锄铲和铲柄组成, 是小麦机械断根的关键工作部件。经过试验和理论分析, 提出了断根铲的断根机理: 第一, 铲刃滑切断根。锄铲铲刃对小麦根系直接进行滑切作用, 切断小麦根系完成断根作业; 第二, 土壤变形、位移和碎土断根。断根作业时, 锄铲对土壤产生刃切、劈裂、变形和碎土作用, 土壤便发生了位移, 由于不同部位的土壤变形和位移是不同的, 对小麦根系产生拉力, 当该拉力大于小麦根系的抗拉强度时, 小麦根系就会被拉断而实现断根作业。第三, 铲柄撕拉断根。铲柄通过土壤时, 在与断根铲运动方向相垂直的方向直接撕裂、拉断小麦根系, 从而实现小麦断根作业。

3 断根铲结构参数分析

3.1 翼张角

沿断根机前进方向, 断根铲两个翼刃在水平面内投影的夹角 2γ 叫翼张角。断根铲进行断根作业时, 断根铲刃受力如图 1 所示, 其中, R 是小麦根系阻力, F 是小麦根系与刃口间的摩擦力。

断根铲刃对小麦根系进行切割时, 只有当小麦根系阻力 R 沿刃口的分力 T 大于小麦根系与刃口间的摩擦力 F 时, 小麦根才能沿刃口向后滑移, 即 $T > F$, 由图 1 得: $R\cos\gamma > R\sin\gamma\tan\varphi$, 即 $\tan(90^\circ - \gamma) > \tan\varphi$, 由此得

$$\gamma < 90^\circ - \varphi \quad (1)$$

收稿日期: 2008-10-27 修订日期: 2009-04-10

基金项目: 山东农业大学青年基金资助项目 (03023431)

作者简介: 吕钊钦, 博士, 教授, 主要从事农业机械设计及理论研究。泰安市岱宗大街 61 号 山东农业大学机电工程学院, 271018。

Email: lzqsdau2003@126.com

式中 ϕ ——杂草对铲刃的摩擦角。

翼张角过小, 易使小麦根、草滑走, 断根作业效果变差; 翼张角过大, 滑切作用减小, 易被杂草堵塞, 影响断根作业的稳定性, 并且断根阻力增加, 功率消耗和燃油消耗增加, 生产成本增加, 经济效益下降。

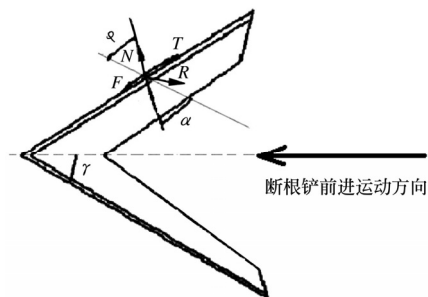


图1 断根铲刃受力简图

Fig.1 Diagram of force to blade of a root-cut hoe

3.2 碎土角

在与断根铲刃口垂直的截面内, 铲翼上表面与水平面间的夹角 β 叫碎土角。碎土角对小麦断根起辅助作用。 β 选取原则是在不翻土的前提下尽量取大值, 以保证尽可能多地断根。碎土角一般取值范围 $\beta=3^\circ\sim 15^\circ$ 。

3.3 入土角

入土角 α 为断根锄铲工作面与水平面之间的夹角。入土角的大小对断根数量和质量有重要影响作用。入土角过小, 断根作业不稳定; 入土角过大时, 土壤侧向移动增加, 土层抬起过高, 导致翻土、地表不平, 既压伤麦苗, 又不利于保墒, 同时, 增加了土壤阻力。实际上, 入土角综合反映了翼张角 2γ 和碎土角对断根质量的影响, 它由翼张角 2γ 、碎土角 β 的大小来决定

$$\tan\alpha = \tan\beta \sin\gamma \quad (2)$$

3.4 切土角

在与断根铲刃口垂直的截面内, 铲翼刃与水平面所形成的夹角叫切土角 β_0 。断根铲切断小麦根系与杂草的能力主要取决于切土角 β_0 、刃口锋利程度和翼张角 2γ 的大小。 β_0 值越小, 其切草能力越强。在保证铲刃强度的前提下, 切土角 β_0 宜取小值。切土角 β_0 等于刃角 i 与入土隙角 ε 之和。即

$$\beta_0 = i + \varepsilon \quad (3)$$

式中 i ——刃角, $i=10^\circ$; ε ——入土隙角, $\varepsilon=8^\circ$ 。由此得出 $\beta_0=18^\circ$ 。

3.5 铲翼宽度

断根作业时, 铲翼宽度 b_1 和碎土角 β 影响碎土程度和土壤的位移。为避免土壤位移过大而造成土层混乱和翻土, 根据试验, 取 $b_1=15\text{ mm}$ 。

3.6 断根铲幅宽

断根铲幅宽对阻力的影响很大, 随着幅宽的增大, 则阻力明显增大。减小幅宽, 有利于减小阻力, 但幅宽又必须满足小麦断根的农艺要求, 根据断根机理的分析可知, 断根土壤变形区域的大小对小麦断根与伤根程度有较大影响。

断根土壤变形区域与土壤类型、断根铲幅宽、断根

深度、断根铲入土角等因素有关, 断根铲幅宽与土壤变形区域界限的关系式

$$B = b - \frac{2h \tan \frac{\theta}{2}}{\cos(\phi + \alpha)} \quad (4)$$

式中: b ——土壤变形区域的宽度, cm; B ——断根铲宽度, cm; h ——断根深度, cm; ϕ ——土壤对断根铲倒摩擦角, 采用 25° ; θ ——土壤剪切角, 采用 50° 。

根据断根作业的农艺要求, 断根铲宽度 B 的数值应保证 $b=15\sim 20\text{ cm}$ 。合理数值应通过试验分析来确定。

4 断根铲结构参数的试验与优化

从上述分析可以看出, 在断根铲参数中刃角、隙角、切土角、铲翼宽度易于确定, 而翼张角、碎土角、入土角、幅宽对断根铲作业质量和效果影响较大, 必须通过试验进行优化。

4.1 试验条件

机械断根试验于山东农业大学实验站进行。供试大田为中性壤土, 供试品种为济南 17, 小麦种植行距为 $20\text{ cm}\times 20\text{ cm}$, 试验小区面积为 $2.4\text{ m}\times 25\text{ m}$, 冬前断根, 每个处理重复 3 次, 断根后, 挖土壤剖面于 $0\sim 60\text{ cm}$ 深度取根称质量, 得到总根质量与断根质量, 计算断根率; 取 5 m 长度, 查数小麦植株总数和伤苗数量, 计算伤苗率。

4.2 结果与分析

4.2.1 入土角、翼张角、碎土角的试验优化

根据小麦机械断根的技术要求, 选择不同的翼张角和碎土角, 计算对应的入土角 (表 1), 并对各入土角的断根效果和质量进行了试验研究, 试验结果如表 2 所示。

由表 1 和表 2 看出, 当入土角 1.5° (即翼张角为 60° 、碎土角为 3°) 时, 入土性能较差, 工作过程中锄铲不稳定, 导致断根深度不稳、变异系数大; 随着入土角的增大, 工作过程逐渐稳定, 断根深度变化减小。当入土角大于 11.6° 时, 开始出现翻土, 随着入土角的增加, 翻土增多, 土层压伤麦苗加重, 同时, 作业过程不稳, 操纵性能变坏, 难控行走方向, 铲伤小麦加重。随着入土角的增加, 断根数量亦增加, 但断根作业质量明显变差。当入土角为 8.5° 时, 断根率 35.2% , 地表平整, 操纵性能良好。

综合考虑断根效果和断根质量, 本设计, 翼张角 $2\gamma=90^\circ$, 碎土角 $\beta=12^\circ$, 入土角 $\alpha=8.5^\circ$ 。

表 1 入土角与翼张角和碎土角对应关系
Table 1 Relation between entering soil angle α and wing-open angle 2γ Smash-soil angle β /($^\circ$)

入土角 α	翼张角 2γ	碎土角 β
1.5	60	3
3.5	70	6
5.8	80	9
8.5	90	12
11.6	100	15
16.6	110	20
22	120	25

表 2 断根铲入土角对断根效果和作业质量的影响

Table 2 Effect on quantity of cutting roots and working quality with different enter-soil angel

测试项目	入土角/(°)						
	1.5	3.5	5.8	8.5	11.6	16.6	22
入土情况	较差	良好	良好	良好	良好	良好	良好
有无堵塞	无	无	无	无	无	无	杂草有时堵塞
平均断根深度/cm	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
断根深度变异系数/%	13.8	8.5	6.1	5.4	8.4	9.8	12.9
地表平整度	平整	平整	平整	平整	有沟	有大沟	有大沟
有无翻土	无	无	无	无	有时	有	较重
土层压伤麦苗状况	无	无	无	无	有时	有	较重
土层伤麦苗状况/%	0	0	0.012	0.018	0.5	1.76	12.5
对照根单株干质量/mg	162	162	162	162	162	162	162
断根后单株干质量/mg	132.7	118.6	107.1	105.9	104.7	103.7	103.3
断根率/%	25.3	26.8	33.9	35.2	35.4	36.1	36.2

4. 2. 2 断根铲幅宽对断根效果影响的试验

根据断根铲的断根机理分析可知，断根土壤变形区域的大小对小麦断根与伤根程度有较大影响。断根土壤变形区域的大小受断根深度和断根铲幅宽及入土角、土壤性质的共同影响，表 3 列出了中性壤土的变形区域与断根深度和幅宽的关系。

表 3 断根铲幅宽和断根深度对土壤变形区域的影响

Table 3 Effect on soil-distortion extent with breath and cut-root depth of a hoe

断根深度/cm	断根铲幅宽/cm						
	2	4	6	8	10	12	14
9	12	14	16	18	20	22	24
10	13.1	15.1	17.1	19.1	21.1	23.1	25.1
11	14.2	16.2	18.2	20.2	22.2	24.2	26.2
12	15.3	17.3	19.3	21.3	23.3	25.3	27.3
13	16.5	18.5	20.5	22.5	24.5	26.5	28.5
14	17.6	19.6	21.6	23.6	25.6	27.6	29.6
15	18.8	20.8	22.8	24.8	26.8	28.8	30.8

注：土壤剪切角 $\theta=50^\circ$ ，摩擦角 $\varphi=25^\circ$ ，锄铲入土角 $\alpha=8.5^\circ$ 。

由表3看出，随着断根深度和断根铲幅宽的增加，土壤变形区域宽度也逐渐增大。当断根深度为10~12 cm时，断根铲幅宽为4 cm，土壤变形区域宽度为15.1~17.3 cm；断根铲幅宽为6 cm，土壤变形区域宽度为17.1~19.3 cm；断根铲幅宽为8 cm，土壤变形区域宽度为19.1~21.3 cm；断根铲幅宽大于8 cm时，土壤变形区域宽度大于20 cm。按小麦断根农艺要求，土壤变形区域宽度一般为15~20 cm。

随着断根铲幅宽和断根深度的增大，一方面使土壤

变形区域宽度增加，变形位移断根的作用增大，且断根铲的刃切作用也增大，小麦根系的断根量增大；另一方面，护苗带减小，伤苗、压苗的机会增加，断根阻力也必然会增大。

为合理正确地选择断根铲幅宽，对不同幅宽值进行了田间试验，试验时，断根铲入土角 $\alpha=8.5^\circ$ 断根深度 $h=10$ cm。试验结果如表4。断根铲幅宽越大，断根铲的刃切作用和变形位移断根作用就越大；但幅宽过大时，护苗带减小，必然会使麦苗铲伤增加。

表 4 断根铲幅宽对断根效果和作业质量的影响

Table 4 Effect on quantity of cutting roots and working quality with different breath of a hoe

测试项目	断根铲幅宽/cm						
	2	4	6	8	10	12	14
铲伤麦苗状况/%	0	0	0	0.008	2.19	8.26	21.3
对照根单株干质量/mg	162	162	162	162	162	162	162
断根后单株干质量/mg	117.5	114.5	104.3	94.6	88.3	81.6	50.2
断根率/%	27.5	29.3	35.6	41.6	45.5	49.6	69.4

注：锄铲入土角 $\alpha=8.5^\circ$ ，断根深度 $h=10$ cm。

由表 4 看出，随着断根铲幅宽的增加，断根数量逐渐增加，主要原因是断根铲幅宽的增加，刀刃的刃切作用增加，同时，土壤变形区域增加，而增加了变形、位移断根；就伤苗情况看，当幅宽大于 8 cm 时，开始出现伤苗，当幅宽大于 10 cm 时，伤苗量明显增加，断根作业质量明显不符合断根技术要求。综合考虑，断根铲的幅宽设计为 $B=8$ cm，此时的断根率为 41.6%。

经过上述试验分析，得断根铲优化设计参数表 5。

表 5 断根铲结构参数

Table 5 Structure parameters of a root-cutting shovel

翼张角/(°)	刃角/(°)	隙角/(°)	切土角/(°)	碎土角/(°)	入土角/(°)	幅宽/cm	铲翼宽/cm
90	10	8	18	12	8.5	8	1.5

5 结 论

断根铲的合理结构参数为:翼张角 $2\gamma=90^\circ$, 碎土角 $\beta=12^\circ$, 入土角 $\alpha=8.5^\circ$, 切土角 $\beta_0=18^\circ$, 刃角 $i=10^\circ$, 隙角 $\varepsilon=8^\circ$, 幅宽 $B=8\text{ cm}$, 铲翼宽 $b=1.5\text{ cm}$ 。此时的断根铲断根率为 41.6%。

[参 考 文 献]

- [1] 吕钊钦, 李汝莘, 董庆裕, 等. 冬小麦增产技术中机械断根方式的研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 103—106.
Lü Zhaoqin, Li Ruxin, Dong Qinyu, et al. Mechanical root-cutting models for increasing the yield of winter wheat[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(4): 103—106. (in Chinese with English abstract)
- [2] 余松烈, 元新华. 冬小麦深耕断根增产作用的研究[J]. 中国农业科学, 1985, (4): 30—35.
Yu Songlie, Qi Xinhua. Studies on the effect yield increase by deep cultivation-root cutting in winter wheat[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1985, (4): 30—35. (in Chinese with English abstract)
- [3] 吕钊钦, 李汝莘. 小型小麦断根机的设计[J]. 农业机械学报, 2006, 37(6): 162—163.
Lü Zhaoqin, Li Ruxin. Study of small root-cutting machine of wheat[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(6): 162—163. (in Chinese with English abstract)
- [4] 吕钊钦. 冬小麦断根机械化关键技术研究[D]. 山东: 山东农业大学, 2005.
Lü Zhaoqin. Study on key technique of root-cutting mechanization for winter wheat[D]. Shandong: Shandong Agricultural University, 2005. (in Chinese with English abstract)
- [5] 蒋金林, 等. 免耕播种机单体工作性能分析[J]. 农业工程学报, 2000, (5): 63—65.
Jiang Jinlin, et al. Study on the working performance of the no-tillageplanter unit[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, (5): 63—65. (in Chinese with English abstract)
- [6] 霍文国. 3ZG-2/4 型小麦断根机的设计研究[D]. 山东: 山东农业大学, 2004.
Huo Wenguo. Design and Study on 3ZG-2/4 Type Cut-root Machine of Wheat[D]. Shan Dong: Shandong Agricultural University, 2004. (in Chinese with English abstract)
- [7] 石岩, 位东斌, 余松烈, 等. 中耕断根对旱地小麦花后根系衰老及产量的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2000(6): 56—59.
Shi Yan, Wei Dongbin, Yu Songlie, et al. Effects of deep cultivation root cutting on dry weight of root system after anthesis and yield in dry land wheat of high yield[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2000(6): 516—519. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王丽霞. 机械深松耕作技术及应用[J]. 农机化研究, 2000, (2): 104—105.
Wang Lixia. Technique and applicaton of mechanical reversing and chiseling[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2000, (2): 104—105. (in Chinese with English abstract)
- [9] 柳斌辉, 刘子会, 张文英, 等. 断根对不同根型小麦光合和生长的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(z1): 100—103.
Liu Binhui, Liu Zihui, Zhang Wenying. Effects of roots-cutting on the photosynthetic rate and growth of winter wheat of different root types[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2008, 23(z1): 100—103. (in Chinese with English abstract)
- [10] 刘子会, 柳斌辉, 李运朝, 等. 起身期断根对冬小麦后期光合和生长的影响[J]. 华北农学报, 2007, 22(5): 63—103.
Liu Zihui, Liu Binhui, Li Yunchao, et al. Effect of roots-cutting in double ridge stage on the photosynthetic rate and later growth of winter wheat[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2007, 22(5): 63—103. (in Chinese with English abstract)
- [11] 石岩, 位东斌, 于振文, 等. 深耕断根对旱地高产小麦氮素分配利用及产量的影响[J]. 核农学报, 2002, 16(4): 224—227.
Shi Yan, Wei Dongbin, Yu Zhenwen, et al. Effects of deep cultivation-root cutting on nitrogen distribution and utilization and yield in dry land wheat of high yield[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2002, 16(4): 224—227. (in Chinese with English abstract)
- [12] 王瑞英, 崔广芳, 魏明, 等. 浇水与深耕断根对冬小麦穗分化进程的影响[J]. 山东农业科学, 2002, (1): 23—24.
Wang Ruiying, Cui Guangfang, Wei Ming, et al. Effect of irrigation or deep-tillage and irrigation on ear dirrerentiation in winter wheat[J]. Shandong Agricultural University, 2002, (1): 23—24. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张永清, 苗果园. 切断深层根对黍子根系及地上部营养生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(1): 60—63.
Zhang Yongqing, Miao Guoyuan. Effect of cutting deep root system on the growth of roots and aerial parts in proso millet[J]. Agricultural Research In The Arid Areas, 2006, 24(1): 60—63. (in Chinese with English abstract)
- [14] 宋日, 吴春胜, 王成己. 玉米深层根系对地上部营养生长和产量的影响[J]. 玉米科学, 2002, 10(3): 63—66.
Song Ri, Wu Chunsheng, Wang Chengji. Effects of deep root system on above-ground vegetative growth and yield in maize[J]. Journal of Maize Sciences. Corn Science, 2002, 10(3): 63—66. (in Chinese with English abstract)
- [15] 郭翠花, 高志强. 灌浆期断根对小麦衰老进程的影响[J]. 山西农业大学学报, 2007, 27(2): 158—162.
Guo Cuihua, Gao Zhiqiang. Effects of pruning root on senescence of winter wheat in filling stage[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2007, 27(2): 158—162. (in Chinese with English abstract)
- [16] 郭翠花, 苗果园, 高志强. 灌浆期断根对小麦产量及相关生理性状的影响[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(2): 331—334.
Guo Cuihua, Miao Guoyuan, Gao Zhiqiang. Effect of pruning root in grain filling stage on yield and physiological characteristic of winter wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2007, 27(2): 331—334. (in Chinese with English abstract)

- [17] 王法宏, 王旭清, 李松坚, 等. 小麦根系扩展深度对旗叶衰老及光合产物分配的影响. 麦类作物学报, 2003, 23(1): 53—57.
Wang Fahong, Wang Xuqing, Li Songjian. Effect of vertical

distribution of root on senescence of flag leaf and partition of dry matter in high yielding winter wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2003, 23(1): 53—57. (in Chinese with English abstract)

Experiment on the best structure parameters of root-cutting shovel for winter wheat

Lü Zhaoqin, Li Ruxin, Yin Kerong, Zhao Ran

(Mechanical-electronic College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract: Mechanical root-cutting technology is an important high-yield cultivation measure of winter wheat sowing. Root-cutting shovel is the key working components of mechanical root-cutting of wheat, and whether the design of the working parameters is reasonable, determines the mechanical root-cutting effect of wheat and the operating quality of root-cutting. Through the test parameters and analysis of root-cutting shovel, root-cutting mechanisms were proposed, root-cutting effect and the operating quality with different structure parameters were trially studied, and the best parameters to meet the demand for wheat root cutting were attained. The results showed: with the increase of the wing-open angle 2γ of root-cutting shovel, the role of sliding-cutting was reduced, and winding and blocked weed was increased; the smaller the soil-cutting angle β_0 was, the better root-cutting capacity would be; soil-smashing angle β had an assistant effect for wheat root-cutting; the bigger soil-entering angle α and root-cutting shovel's breadth B were, the more quantity of roots would be cut, while the more serious digging-up the soil, wheat seedlings injured and irregular earth surface were. The reasonable working parameters of root-cutting shovel were: $\gamma=45^\circ$, $\beta=12^\circ$, $\beta_0=18^\circ$, $\alpha=8.5^\circ$, $B=8$ cm. The results provide a basis for the design of wheat root-cutting machine.

Key words: shovel, structure, mechanisms, mechanical root-cutting, wheat