

草地切根施肥补播开沟装置的设计与试验

梁 方^{1,2} 王德成^{2,3} 尤 泳^{2,3} 王光辉^{2,3} 贺长彬²

1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083;
3. 中国农业大学农业部土壤-机器-植物系统技术重点实验室, 北京 100083

摘要 为克服草地土壤坚实度高、残茬根系量大带来的开沟问题,在草地切根改良的基础上实现施肥补播,采用破土刀齿破茬-种沟双圆盘开沟器开沟覆土-肥沟双圆盘开沟器压土成沟并覆盖种沟的工艺构建种床与肥床,设计分层交错式覆土开沟装置,建立种沟与肥沟双圆盘开沟器需满足的参数关系。基于土壤扰动造成土壤坚实度下降理论,通过对比试验,确定种沟开沟器距切根沟缝的距离对土壤坚实度的影响,得到将种沟开沟器布置在距离切根沟 20 mm 处,可使开沟器入土处的土壤坚实度下降 62%。将分层交错式覆土开沟装置应用于 9QFB-2.4 型破土切根施肥补播复式作业机,田间试验结果表明:该装置能够实现稳定开沟,形成深 47.3 mm、宽 29.1 mm 的肥床与深 44.7 mm、宽 19.5 mm 的种床,施肥和播种深度合格率分别达到 80% 和 83%,且对土壤的扰动程度小于 14%,有利于草场植被的保护。

关键词 草地; 切根施肥补播; 土壤坚实度; 开沟装置; 土壤破坏率

中图分类号 S 222.3; S 223.2⁺5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2018)01-0108-07

我国草地面积约 1.86 亿 hm^2 , 其中 1.05 亿 hm^2 已退化, 占 56.5%, 已退化草地中轻度、中度、重度退化的草地分别占 53.8%、32.6%、13.6%^[1], 退化草地的改良与恢复日益迫切^[2-4]。切根改良是一种草地改良方式, 其利用旋转刀具切断草地植株的横走根茎, 改善土壤通透性, 实现植株增殖促繁^[5-6]。在切根的基础上增加施肥补播功能, 实现切根施肥补播复式作业, 可根据草地的退化程度采用不同的改良方式, 能够显著提高改良效果^[7-8]。草地土壤坚实度高、地表残茬覆盖率与土壤根系含量高, 使得开沟困难。克服草地开沟问题, 构建适宜的种床和肥床, 是实现草地施肥补播的关键。目前的开沟方式主要有锄铲式、翼铲式、芯铧式、船形铲式、靴鞋式、滑刀式、双圆盘式和单圆盘式^[9]。这些开沟器在传统熟地使用时效果良好, 但直接应用于天然草地开沟却存在一定困难。这是因为, 与普通大田土壤相比, 草地土壤坚实度高, 0~20 cm 深度的土壤坚实度在 34.7~44.8 kg/cm^2 之间, 最高甚至达到 51.9 kg/cm^3 ^[7], 而农田土壤剖面坚实度在 3.5~5 kg/cm^2 ^[10], 苗圃、大豆田、菜地的耕作层的土壤坚实度范围为 0.1~0.4 kg/cm^2 ^[11], 使得船形铲式、靴鞋式、滑刀式、双圆盘式、单圆盘式开沟器难以入土。另一方面草地残茬覆盖率与土壤根系含量高, 使得锄铲式、翼铲式、芯铧式开沟器容易缠草而堵塞, 且会由于撕扯对草场植被造成较大的扰动与破坏, 造成草场生态植被的进一步退化^[12-15]。

为克服上述问题, 中国农业机械化科学研究院呼和浩特分院研制的 91BQ-2.1 型气流式牧草播种机, 采用单圆盘划破草皮, 利用尖铲式开沟器开沟, 通过倒“八”字形板覆土^[16]; 研制的 9BC-2.1 型牧草耕播机, 以主动旋转的刀盘铪出 1 条宽 50 mm、深 20~120 mm 的窄沟, 并松动土壤, 后续钝角芯铧式开沟器开沟形成种床^[16]。由中国农业科学研究院草原所研制的 9MSB-2.10 型牧草免耕松播联合机, 采用无壁型犁刀划破草皮, 切断羊草根茎, 或者采用凿型松土铲进行松土(深度为 100~200 mm)后, 直接将种子撒播在沟缝或松动的土壤中^[17]。由内蒙古农业机械研究所研制的 9MSB-2.1 型牧草免耕松土补播机, 采用圆盘刀划破草皮, 松土铲深松土壤, 双圆盘开沟器完成开沟^[18]。可见, 国内多采用波纹圆盘刀、犁刀或单圆盘开沟器划破草皮或松土以降低开沟器开沟入土难度并减少根茬拥堵, 从而实现

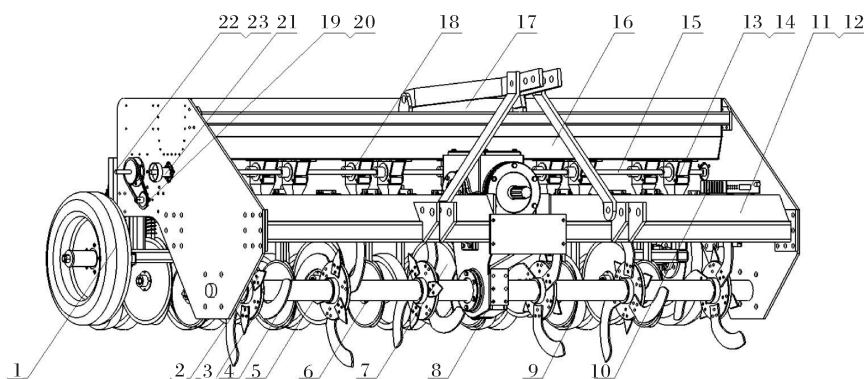
草地开沟。国外除采用上述开沟方式外,基于保护性耕作,还出现了一些新的开沟装置。如 Vamerali 等^[19]设计了宽幅扫掠式开沟器(wide-sweep opener),通过前置凿形铲左右对称的水平犁刀划破草皮,防止凿形铲开沟时的拥堵。Solhjou 等^[20]设计了一种折弯窄形开沟器(narrow openers with various bent leg),通过优化开沟器的折弯角度降低其对土壤的扰动。此外,国外还采用撒播或者喷施液态肥的方式避免开沟,尽量减少对草地的扰动与破坏^[21-23]。针对草地开沟问题,本研究旨在设计出易

于入土、通过性能好、对土壤扰动小、沟深稳定的开沟装置,实现草地切根施肥补播联合作业。

1 材料与方法

1.1 切根施肥补播复式作业机结构原理

切根施肥补播复式作业机结构原理如图1所示。该机主要由三点悬挂装置、机架、变速箱、排种电机、排肥电机、种肥箱、排种器、排肥器、开沟装置、切根装置、“V”型镇压轮、限深轮组成。机架由侧板与5根横梁组成,切根装置、种肥箱、排种器固定在



1.限深轮 Depth wheel; 2.破土刀齿 Soil break cutter; 3.切根刀盘 Root cutter disc; 4.切根刀 Root cutter; 5.切根刀轴 Root cutter shaft; 6.种沟双圆盘开沟器 Seeding double disc furrow opener; 7.肥沟双圆盘开沟器 Fertilizing double disc furrow opener; 8.变速箱 Transmission box; 9.“V”型镇压轮 Type “V” press wheel; 10.转速匹配控制器 Controller; 11.驱种电机 Seeding motor; 12.驱种链轮 Seeding driving sprocket wheel; 13.排种器 Seed metering device; 14.排种链轮 Seeding driven sprocket wheel; 15.排种轴 Seeding shaft; 16.种箱 Seed box; 17.肥箱 Fertilizer box; 18.排肥器 Fertilizer metering device; 19.驱肥电机 Fertilizing motor; 20.驱肥链轮 Fertilizing driving sprocket wheel; 21.排量调节器 Seeding quantity regulator; 22.肥轴 Fertilizing shaft; 23.肥轴链轮 Fertilizing driven sprocket wheel.

图1 切根施肥补播复式机的结构原理

Fig.1 Structural principle of machine of the root-cutter with fertilization and reseeding

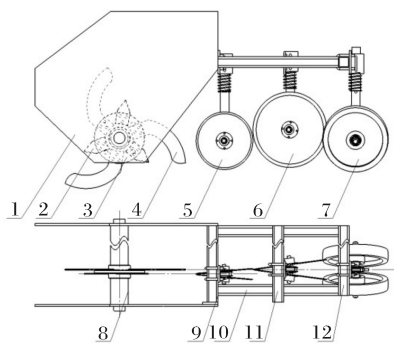
两侧板之间,开沟装置、“V”型镇压轮分别固定在不同的横梁上,限深轮固定在侧板外侧,排种电机与排肥电机固定在侧板内侧。

联轴器将拖拉机后输出轴的动力传递到变速箱,通过变速箱带动切根刀轴旋转,固定于切根刀轴上的切根刀盘随之旋转,完成破土切根作业。开沟装置随着机组的行进,形成种床与肥床。排种排肥的动力通过拖拉机自带的电瓶提供。转速匹配控制器通过采集的左右地轮的转速信号,将输入的12V电压输出,通过此信号控制输出电压的大小从而控制驱种电机与驱肥电机转速,实现电机的输出转速与机器行进速度同步,且能够根据不同农艺需要调节转速比,调节排种排肥量。通过“V”型镇压轮的镇压,将种肥压实。

1.2 分层交错式覆土开沟装置结构原理

分层交错式覆土开沟装置是切根施肥补播复式作业机的一部分,其通过配置切根刀、破土刀齿、种沟开沟器、肥沟开沟器的位置来实现分层交错式覆土开沟,其配置方式如图2所示。破土刀齿与切根刀分装在切根刀盘的两侧,且相邻破土刀齿与切根刀的夹角为 60° ,切根刀盘固定在刀轴上。种沟双圆盘开沟器与破土刀齿在一条直线上,肥沟双圆盘开沟器与切根刀在一条直线上,镇压轮与肥沟开沟器在一条直线上。通过调节开沟器支撑柄与固定滑套的销连位置,实现开沟深度调节。

工作中,拖拉机后输出轴动力传到刀轴,驱动刀盘旋转,刀盘带动切根刀与破土刀齿旋转,随着机组的前进完成图3所示工序:(1)切根刀切出1条宽



1.侧板 Side panel; 2.破土刀齿 Soil break cutter; 3.切根刀盘 Root cutter disc; 4.切根刀 Root cutter; 5.种沟双圆盘开沟器 Seeding double disc furrow opener; 6.肥沟双圆盘开沟器 Fertilizing double disc furrow opener; 7.“V”型镇压轮 Type “V” press wheel; 8.刀轴 Cutting shaft; 9.种沟开沟器梁 Seeding furrow opener beam; 10.方管 Square tube; 11.肥沟开沟器梁 Fertilizing furrow opener beam; 12.“V”型镇压轮梁 Press wheel beam.

图 2 分层交错式覆土开沟装置结构图
Fig.2 Structure of the layered- staggered- covering furrowing device

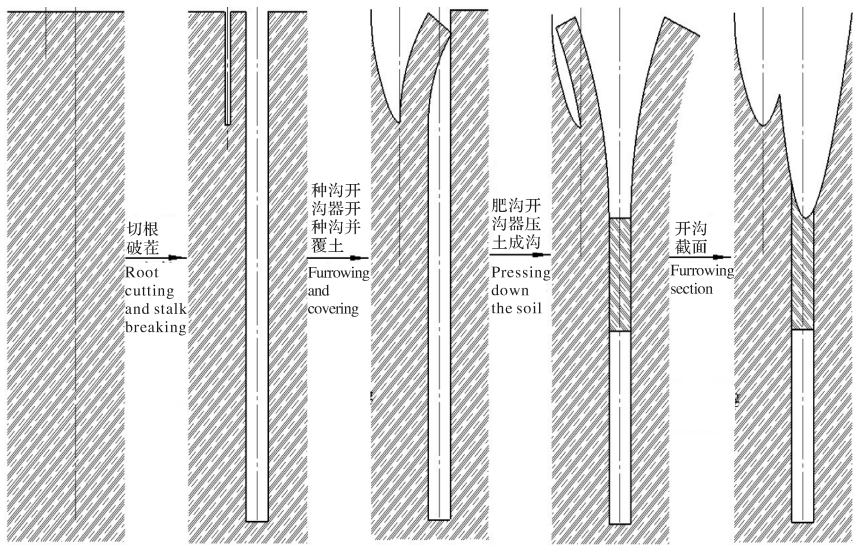


图 3 开沟流程图
Fig.3 Process of furrowing device

取 -0.1 的正弦指数曲线,得到刀口曲线表达式:

$$r=320\left(\frac{\sin(0.8-10\theta)}{\sin 0.8}\right)-10$$

式中: r 为刀尖点极径,mm; θ 为刀尖点极角,rad。在满足刚度要求的前提下,刀具厚度越小,切根沟缝的宽度越小,越有利于保护草地生态,取刀具厚度 6 mm ,刀具宽度 20 mm ,试验测得切根沟缝平均宽度为 10 mm 。破刀齿采用三角形结构,宽度与

10 mm 、深 20 cm 的窄缝;(2)破土刀齿划破草皮,为后续种沟开沟器的入土创造条件;(3)种沟开沟器浅开沟形成种床:切根过程中,切根沟两侧的土壤由于切根的扰动,土壤坚实度显著下降,将种沟开沟器布置在切根沟的临近侧,在破土刀齿与切根扰动的共同作用下实现浅开沟;(4)种沟开沟器浅开沟覆土,种沟开沟器入土开沟后将一部分土壤挤压至切根沟中;(5)肥沟开沟器压土成沟,肥沟开沟器将由种沟开沟器挤压至切根沟中的土压至指定深度,并将切根沟拓展,增大落种空间,从而形成较深的肥床;(6)肥沟开沟器覆土,肥沟开沟器在拓宽切根沟的过程中,将切根沟侧一部分土挤压至种沟。从而构建适宜的种床与肥床。

1.3 分层交错式覆土开沟装置参数设计

1)切根刀具与破土刀齿参数设计。切根刀采用弯刀结构,根据切根深度要求,切根刀的切根深度为 200 mm ,取刀盘半径 120 mm ,得到刀尖点半径为 320 mm 。根据试验研究结果^[24],刀具刃线为初始静态滑切角取 40° ,静态滑切角与极角的比例系数

切根刀相同,根据最大播深要求,破土刀齿破土深度为 50 mm 。

2)双圆盘开沟器配置参数设计。采用双圆盘开沟器,其破茬入土能力强,对土壤的扰动小,适宜草地开沟。2个双圆盘开沟器参数应满足:(1)种沟开沟器挤压至切根沟缝中的土量应大于或等于肥沟开沟器将土壤压至一定厚度所需的土量;(2)肥沟开沟器挤压至种沟中的土量应大于或等于种沟完全覆盖

所需的土量。

种肥沟双圆盘开沟器中^[9]：

$\cos\beta_1=(D_1-2h)/D_1;\cos\beta_2=(D_2-2L)/D_2。$

种沟开沟器挤压至切根沟缝中的土量为：

$$\frac{hD_1(1-\cos\beta_1)\sin(\varphi_1/2)}{2}。$$

肥沟开沟器将土壤压至一定厚度所需的土量为 dH 。种沟完全覆盖所需的土量为： $hD_1(1-\cos\beta_1)\sin(\varphi_1/2)$ 。

肥沟开沟器挤压至种沟中的土量为： $\frac{(H-h)D_2(1-\cos\beta_2)\sin(\varphi_2/2)}{2}$ 。由此，得到组合

式覆土开沟器的参数需满足： $hD_1(1-\cos\beta_1)\sin(\varphi_1/2)\geq 2dH; 2hD_1(1-\cos\beta_1)\sin(\varphi_1/2)\geq (H-h)D_2(1-\cos\beta_2)\sin(\varphi_2/2)。$

上式中： h 为种沟开沟深度，mm； L 为肥沟开沟

深度，mm； H 为覆土深度，mm； d 为切根沟缝的宽度，mm； D_1 为种沟双圆盘开沟器的直径，mm； D_2 为种沟双圆盘开沟器的直径，mm； θ_1 为种沟双圆盘开沟器的两盘夹角，(°)； θ_2 为肥沟双圆盘开沟器两盘的夹角，(°)； β_1 为种沟双圆盘开沟器的聚点角度，(°)； β_2 为肥沟双圆盘开沟器的聚点角度，(°)。

1.4 种沟与切根沟缝间距对土壤坚实度的影响试验

切根过程中，切根刀对土壤的扰动将会导致临近侧的土壤坚实度发生变化，采用如图 4 所示的对比试验确定这一影响程度与范围，确定种沟与切根沟缝距离与土壤坚实度的变化关系。试验中，采用 TJSD-750 型土壤坚实度仪测量土层深度为 50 mm（播种施肥最大深度），距离切根沟一侧 10、20、30 mm 的土壤坚实度以及未切根区同一相对位置的土壤坚实度，并对其进行比较，从而确定种沟与切根沟缝的最佳距离。

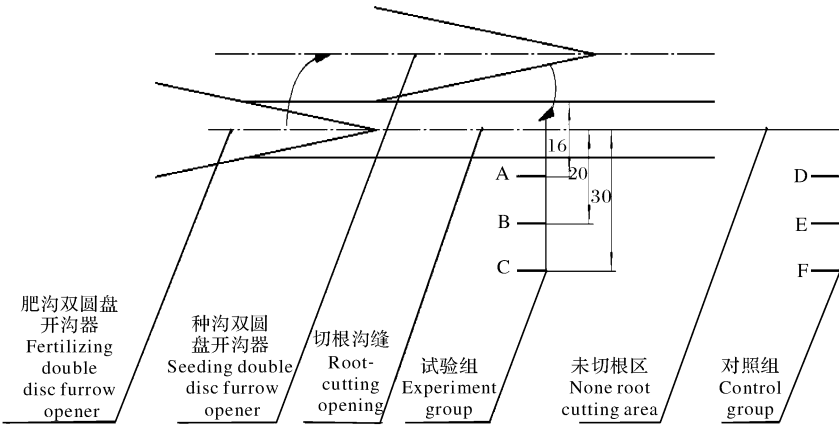


图 4 试验点测量位置图

Fig.4 Experiment principle between the soil firmness and the distance

1.5 开沟装置性能田间试验

为验证分层交错式覆土开沟装置的开沟效果，在内蒙古海拉尔市呼伦贝尔区（北纬 N49°12′47.59″ 东经 E119°44′19.64″）的国家牧草产业技术体系呼伦贝尔综合试验站进行了性能试验。试验草地为以羊草为优势植株的天然退化草地，试验地 0~5、5~10、10~15、15~20 cm 的土壤坚实度分别为 40.8、34.3、30.7、42.1 kg/cm²。试验机械为 9QFB-2.4 型破土切根施肥补播复式作业机，该机采用了分层交错式覆土开沟装置，图 5 为试验现场。

2 结果与分析

2.1 种沟与切根沟缝间距对土壤坚实度的影响

种沟与切根沟缝间距对土壤坚实度的影响试验

见表 1。由表 1 可知，切根后距离切根沟缝 10~30 mm 处的土壤坚实度与未切根相比，土壤坚实度平均下降 35%~62%，且随着切根沟缝距离的增大，土壤坚实度下降的幅度先增大后减小。这是由于切根过程中，机械部件一方面对切根沟缝临近侧的土壤造成了扰动，导致其坚实度下降；另一方面，切根产生的沟缝使临近侧的土壤失去了原有土壤的支撑力，从而导致土壤楔入阻力的下降。在 20 mm 附近的土壤坚实度下降最高，这是机械部件挤压（一侧）与稍远距离土壤的挤压（对侧）在该处相叠加所产生的结果。随着距离切根沟缝距离的增大，土壤扰动的作用又会减弱，导致其坚实度变化趋缓。可见，将开沟器布置在切根沟缝临近侧，有利于降低开沟阻力。



图 5 田间试验
Fig.5 Field experiment

种肥间距及种沟同切根沟缝的距离是相同的,种沟与切根沟缝越近,越有利于开沟,但过近会导致种肥间距过小,容易引起烧种现象。基于 10~20 mm 内土壤坚实度下降程度变化不大,而 20~30 mm 变化程度下降较快,将种沟与切根沟缝间的距离确定为 20 mm。

2.2 开沟装置性能田间试验结果

试验中将施肥播种深度均调整到 50 mm 时,分别取 10 个点,测得施肥和播种的平均开沟深度分别为 47.3 mm 和 44.7 mm。依据标准 NY/T 1354—2007^[25],让机组作业 20 m,取中间 10 m 为测量区

表 1 切根沟缝临近侧土壤坚实度变化情况
Table 1 The change of the soil firmness near the root-cutting opening

试验序号 No.	试验组/(kg/cm ²) Experiment group			对照组/(kg/cm ²) Control group			A 相对于 D 下降程度/% Decline degree between A and D	B 相对于 E 下降程度/% Decline degree between B and E	C 相对于 F 下降程度/% Decline degree between C and F
	A	B	C	D	E	F			
1	7.8	16.9	19.1	38.4	38.4	29.6	80	56	35
2	13.4	8.3	26.0	36.1	26.0	30.2	63	68	14
3	5.1	13.4	14.8	19.4	26.4	25.5	74	49	42
4	19.8	6.0	16.7	32.6	32.1	39.6	39	81	58
5	25.1	16.7	27.9	32.9	36.3	36.6	24	54	24
下降平均值 Average							56	62	35

域,测区每行均布 5 个测点。在测点上,垂直切开土层,测定肥料与牧草种子的覆土层厚度,按照上述国标要求,施肥播种深度在 40~60 mm 视为合格,得到施肥和播种深度合格率分别达到 80% 和 83%。

表明开沟装置能够实现入土开沟,并克服残茬根系的影响,通过性能良好,满足农艺要求,排肥排种开沟效果如图 6 所示。



图 6 排肥(A)排种(B)效果
Fig.6 Results of fertilizing (A) and reseeding(B)

依据 GB/T 25421—2010 试验方法^[26],测定切根沟缝宽度、肥沟开沟器开沟宽度、种沟开沟器开沟宽度及地表破坏程度的试验测试,试验结果见表 2。由表 2 可知,分层交错式覆土开沟原理的开沟方式,

能够实现稳定开沟,形成深 47.3 mm、宽 29.1 mm 的肥床与深 44.7 mm、宽 19.5 mm 的种床,达到国标要求。且分层交错式覆土开沟方式,土壤扰动不大于 14%,有利于草场植被的保护。

表 2 开沟效果测试结果
Table 2 The results of the furrowing device

试验序号 No.	切根沟缝宽度/mm Root cutting width						种沟开沟器开沟宽度/mm Seeding width						肥沟开沟器开沟宽度/mm Fertilizing width						破坏率/% Breaking degre
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
1	5.6	6.1	6.8	10.5	6.2	6.8	15.0	16.0	20.0	22.0	26.0	19.0	26.0	25.0	27.0	24.0	28.0	29.0	13.3
2	6.0	5.8	6.4	10.5	6.5	6.2	18.0	17.0	16.0	19.0	22.0	23.0	30.0	31.0	29.0	28.0	30.0	28.0	13.9
3	5.5	5.6	6.5	12.1	6.3	6.8	16.0	17.0	15.0	18.0	19.0	24.0	28.0	30.0	31.0	30.0	29.0	28.0	13.7
4	6.1	5.9	6.7	11.9	6.8	8.0	17.0	15.0	19.0	20.0	20.0	21.0	26.0	29.0	30.0	32.0	34.0	31.0	14.1
5	5.3	6.1	6.0	10.8	6.5	9.6	19.0	18.0	21.0	23.0	24.0	26.0	29.0	31.0	30.0	30.0	32.0	28.0	14.8
均值 Average	7.2						19.5						29.1						14.0

3 讨 论

草地土壤坚实度高,约为普通大田土壤的 10 倍,造成开口入土困难。本试验表明,在切根刀具扰动作用下,切根后距离切根沟缝 10~30 mm 处的土壤坚实度与未切根相比,土壤坚实度下降范围在 35%~62%,且随着与切根沟缝距离的增大,土壤坚实度下降的幅度先增大后减小,在 20 mm 处达到最大值 62%。产生这一现象的原因在于:机械部件一方面对切根沟缝临近侧的土壤造成了扰动,导致其坚实度下降。另一方面,切根产生的沟缝使临近侧的土壤失去了原有土壤的支撑力,从而导致土壤楔入阻力的下降。在 20 mm 附近的土壤坚实度下降最高,这是机械部件挤压(一侧)与稍远距离土壤的挤压(对侧)在该处相叠加所产生的结果。随着距离切根沟缝距离的增大,土壤扰动的作用又会减弱,导致其坚实度变化趋缓。土壤坚实度的下降,有利于降低开沟器入土阻力。基于上述原理与试验结果,采用破土刀齿破茬-种沟双圆盘开沟器开沟覆土-肥沟双圆盘开沟器压土成沟并覆盖种沟的分层交错式覆土开沟工艺,能够实现稳定开沟,形成深 47.3 mm、宽 29.1 mm 的肥床与深 44.7 mm、宽 19.5 mm 的种床,施肥和播种深度合格率分别达到 80%和 83%,且对土壤的扰动程度小于 14%,满足农艺与国标要求,从而为草地开沟提供了有效途径,实现草地切根施肥补播改良,有利于草地植被保护。但该方式会导致肥床下部出现空隙,其对肥效的影响有待进一步农艺试验研究。

参 考 文 献

[1] 宝音陶格涛.不同改良措施下退化羊草草原群落恢复演替规律研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2009.

[2] SCHNOOR T K, OLSSON P A. Effects of soil disturbance on plant diversity of calcareous grasslands[J]. Agriculture ecosystems and environment, 2010, 139(4): 714-719.

[3] JEROME S, SEBASTIEN G, FREDERIC B. Evaluation of the most common engineering methods for maritime cliff-top vegetation restoration[J]. Ecological engineering, 2012, 45: 45-54.

[4] 尤泳.退化羊草草地机械化破土切根改良技术优化研究[D].北京:中国农业大学,2011.

[5] YOU Y, WANG D C, LIU J D. A device for mechanical remediation of degraded grasslands[J]. Soil and tillage research, 2012, 118: 1-10.

[6] 尤泳,王德成,王光辉.9QP-830 型草地破土切根机[J].农业机械学报,2011,42(10):61-67.

[7] 梁方.草地切根施肥补播复式改良机械的优化设计与试验研究[D].北京:中国农业大学,2015.

[8] 中国农业大学.草地切根施肥补播复式作业机械:中国,ZL2012105810[P].2013-04-03.

[9] 中国农机研究院主编.农业机械设计手册(上)[M].北京:中国农业科学技术出版社,2007:373-386.

[10] 王益,刘军,王益权,等.黄土高原南部 3 种农田土壤剖面坚实度的变化规律[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(9):200-204;209.

[11] 张淑娟,裴正军,王凤花,等.农田土壤含水率和坚实度采集仪设计与试验[J].农业机械学报,2010,41(9):75-79.

[12] ALTIKAT S, CELIK A, GOZUBUYUK Z. Effects of various no-till seeders and stubble conditions on sowing performance and seed emergence of common vetch[J]. Soil and tillage research, 2013, 126: 72-77.

[13] KRAMBERGER B, PODVRŠINK M, GSELMAN A, et al. The effects of cutting frequencies at equal fertilizer rates on bio-diverse permanent grassland: soil organic C and apparent N budget[J]. Agriculture, ecosystems & environment, 2015, 212(20): 13-20.

[14] 贺长彬,尤泳,王德成,等.退化草地复合体力学特性与影响因素研究[J].农业机械学报,2016,47(4):79-89.

[15] 赵晓单,曾全超,安韶山,等.黄土高原不同封育年限草地土壤与植物根系的生态化学计量特征[J].土壤学报,2016,56(3): 1541-1551.

[16] 王振华.气流分配式牧草播种机关键部件优化与试验[D].北京:中国农业大学,2014.

[17] 杨士昆,苏正范,王德成,等.饲草生产与机械设备[M].北京:中

- 国农业出版社,2009:22-53.
- [18] 王志强,初尔庄,冯爱莲,等.9MSB-2.1 型牧草免耕松土补播机的研究与应用[J].农村牧区机械化,2008(2):47-48.
- [19] VAMERALI T, BERTOCCO M, SARTOE L. Effects of a new wide-sweep opener for no-till planter on seed zone properties and root establishment in maize (*Zea mays* L.): a comparison with double-disk opener[J]. Soil and tillage research, 2006, 89 (2): 196-209.
- [20] SOLHJOU A, FIELKE J M, DESBIOLLES J M A, et al. Soil translocation by narrow openers with various bent leg geometries[J]. Biosystems engineering, 2014, 127: 41-49.
- [21] BLAUSTEINR A, HILL R L, MICALLEF S A, et al. Rainfall intensity effects on removal of fecal indicator bacteria from solid dairy manure applied over grass-covered soil[J]. Science of the total environment, 2016, 539(1): 583-591.
- [22] SILVA M, FRANCO H C, PAULO S, et al. Liquid fertilizer application to ratoon cane using a soil punching method[J]. Soil and tillage research, 2017, 165: 279-285.
- [23] HENSGEN F, BUHLE L, WACHENDORF M. The effect of harvest, mulching and low-dose fertilization of liquid digestate on above ground biomass yield and diversity of lower mountain semi-natural grasslands[J]. Agriculture, ecosystems & environment, 2016, 216: 283-292.
- [24] 梁方,王德成,尤泳,等.草地破土切根刀具的刃口曲线设计与优化[J].中国农业大学学报,2016,21(6):100-107.
- [25] 中华人民共和国农业部. NY/T 1354—2007 中华人民共和国农业行业标准牧草免耕播种机[S]. 北京: 中国标准出版, 2007.
- [26] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 25421—2010. 牧草免耕播种机[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.

Design and experiment of furrowing device for root-cutter with fertilization and reseedling in grassland

LIANG Fang^{1,2} WANG Decheng^{2,3} YOU Yong^{2,3} WANG Guanghui^{2,3} HE Changbin²

1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

3. Key Lab of Soil-Machine-Plant System of Chinese Agriculture Ministry, China Agricultural University, Beijing 100083, China

Abstract The layered-staggered-covering furrowing device was designed to solve the difficulty in furrowing for grassland where the soil firmness is very high and the amount of the stubble and root are too great, and to realize fertilization and reseedling based on root cutting. The device included the process of stubble-cutting with cutting blade, forming seed bed and covering it with seeding double disc furrow opener, forming fertilizer bed and covering it with fertilization double disc furrow opener pressing down the soil to the specify depth in the root-cutting opening and pushing the soil to cover the seed. Results of comparison experiment showed that the relationship between the soil firmness and the distance between the seed bed and the root-cutting opening could be used to determine the arrangement of the two double disc furrow openers. It was confirmed that compared with the control group the average firmness of the soil decreased 62% when the above distance was 20 mm. The function that the parameters of the two furrow openers should be satisfied through theoretical deduction was established. The furrowing device was used on the 9QFB-2.4 root-cutter with fertilization and reseedling compound machine in the field experiment. The result showed that the device can furrow stably and form suitable fertilizer bed and seed bed. The depth and width of the fertilizer bed was 47.3 mm and 29.1 mm. The depth and width of the seed bed was 44.7 mm and 19.5 mm. The stability of fertilizing and seeding depth could achieve 83% and 80%, respectively. While the soil broken rate was just 14%, which benefits for the protection of the grassland vegetation.

Keywords grassland; root-cutting with fertilization and reseedling; soil firmness; furrowing device; soil breaking degree

(责任编辑:陆文昌)