

# 9QP-830型草地破土切根机\*

尤泳 王德成 王光辉

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

**【摘要】** 设计了利用拖拉机输出轴的动力驱动破土切根刀正向旋转,以冲击、贯入的方式割裂退化羊草草地土壤板结层,切断羊草地下横走根茎以改良该类型退化草地的破土切根机。破土切根机上安装8组相等间距的刀盘,每个刀盘上安装3把切根刀,切根刀在刀轴上以双螺旋方式排列;刃口形状采用偏心圆曲线,横断面呈箭型;机架安装2组限深系统实现耕深在100~200 mm范围内可调。试验表明:破土切根机纯小时生产率在0.85 hm<sup>2</sup>/h以上,作业后地表沟缝宽度小于13 mm,最大切根深度为205 mm,土壤翻垡率为零,无壅土、破坏草皮等现象;机器作业后土壤容积密度有所下降,当年可使羊草增产近一倍。

**关键词:** 羊草 土壤板结 机械化改良 破土切根

**中图分类号:** S812.6; S220.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)10-0061-07

## 9QP-830 Soil-gashing and Root-cutting Mechanism

You Yong Wang Decheng Wang Guanghui

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

### Abstract

A soil-gashing and root-cutting mechanism was designed and tested in order to improve degenerated *Leymus-chinensis* grassland in China. The mechanism had eight equally-spaced sets of cutting blades on a blade shaft, and each set consisted of 3 blades. These blades were keyed on the blade shaft as double-helical arrangement through flange hubs. The blade on the shaft was powered by a final drive which was driven by a universal shaft connected to the tractor PTO. Cutting depth was controlled from 100 mm to 200 mm by two gauge wheels mounted on the rear end of the tool frame. Field experiment indicated that the mechanism could cut consecutive slits in compacted top soil. The maximum cutting depth was 205 mm and the average width of slits was below 13 mm. No soil overturning and vegetation destruction were observed. Because the slits cut by the mechanism provided soil aeration and promoted the growth of *Leymus-chinensis*, the soil bulk density decreased and crop yield increased by nearly double in the second year of soil-gashing and root-cutting treatment.

**Key words** *Leymus-chinensis*, Soil compaction, Mechanical remediation, Soil-gashing and root-cutting

### 引言

羊草(*Leymus-chinensis*)是我国典型草原和草甸草原的主要优势牧草,适口性好、营养价值高。羊草草地约占我国草地面积的50%以上,是我国草地的重要组成部分<sup>[1]</sup>。羊草属多年生牧草,主要依靠根

茎分蘖繁殖。长期的无养息过载放牧和粗放式管理,加之多年生羊草根茎盘根错节,使得羊草草地土壤坚实、透气、透水性下降;羊草群落逆向演替,产草量急剧下降。退化羊草草地的改良一般是利用重型耙、旋耕机或松土机等农田耕作机械对草地实施翻耕处理,为羊草生长提供疏松的土壤环境<sup>[2-3]</sup>。

收稿日期:2010-12-01 修回日期:2011-01-24

\*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD28B08)

作者简介:尤泳,博士生,主要从事草地机械化修复、牧草加工机械研究,E-mail: yongyou1115@gmail.com

通讯作者:王德成,教授,博士生导师,主要从事农业机械化工程与农业工程研究,E-mail: wdc@cau.edu.cn

羊草草地多处于我国干旱、半干旱地区,翻耕的处理方式对土壤扰动大,极易造成风蚀、水蚀,已有研究表明这些耕作方式和工具是造成我国干旱、半干旱地区荒漠化的主要原因之一<sup>[4~5]</sup>。耕翻方式对草地植被破坏大,严重影响当年产量,且这种方式造成的土壤翻垡起垄也影响了割草机的使用。基于此,本文主要以改良位于干旱、半干旱地区的典型性羊草草地为目的,致力于一种新型羊草草地改良机械的设计、研制与评价。

## 1 退化羊草草地退化状况调查

### 1.1 试验地

试验地位于河北省沽源县草地生态系统国家野外科学观测研究站内(115°41'N,41°45'E)。该试验站位于内蒙古高原的东南舌状延伸地带,俗称坝上高原中部地区,海拔1400 m,年均气温1.4℃,大于10℃的年积温为1513.1℃,无霜期110 d左右,年均降水量350 mm左右(主要集中在7~9月)。站内地带性植被类型为“羊草+克氏针茅+杂草类”。调查内容包括土壤板结状况及羊草生长状况。该试验地在进行本文所涉及的试验之前处于自由放牧状态。

### 1.2 土壤及植被调查方法

试验地内使用抛掷选土框的方式随机选取3处

土壤样品采集地,每处土壤采集地按照0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm和15~20 cm分层,使用环刀法测量土壤容重密度及孔隙度<sup>[6]</sup>。各个采样地点及土层,使用自封口塑料袋采集土样,利用比重计法进行土壤粒级分析<sup>[7]</sup>。使用土壤坚实度仪衡量土壤坚实度<sup>[8]</sup>并测量土壤板结层的分布,测量时在试验地附机随机选取5个点。土壤坚实度仪可自动记录探头插入土壤过程中的最大坚实度值,探头为直径2.5 cm,锥度30°的标准锥形探头<sup>[9]</sup>。文献分析法和田间观测方式调查该地区草地植被情况及羊草根系分布情况。

使用Office 2003中的数据分析工具对数据进行统计分析。

### 1.3 调查结果与分析

土壤粒级分析表明,该地区土壤质地属于壤土范畴,但土壤中砂粒含量较高,粘粒含量较少,土壤特性偏向于砂土特性,即养分少、不易保持水肥、营养成分易损失。除10~15 cm范围内土壤容重密度略低外,其他各层土壤容重密度均超1400 kg/m<sup>3</sup>,孔隙度不足40%。而有关研究表明,容重密度1.1~1.4 g/cm<sup>3</sup>、孔隙度50%左右的土壤条件最有利于植物生长。土壤在20 cm范围内坚实度均在1.5 MPa以上,表层及底层更加坚实。由此可见,该地区天然羊草草地已呈现出板结性特征。

表1 土壤状况调查结果  
Tab.1 Results of soil survey

深度/cm	土壤粒级质量分数/%			容重密度/kg·m <sup>-3</sup>		孔隙度/%		坚实度/MPa
	沙粒	粉粒	粘粒	均值	标准差	均值	标准差	
0~5	47.60	42.40	10.00	1441.33	38.53	38.20	4.04	2.62
5~10	47.60	37.00	15.40	1448.33	33.50	35.09	1.53	1.85
10~15	46.90	37.60	15.50	1379.00	24.25	39.83	4.03	1.64
15~20	42.60	35.00	22.40	1541.67	49.22	33.85	3.15	2.53

羊草生长及根系分布状况如图1所示。羊草横走根茎主要分布在6~12 cm深度范围内,依靠分蘖根繁殖特点明显;主根及分蘖根缠绕在一起呈网状,

与土壤形成复合体结构,进一步加深了土壤板结。由此可见,改良此类型草地除了创造疏松的土壤环境外,切断羊草网状根系尤为重要。

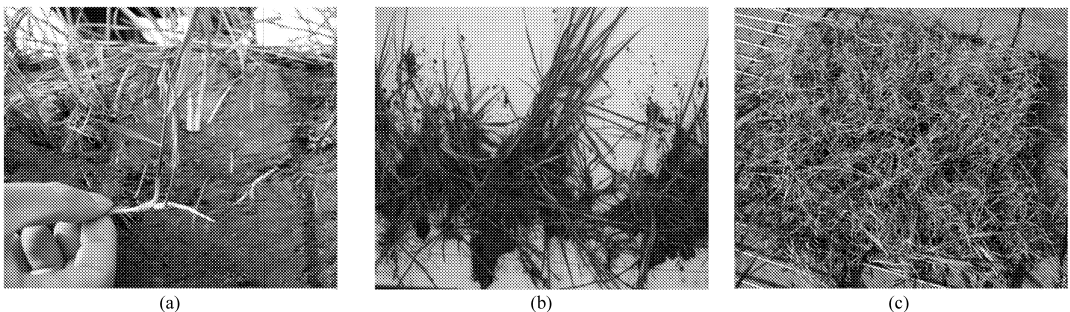


图1 羊草根茎生长及分布  
Fig.1 Roots of *Leymus chinensis*

(a) 羊草的分蘖植株 (b) 羊草的横走根茎 (c) 盘根错节的地下根系

## 2 破土切根机工艺及设计要求

根据调查结果,破土切根机应满足以下要求:

①最大作业深度可达到土壤板结深度 20 cm。②破坏土壤板层。③切断羊草网状根系促进羊草分蘖扩繁。④作业后地表平整(不翻垡、不起垡),不扬沙,对地表植被破坏小。⑤不影响当年机械化收获作业和产草量,争取增产。此外,为实现机械化改良,破土切根机应简单耐用,并与牧区普通 65 kW 以上拖拉机配套,生产率在 1 hm<sup>2</sup>/h 以上。

## 3 破土切根机

### 3.1 结构

破土切根机根据驱动型土壤耕作机械理论进行设计<sup>[10]</sup>。主要由机架、传动系统和破土切根刀部件 3 部分组成,如图 2 所示。工作时,拖拉机通过悬挂机构与破土切根机相连,传动系统将拖拉机动力传给刀轴,驱动切根刀高速旋转强制入土。破土切根刀以冲击和贯入式作用造成土壤失效<sup>[11-12]</sup>,刀具刃口锋利,高速旋转切断羊草根系;刀具刃口形状需保证工作过程中不缠绕、不拖拽羊草根系。使用限深轮控制破土切根深度在 10~20 cm 范围内可调。

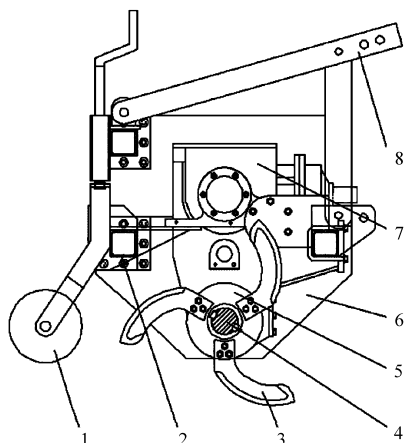


图 2 9QP-830 型破土切根机简图

Fig. 2 Sketch map of soil-gashing and root-cutting mechanism

1. 限深轮 2. 机架横梁 3. 破土切根刀 4. 刀轴 5. 刀盘  
6. 机架侧板 7. 齿轮箱 8. 三点悬挂机构

### 3.2 机架

机架由 3 根呈直角三角形排列的横梁支撑,保证稳定性和刚度。横梁与侧板通过螺栓相连便于拆装与维修。标准三点悬挂机构的下悬挂点置于机架前横梁上,上悬挂点置于机架后高横梁上,保证切根机提升和入土平稳,受力均匀。设计的三点悬挂机构对 65 kW 及以上拖拉机具有通用性。

耕深调节机构主要由连接限深轮的摇动手柄、螺管和锁紧螺母组成。螺管固定在机架后横梁上。

摇动手柄通过螺杆与螺管的螺纹啮合提升或降落限深轮,实现调节耕深功能;螺管上设置刻度,保证耕深调节精度;螺管上的锁紧螺母避免限深轮在挂接、运输中脱落,或因振动而改变位置。

### 3.3 传动系统

破土切根机使用中间齿轮传动。安装在机架中央的齿轮箱,将动力由输出轴传递给安装在刀轴上的破土切根刀。齿轮箱可根据工作需要更换锥齿轮,实现刀轴 254 r/min 和 215 r/min 2 种转速。齿轮箱输出轴与刀轴结合处、刀轴轴头与侧板轴承结合处安装避草护尘罩,避免草和尘土进入传动系统,影响工作。

刀轴采用两端轴头嵌入中间空心钢管的结构,轴头热装嵌入钢管后进一步焊接固定。这种结构既保证了刀轴的强度和刚度,也降低了整机质量。相对于直径较小的实心刀轴,直径变大的空心刀轴可避免缠草。刀轴上可安装 4~8 组刀盘,每个刀盘上安装 3 把破土切根刀。刀轴与刀盘间隙配合,依靠对称平键传递载荷。刀盘可在平键的导向下沿刀轴移动,实现刀盘间距 300~500 mm 内可调。

### 3.4 破土切根刀

#### 3.4.1 破土切根刀运动学分析

破土切根刀在工作时的绝对运动系由刀具绕刀轴的旋转运动和机具前进的直线运动两种运动合成<sup>[10]</sup>,因此刀齿运动轨迹为摆线。建立如图 3 所示的坐标系, $x$  轴正向为机具前进方向; $y$  轴正向指向地面,则破土切根刀刃口上任意点的运动轨迹可表示为

$$\begin{cases} x = vt + R\cos\omega t \\ y = R\sin\omega t \end{cases} \quad (1)$$

式中  $v$ ——机具前进速度, m/s

$R$ ——破土切根刀刃口上任意点到回转中心的距离, m

$\omega$ ——刀具旋转角速度, rad/s

$t$ ——刀具自  $x$  轴正向开始旋转的时间, s

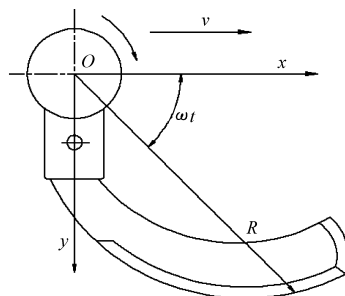


图 3 刀具运动方程坐标系

Fig. 3 Reference frame of blade

由式(1)可知,破土切根刀运动轨迹与刀具回

转半径、旋转角速度和机具前进速度有关。由此方程可推导出刀具的相对运动速度和牵连速度之比值 $\lambda$ 、切土进距 $S$ 以及沟底凸梗高度 $h_c$ 为

$$\lambda = \frac{R_0 \omega}{v} \quad (2)$$

$$S = \frac{2\pi R_0}{\lambda z} \quad (3)$$

$$h_c = R_0 \left[ 1 - \cos \frac{\pi}{z(\lambda - 1)} \right] \quad (4)$$

式中  $z$ ——刀盘上均布安装的刀齿数

$R_0$ ——破土切根刀刀尖点到回转中心距离

机具设计行进速度  $v > 1.2$  m/s, 最大切根深度为 200 mm, 考虑到刀盘半径最小安装尺寸为 120 mm, 设计刀尖点回转半径  $R_0 = 325$  mm, 则理论最大耕深为 205 mm。每个刀盘上安装 3 把切刀, 切刀间隔  $60^\circ$ 。当刀轴旋转速度从 200 r/min 增加到 500 r/min 时, 利用式(2)~(4)计算  $\lambda$  值、切土进距  $S$  以及沟底凸梗高度  $h_c$ , 结果如表 2 所示。

表 2 破土切根刀尺寸参数及运动学参数

Tab. 2 Geometry and dynamic parameters of blade

速度 $v$ /m·s <sup>-1</sup>	转速 $n$ /r·min <sup>-1</sup>	$R_0$ /mm	$\lambda$	切土进距 $S$ /mm	凸梗高度 $h_c$ /mm
1.2	150	325	4.25	160	16.7
1.2	200	325	5.67	120	8.1
1.2	250	325	7.09	96	5.0
1.2	300	325	8.51	80	3.2
1.2	350	325	9.93	69	2.2
1.2	400	325	11.34	60	1.7

可见, 刀具切土进距和形成的切缝沟底凸起高度均随刀轴转速增加而减少。为保证耕深, 凸起高度应低于 5 mm, 即转速需大于 250 r/min。当进一步增加转速时, 切刀的工作阻力将随切土进距的减小而减小, 切土功耗降低, 但转速增加需要更大的功率输出, 可能导致整体功率消耗变大。刀轴设计转速为 250~300 r/min。

刀齿上顶端点在旋转一周过程中, 速度随位置的变化而变化, 将式(1)对时间求导数可得

$$\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} = v - R\omega \sin\omega t \\ v_y = \frac{dy}{dt} = R\omega \cos\omega t \end{cases} \quad (5)$$

此时, 刀齿上顶端点的绝对速度为  $v_p = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v^2 + (R\omega)^2 - 2vR\omega \sin\omega t}$ 。由此可知, 当刀齿顶端点处于最低位置时绝对速度最小; 处于最高位置时绝对速度最大。利用运动学分析软件对刀齿运动进

行动力学仿真, 机器前进速度为 1.2 m/s,  $R_0$  为 325 mm, 转速为 300 r/min。由图 4 所示的分析结果可知: 刀齿的  $x$  向分速度和  $y$  向分速度是随时间变化的简谐运动,  $x$  方向和  $y$  方向的速度峰值每隔 0.1 s 出现一次, 刀齿从入土到出土绝对速度随时间波动较小, 说明破土切根速度较平稳。当刀齿的分速度  $v_x$  为零时, 刀齿  $y$  轴方向的位置对应刀齿运动轨迹余摆线绕扣的最大横弦  $M$ 、 $N$  点, 最大横弦点以上刀齿沿  $x$  向分速度为正值, 以下则为负值。由图 4 可知, 轨迹余摆线最大横弦处位于刀轴回转中心以下 50 mm 以内, 受刀齿安装尺寸的影响, 刀齿入土点位于刀轴回转中心以下 120 mm 处, 入土点位于余摆线最大横弦点以下有利于刀齿向后抛土, 可以减小功耗。

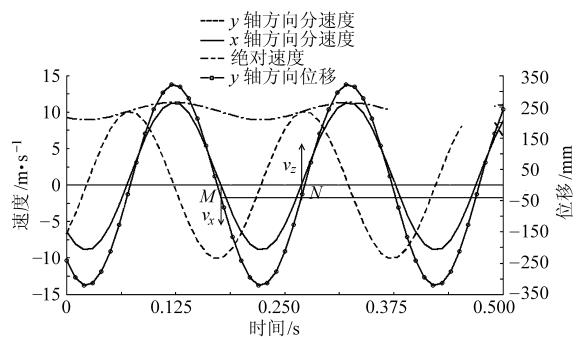


图 4 刃口曲线任意点的速度及位移

Fig. 4 Velocity and position of top point of blade

### 3.4.2 设计与安装

破土切根刀是该机具的关键工作部件, 直接影响破土切根效果。由于破土切根刀的功率主要消耗在克服入土阻力和出土时与土壤的摩擦, 因此要求破土切根刀入土阻力小, 刀身形状利于减小摩擦<sup>[13-14]</sup>。同时破土切根刀刃口锋利且具有良好的滑切性能, 保证工作时羊草根茎被切断或沿刃口滑脱, 避免缠草或拖拉草根的现象发生<sup>[15-16]</sup>。You 等利用室内土槽试验对破土切根刀切图扭矩进行研究表明: 破土切根刀刃口曲线滑切角在  $51^\circ \sim 56^\circ$  之间, 且改变刀身横断面形状可显著降低切土扭矩<sup>[17]</sup>。按此研究结果, 切根刀刃口曲线使用便于加工的偏心圆弧, 圆弧偏心距为 173.5 mm, 半径为 278 mm; 切根刀宽度 60 mm, 刀齿厚度 6 mm; 刀齿沿刃口曲线方向双面开刃, 刃宽 15 mm, 刃口厚 2 mm; 刀身断面呈箭型。破土切根刀通过螺栓与安全销安装在刀盘上, 每个刀盘安装 3 把切刀, 9QP-830 型草地破土切根机共 8 组刀盘。所有切刀在刀轴上排列呈双螺旋, 相位角相差  $30^\circ$ , 工作时刀盘上的切刀依次入土, 保证刀轴受力均匀、平稳、无间隔性冲击。

### 3.5 主要参数

9QP-830 型草地破土切根机主要结构参数如

表 3 所示。

表 3 破土切根机主要参数

Tab. 3 Main parameters of soil-gashing and root-cutting mechanism

参数	数值
配套动力/kW	60
外形尺寸(长×宽×高)/mm×mm×mm	2 540×1 170×1 222
结构质量/kg	450
幅宽/mm	2 400
传动方式	中间齿轮传动
与拖拉机的联接方式	标准三点悬挂
耕深调节方式	限深轮
最大耕深/mm	205
刀轴转速/r·min <sup>-1</sup>	254
最大回转半径/mm	325
总安装刀齿数/把	24
刀盘数/个	8
每刀盘安装刀齿数/把	3
相邻刀盘间距/mm	300

## 4 试验

### 4.1 试验设计

2009 年 4 月,在试验地内建立长×宽为 50 m×5 m 的破土切根作业区 3 块和未进行任何处理的对照区 3 块,试验小区随机排列。使用 9QP-830 型破土切根机进行破土切根作业,作业深度设定为 200 mm。作业后同对照区一并围封禁牧。2009 年 9 月同期比较试验区与对照区的土壤容积密度和产草量。测量产草量时,与确定取土点相同的方式确定取草点。在取样点,用 1 m<sup>2</sup>铁框圈定取草范围,齐根割断牧草并称量,采用样方法测定单位面积产草量(鲜草重)<sup>[18]</sup>,每个小区 3 次重复。

2009 年 9 月在试验地内对 9QP-830 型破土切根机进行性能测试试验,配套动力为 65 kW 拖拉机。建立工作深度分别为 150 mm 和 200 mm 的 2 种试验处理区,每种设 3 个试验小区,共 6 块试验区随机排列,小区面积长×宽为 50 m×5 m。测试内容包

括行进速度、切根深度及稳定性系数、切缝宽度及稳定性系数、翻垡率。各指标的定义及测试方法参照文献[19]。试验地地表起伏不大,基本平整,局部有坑洼。南部略高于北部,东西基本持平,坡度小于 5°。作业时机组沿坡度前进。试验地气象情况如表 4 所示。使用 SPSS 12.0 统计软件对数据进行处理和方差分析。对比数据差异程度时显著水平为  $\alpha = 0.05$ 。

表 4 试验地气象状况

Tab. 4 Weather conditions of experiment plots

项目	上午 8 点	中午 12 点	下午 19 点
气温/℃	12.7	21.5	14.1
相对湿度/%	78	48	70
风速/m·s <sup>-1</sup>	2.3	3.1	2.9
风向	西北	北	西北
3~8 月份平均降雨量/mm	87.8		

注:降雨量由河北沽源国家草地生态系统野外观测研究站提供。

## 4.2 试验结果与分析

### 4.2.1 破土切根机性能试验结果与分析

9QP-830 型草地破土切根机在作业过程中,土壤翻垡率为零(表 5)。这主要是因为切根机刀齿只有锋利的侧切刃,在入土及出土的过程当中,刀齿仅对土壤产生贯入性破坏而没有抛土或碎土作用,不会造成土壤翻转。切缝的宽度随切根深度的增加略有增加,但差异并不显著。可见该机器作业后,地表形成的沟缝宽度可稳定在一定宽度范围之内。草地植被常常因为传统耕作部件对土壤过大扰动而遭到破坏,9QP-830 型草地破土切根机除了破坏切缝范围内植被及根系外,对草地无破坏。

由于破土切根刀是驱动型旋转耕作部件,刀齿切土后沟底必然有一定的凸起高度,因此实测平均深度均小于刀尖点所能达到的最大深度,即设定的深度,这与对破土切根刀运动学分析的结果相吻合。随着切根深度的增加,耕深的稳定性系数也增加了,说明在此深度下沟缝底部更加平整。切根深度为 200 mm 时,拖拉机的正常工作速度低于切根深度为 150 mm 的速度,耕深的增加使得工作阻力增大,显著影响了破土切根机的工作效率。

表 5 破土切根机的工作性能测试情况

Tab. 5 Performance test results of soil-gashing and root-cutting mechanism

设置切根深度/mm	翻垡率/%	实际切根深度			切缝宽度			作业速度/km·h <sup>-1</sup>	生产率/hm <sup>2</sup> ·h <sup>-1</sup>
		平均值/mm	最大值/mm	稳定性系数/%	平均值/mm	最大值/mm	稳定性系数/%		
150	0	136.1 <sup>a</sup>	160	88.79	11.6 <sup>a</sup>	12.5	98.32 <sup>a</sup>	4.82 <sup>a</sup>	1.16
200	0	191.9 <sup>b</sup>	205	96.10	12.8 <sup>a</sup>	14.5	97.97 <sup>b</sup>	3.53 <sup>b</sup>	0.85

注:同一列中出现不同字母说明数值有显著性差异,显著性水平  $\alpha = 0.05$ 。

当切根深度为 150 mm 和 200 mm 时,破土切根机的纯小时生产率分别为  $1.16 \text{ hm}^2/\text{h}$  和  $0.85 \text{ hm}^2/\text{h}$ 。由于试验地的土壤硬度偏高,在配套动力不变的情况下,破土切根机必须减小行进速度而获得更大的输出动力,因此在最大耕深的情况下没有达到设计的生产率。不过羊草根系主要分布在地下 150 mm 范围内,在满足破土切根的条件下,破土切根机可保证较高的工作速度,工作效率达到了  $1.16 \text{ hm}^2/\text{h}$ ,满足设计要求。此外,破土切根机的工作阻力主要与土壤坚实程度以及羊草分布密度有关,因此不同的草地上生产率不同。本文中选取的试验地,草地退化状况严重,因此试验数据有借鉴意义。总体看,破土切根刀可以深入到羊草根层分布的土壤以下,作业后在地表形成了一条条连续的沟缝。沟缝内羊草横走根茎被彻底切断,沟缝之间地表平整,无翻垡、起垄、破坏草皮等现象。可见,

9QP-830 型破土切根机具有对土壤低扰动、对植被破坏小的特点,作业后不会影响草地进行机械化收割等后续作业。

#### 4.2.2 破土切根机改良效果

对比作业区与对照区的土壤容积密度,作业区土壤各层容积密度均低于对照区,但除了 150 ~ 200 mm 土层出现显著性差别之外,其他各层无显著性差别(表 6)。这种差异是由于破土切根作业所形成极小切缝有局部疏松的效果,同时切缝也有利于降雨由土壤表层向土壤内部渗透,改善土壤结构。对照前文描述的退化草地土壤调查结果,作业区与对照区的土壤容积密度均低于退化草地,这说明围封禁牧是造成土壤容积密度下降的主要原因。这也同时说明了破土切根机对土壤的直接扰动较小,这种的作业方式却可以避免传统耕翻作业可能造成的退化草地风蚀、水蚀或沙化的危险。

表 6 土壤容积密度对比与鲜草产量对比

Tab. 6 Differences of bulk density and crop yield between treat plots and control plots

取样深度/cm	处理	土壤容积密度		单位面积鲜草重		
		均值(标准差)/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	容积密度改变率/%	作业区均值(标准差)/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	对照区均值(标准差)	增产/%
0~5	作业区	1.04 <sup>a</sup> (0.217)	3.53	462.8(53.17)	237.6(56.64)	94.8
	对照区	1.08 <sup>a</sup> (0.095)				
5~10	作业区	1.37 <sup>a</sup> (0.088)	1.58			
	对照区	1.39 <sup>a</sup> (0.093)				
10~15	作业区	1.29 <sup>a</sup> (0.133)	4.21			
	对照区	1.35 <sup>a</sup> (0.094)				
15~20	作业区	1.32 <sup>a</sup> (0.101)	14.08			
	对照区	1.53 <sup>b</sup> (0.069)				

注:相同土层土壤容积密度均值一列中出现不同字母说明两种处理的结果显著不同,显著性水平  $\alpha=0.05$ 。

对比对照区,经破土切根作业的草地单位面积产草量有显著性增加,增产近一倍。这说明在退化羊草草地上进行切根处理可显著增强羊草扩繁复壮能力,提高草产量,这一结论同闫志坚等的研究结果相同<sup>[2]</sup>。You 等进行的研究结果表明破土切根可增加土壤的有机质含量和氮含量,为植物生长创造了良好的营养环境,这也是实现增产的重要原因<sup>[20]</sup>。与传统耕翻切根作业相比,破土切根作业当年即可实现增产。这是因为破土切根机在切断羊草根茎时,不会出现缠草、破坏草皮、草根移位错位或被带出土层等破坏草地原有植被现象。同时,破土切根机不会造成土壤翻垡或起垄,既不会破坏植被而减产也不会影响割草机当年进行割草作业。

土壤和植被调查,提出了破土切根机的设计应该在切断羊草横走根茎的同时对土壤扰动小,对草地植被破坏小。

(2)设计了 9QP-830 型草地破土切根机,通过进行运动学分析和前期室内土槽试验,设计并优化了破土切根刀,同时确定破土切根刀工作旋转速度应为 250 ~ 300 r/min,实际设计转速为 254 r/min,行进速度为 1.2 m/s。

(3)9QP-830 型草地破土切根机可以配套 65 kW 拖拉机,在满足破土切根工艺的条件下,工作效率在  $1 \text{ hm}^2/\text{h}$  以上。切断羊草根茎的同时无土壤翻垡等现象,达到了预定的设计要求;经破土切根作业后,土壤容积密度下降,当年可实现增产。

## 5 结论

(1)通过对我国华北地区板结性退化羊草草地

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国农业部畜牧兽医司,全国畜牧兽医总站. 中国草地资源[M]. 北京:中国科学技术出版社,1996.
- 2 闫志坚,陈敏,安渊,等. 大针茅+羊草退化草场改良技术的研究[J]. 中国草地,2002,24(3):7~14.  
Yan Zhijian, Chen Min, An Yuan, et al. Study on improving the degenerated grassland of *stipa gradis* and *Leymus chinensis* region[J]. Grassland of China, 2002, 24(3): 7~14. (in Chinese)
- 3 徐万宝. 草地生产机械化[M]. 呼和浩特:内蒙古人民出版社,2002.
- 4 Snyman H A, Preez C C. Rangeland degradation in a semi-arid South Africa—II: influence on soil quality [J]. Journal of Arid Environment, 2005, 60(3): 483~507.
- 5 Zhao H L, Zhou R L, Zhang T H, et al. Effects of desertification on soil and crop growth properties in Horqin sandy cropland of Inner Mongolia, North China[J]. Soil & Tillage Research, 2006, 87(2): 175~185.
- 6 吕贻忠,李保国. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2006.
- 7 Klute A. Methods of soil analysis part 1—physical and mineralogical methods[M]. 2nd ed. Madison, WI: SSSA, 1986.
- 8 Motavalli P P, Anderson S H, Pengthamkeerati P, et al. Use of soil cone penetrometers to detect the effects of compaction and organic amendments in claypan soils[J]. Soil & Tillage Research, 2003, 74(2): 103~114.
- 9 ASAE Standards. S313.3. Soil cone penetrometer[S]. 1999.
- 10 李守仁,林金天. 驱动型土壤耕作机械的理论与计算[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- 11 曾德超. 机械土壤动力学[M]. 北京:科学技术出版社,1995.
- 12 北京农业大学. 农业机械学:上册[M]. 北京:中国农业出版社,1991.
- 13 Maciej M. A torque evaluation for a rotary subsoiler[J]. Soil & Tillage Research, 2005, 84(2): 175~183.
- 14 Jafar Habibi Asl, Surendra Singh. Optimization and evaluation of rotary tiller blades: computer solution of mathematical relations[J]. Soil & Tillage Research, 2009, 106(1): 1~7.
- 15 彭嵩植,吴德光. 旋耕机工作部件设计方法的研究(二)[J]. 江苏工学院学报,1983(1):41~56.
- 16 Lee K S, Park S H, Park W Y. Strip tillage characteristics of rotary tiller blades for use in a dryland direct rice seeder[J]. Soil & Tillage Research, 2003, 71(1): 25~32.
- 17 You Y, Wang D C, Wang G H, et al. Optimization of sliding cutting angle and section shape of the gashing-soil blade[C]. ASABE Annual Meeting Papers No. 1009013, 2010.
- 18 JB/T 9700—1999 牧草收获机械 试验方法通则[S]. 1999.
- 19 李伟,王光辉,尤泳,等. 草地破土切根机检测方法的研究[J]. 中国奶牛,2010(9):60~62.
- 20 You Y, Wang D C, Wang G H, et al. Effects of a soil-gashing and root-cutting mechanism on soil properties and crop yield of grasslands[C]. ASABE Annual Meeting Papers No. 1008636, 2010.
- 21 杨加庆,郭玉明. 牧草复壮促生破土切根机设计[J]. 农业机械学报,2010,41(增刊):78~81.  
Yang Jiaqing, Guo Yuming. Design of rejuvenation and acceleration root-cutting machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(Supp.): 78~81. (in Chinese)

(上接第 55 页)

- 6 李太伟,李洪文,何进. 2BMF-5 固定垄小麦免耕播种机的设计[J]. 农机化研究,2008,30(10):51~53.  
Li Taiwei, Li Hongwen, He Jin. Design of 2BMF-5 type no-till wheat planter in ridge field [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(10): 51~53. (in Chinese)
- 7 Sidhu H S, Singh M, Humphreys E, et al. The happy seeder enables direct drilling of wheat into rice stubble [J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2007, 47(7): 844~854.
- 8 何进,李洪文,李慧,等. 往复切刀式小麦固定垄免耕播种机[J]. 农业工程学报,2009,25(11):133~138.  
He Jin, Li Hongwen, Li Hui, et al. No-till planter with reciprocating powered-cutter for wheat permanent raised beds cultivation [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 133~138. (in Chinese)
- 9 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册:上册[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- 10 张波屏. 现代种植机械工程[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- 11 姚宗路,高焕文,王晓燕,等. 2BMX-5 型小麦-玉米免耕播种机设计[J]. 农业机械学报,2008,39(12):64~68.  
Yao Zonglu, Gao Huanwen, Wang Xiaoyan, et al. Design and experiment on 2BMX-5 no-till wheat-maize seeder [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(12): 64~68. (in Chinese)