

黄土丘陵沟壑区饲料油菜种植试验及其产业化前景 ——以延安治沟造地典型项目区为例

刘彦随^{1,2,3}, 陈宗峰², 李裕瑞^{1,3*}, 冯巍仑², 曹智¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 北京师范大学土地与城乡发展学院, 北京 100875;
3. 国土资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 北京 100101)

摘要: 沟道土地整治后, 如何实现土地的持续、高效利用成为黄土高原丘陵沟壑区面临的突出问题, 其关键在于如何充分发挥农牧交错区的比较优势, 因地制宜发展种养结合的农业生产模式。依托延安市宝塔区羊圈沟和顾屯沟实验基地, 通过大田试验研究了黄土丘陵沟壑区沟道土地整治后种植饲料油菜的技术要点, 并探讨了基于饲料油菜种植构建新型农业生产模式的思路。结果表明: (1) 延安地区具备种植春季饲料油菜的自然生态适宜性, 春播饲料油菜播量以 3.9~5.1 kg/hm² 为宜, 苗期密度宜控制在 22.5 万株/hm² 左右; (2) 饲料油菜种植需要一定的田间管理, 做到施足底肥, 适当追肥, 间苗遵循“五去五留”原则, 4~5 片真叶期定苗并适当追肥浇水; (3) 根据油菜多功能性, 黄土丘陵区可发展饲用、菜用+饲用、菜用+观光+油料等多种产品组合模式, 科学推广油菜种植可以促进集“种植+养殖+加工+观光”等于一体的多功能农业发展。

关键词: 治沟造地; 饲料油菜; 栽培技术; 发展前景; 延安

中图分类号: S634.3

文献标志码: A

文章编号: 1000-3037(2017)12-2065-10

黄土高原丘陵沟壑区沟壑纵横、地形复杂, 水土流失严重, 自 20 世纪 90 年代末期以来大力推进了退耕还林工程, 生态建设取得显著成效^[1-2]。但是, 退耕还林后梁峁坡面的耕地大幅减少, 日益影响到农户生计和粮食安全, 沟道由此成为黄土高原退耕还林还草后土地集约利用的重要切入点^[3-4]。长期以来, 由于深沟洪水侵蚀、基础设施建设滞后, 沟道土地利用的难度大、效率低。土地整治作为适时补充耕地、盘活存量土地、优化城乡用地、强化集约用地、提升土地产能的重要手段, 是新时期统筹城乡、惠及三农、强村富民的“民生工程”^[5]。近年来, 以延安市为典型的黄土高原丘陵沟壑区推进了中央财政支持的治沟造地土地整治重大工程, 规划整治沟道土地 50.6 万亩 (1 亩=1/15 hm²), 财政投资 48.32 亿^[3,6]。新近研究表明, 治沟造地对于保障沟道安全、提高沟道基础设施水平、提升沟道农业生产能力起到了积极作用^[7-8]。

沟道整治投资大, 后期的土地利用直接影响治沟造地工程的社会经济效果甚至成败。许多地方在治沟造地后, 仍延续原有的单季玉米模式。玉米在黄土高原丘陵沟壑区具有较高的产量, 但并不具有较好的比较经济效益。2015 年 11 月农业部下发的《关于

收稿日期: 2016-10-21; 修订日期: 2017-09-19。

基金项目: 国家重点研发项目 (2017YFC0504701); 国家自然科学基金项目 (41571166)。[Foundation items: National Key R & D Program of China, No. 2017YFC0504701; National Natural Science Foundation of China, No. 41571166.]

第一作者简介: 刘彦随 (1965-), 男, 汉族, 陕西绥德人, 研究员, 博士生导师, 长江学者特聘教授, 主要从事土地利用和城乡发展研究。E-mail: liuys@igsnrr.ac.cn

*通信作者简介: 李裕瑞 (1983-), 男, 汉族, 四川隆昌人, 副研究员, 硕士生导师, 研究方向为乡村地理与工程。E-mail: lyr2008@163.com

“镰刀弯”地区玉米结构调整的指导意见》指出, 当前我国玉米供大于求, 种植效益降低, 亟需优化种植结构和区域布局。北方农牧交错区是连接农业种植区和草原生态区的过渡地带, 其比较优势在于农牧结合, 应积极发展饲草种植和饲料油菜, 实现种养结合型调整, 提高治沟造地后沟道土地的利用效率, 推进沟道农业的专业化、现代化、多功能转型。

油菜属于十字花科芸薹属植物, 既是重要的油料作物, 又是优良的饲草作物。已有研究表明, 油菜秸秆可用于食用菌基料、培肥土壤、工业原材料、能源生产及饲料利用^[9-13]等多种用途。目前, 饲用油菜已在东北、宁夏、榆林等北方地区试种成功并取得较好效益^[14-16]。据测算, 1/15 hm²饲料油菜青贮后可供5~6头羊100 d饲料需要。按单产青饲料45 t/hm²计算, 相当于2 hm²中等草原1 a的产草量, 可供两头羊1 a的饲料^[14]。实地调研发现, 当地城乡居民对于油菜苗、油菜薹、油菜花、菜籽油等均较感兴趣, 而初花期的油菜和玉米秆全株青贮后可作为优质的饲料用于牛羊养殖。饲料油菜有助于构建种植、养殖、观光等于一体的多功能农业产业链, 有望助力“后退耕还林时代”黄土高原农业与乡村发展转型。为此, 课题组于2015年初开始在延安治沟造地项目区典型沟道开展了饲料油菜种植试验。本文重在介绍前期试验结果, 明确延安地区饲料油菜种植的技术要点与关键参数, 探讨构建农牧交错区以饲料油菜为核心的种养结合型农业生产新模式。据此, 为治沟造地后的黄土高原沟道土地集约高效利用和区域农业转型提供科学决策参考。

1 饲料油菜的营养特性

食草家畜营养平衡的瓶颈主要在于蛋白质匮乏^[17], 而饲料油菜粗蛋白含量高, 可满足草食动物生长发育对蛋白质的需求。由表1^[18-21]可见: 1) 饲料油菜(饲油1号、华协1号、华协2号)粗蛋白含量达到20%左右, 与豆科牧草(草木樨、箭舌豌豆、毛苕子)含量相近, 明显高于苜蓿、沙打旺、高丹草等其他牧草; 2) 脂肪是含能量最高的营养素, 饲料油菜的粗脂肪含量是所测牧草中相对较高的, 反映出较高的营养水平; 3) 粗纤维影响饲草的适口性, 与牧草营养价值呈负相关, 饲料油菜粗纤维含量相对较低; 4) 无氮浸出物(主要是碳水化合物)是家畜生命活动所需热量的主要来源, 饲料油菜的无氮浸出物略低于草木樨, 而高于其他豆科牧草; 5) 钙、磷是动物骨骼发育必需的元素, 饲草钙、磷水平直接影响家畜的健康, 饲料油菜的磷含量与豆科牧草相近, 略高于其他牧草, 钙含量略高于3种豆科牧草, 远高于其他牧草。总体而言, 饲料油菜具有较好的营养特性, 有益于草食动物生长发育。

2 材料与方法

2.1 试验区域

本试验依托黄土高原治沟造地与土地持续利用观测研究站开展。试验地位于延安市宝塔区李渠镇羊圈沟流域(109°31'17.91"E, 36°41'48.31"N)和甘谷驿镇顾屯流域(109°48'5.61"E, 36°47'37.38"N), 海拔分别为1 065和1 013 m, 区域气候为半干旱大陆性季风气候, 农业生产依赖天然降水, 雨热同期, 年日照2 563 h, 相对湿度56%, 无霜期195 d, 多年平均降水量约550 mm, 季节性分布不均且多集中于7—9月。实验区均为已实施延安治沟造地土地整治重大工程的项目区, 土壤为治沟造地复垦的黄绵土, 其农业

表1 饲料油菜与典型优质牧草的营养成分含量比较

Table 1 Comparison of nutritional contents of forage rape and typical high-quality forage grass (%)

品种	粗蛋白	粗脂肪	粗纤维	无氮浸出物	粗灰分	Ca	P	参考文献
饲油1号	23.46	4.03	11.65	43.86	17.00	1.79	0.46	董小英等 ^[17]
华协2号	20.44	2.62	15.93	47.10	13.29	2.11	0.30	董小英等 ^[17]
华协1号春油菜	21.68	2.39	15.93	48.20	11.80	2.43	0.19	牛菊兰等 ^[18]
苜蓿	17.00	2.30	25.20		7.20	1.27	0.23	成立新等 ^[19]
沙打旺	13.20	2.20	26.40		7.00	1.32	0.22	成立新等 ^[19]
高丹草	7.00	2.30	29.90		7.30	0.38	0.18	成立新等 ^[19]
狼尾草	6.50	1.30	34.00		7.70	0.13	0.04	成立新等 ^[19]
黑麦草	9.00	3.00	29.70		7.20	0.41	0.27	成立新等 ^[19]
一流牧草	13.04	1.49	13.66	60.23	11.56	0.27	0.19	牟海日等 ^[20]
绿地牧草	16.79	3.02	13.33	53.21	13.65	0.39	0.10	牟海日等 ^[20]
青贮玉米	6.40	2.10	33.00	50.30	8.20	0.27	0.25	牟海日等 ^[20]
草木樨	19.52	2.63	17.08	49.19	11.58	1.88	0.29	董小英等 ^[17]
箭舌豌豆	21.97	1.25	23.77	37.89	15.12	1.53	0.32	董小英等 ^[17]
毛苕子	24.74	2.38	19.69	39.87	13.32	1.43	0.35	董小英等 ^[17]
玉米秸秆	6.43	1.09	35.18	45.26	12.04	0.78	0.15	牛菊兰等 ^[18]

注: 油菜 (*Brassica napus* L.)、苜蓿 (*Medicago sativa*)、沙打旺 (*Astragalus adsurgens*)、高丹草 (*Sorghum bicolor* × *S. sudanense*)、狼尾草 (*Pennisetum alopecuroides*)、黑麦草 (*Lolium perenne*)、草木樨 (*Melilotus suaveolens* Ledeb)、箭舌豌豆 (*Vicia sativa* L.)、毛苕子 (*Vicia villosa*)、玉米 (*Zea mays* L.)。

生产特性研究对于治沟造地后的土地可持续利用实践具有参考意义。

2.2 试验材料

试验材料选择华中农业大学傅廷栋院士研究团队选育的中熟品种华油杂62。该品种为甘蓝型半冬性细胞质雄性不育三系杂交种, 芥酸含量0.10%, 饼粕硫苷含量26.74 μmol/g, 品质达“双低”油菜品种标准。

2.3 试验设计

本试验运用大田试验, 设不同播期和不同种植密度两个变量。播种日期为4月19日、5月9日、6月10日, 分别标记为A1、A2、A3; 种植密度用播种量控制, 依次为3.9、5.1、6.5 kg/hm², 相应的植株密度分别为15.0万株/hm²、22.5万株/hm²、30.0万株/hm², 分别标记为B1、B2、B3。播期是按当地农业种植经验来设定, 一般选择雨后墒情较好情况下种植, 采用旋耕机翻地, 并施足底肥(施复合肥600 kg/hm²), 统一田间管理。

2.4 测定项目

样本选取: 在油菜初花期, 从每个试验田随机抽取10株样本, 并测量株高、根茎粗、单株鲜重等指标。株高利用卷尺直接测量, 最后计算平均值; 根茎粗用游标卡尺测量, 最后计算平均值; 单株鲜重利用称重法测定, 最后计算平均值。关于产量测定: 在油菜初花期, 从每个处理/试验田割取1 m²植株, 进行称重, 重复3次, 计算平均值。

有效积温和降雨量是影响油菜生长的主要气象要素^[22]。基于试验站气象观测仪记录的数据, 计算不同播期下的生长周期、有效积温、日均温及降雨量, 探寻水热条件对延安地区饲料油菜生长的影响。

2.5 数据处理

试验数据用Excel软件处理, 借助SPSS统计软件对数据进行LSD单因素方差分析。

3 试验结果与分析

3.1 不同播期的饲料油菜生长性状及产量

不同播种日期条件下饲料油菜生长性状存在显著差异(表2)。不同播种日期间饲料油菜平均株高、茎粗和单株鲜重均表现为A3>A1>A2,且A3组与A1和A2组相比株高分别增加了13%和20%,茎粗分别增加了5%和13%,单株鲜重分别增加了11%和26%。在相同播种密度条件下,不同播种日期间饲料油菜平均株高、茎粗和单株鲜重等产量性状表现为先减后增变化趋势,且A3组饲料油菜产量性状最优(图1)。同时,在低密度(15.0万株/hm²)和中密度(22.5万株/hm²)播种条件下,饲料油菜因播期不同,生长性状差异显著。而在高密度(30.0万株/hm²)播种条件下,不同播期饲料油菜生长性状差异不显著。总体来看,播种日期对饲料油菜生长有明显影响,本轮试验中播期在6月10

表2 不同试验处理方式下的饲料油菜生长性状及产量

Table 2 Growth characteristics and yield of forage rape with different treatments

播期	试验处理方式	种植密度/(万株/hm ²)	株高/cm	茎粗/mm	单株鲜重/g	理论单产/(kg/hm ²)
4月19日	A1B1	15.0	109.0 ^a	12.9 ^a	161.0 ^a	27 345 ^b
	A1B2	22.5	101.5 ^a	11.7 ^b	168.4 ^a	38 745 ^a
	A1B3	30.0	90.3 ^b	9.6 ^c	58.0 ^b	20 955 ^c
平均			100.3 ^b	11.4 ^a	129.1 ^b	29 010 ^b
5月9日	A2B1	15.0	102.2 ^a	11.3 ^a	153.6 ^c	25 680 ^b
	A2B2	22.5	92.0 ^b	11.2 ^a	136.5 ^b	31 455 ^a
	A2B3	30.0	87.5 ^b	9.3 ^b	50.3 ^c	17 610 ^c
平均			93.9 ^b	10.6 ^b	113.5 ^c	24 825 ^c
6月10日	A3B1	15.0	114.8 ^a	13.9 ^a	195.4 ^a	33 225 ^b
	A3B2	22.5	125.5 ^a	12.0 ^b	173.8 ^b	41 730 ^a
	A3B3	30.0	98.8 ^b	10.1 ^c	59.8 ^c	21 885 ^c
平均			113.0 ^a	12.0 ^a	143.0 ^a	32 280 ^a

注:相同播期不同种植密度相比,数据后不同小写字母表示在5%水平下差异显著;不同播期的平均值相比,数据后不同大写字母表示在5%水平下差异显著。

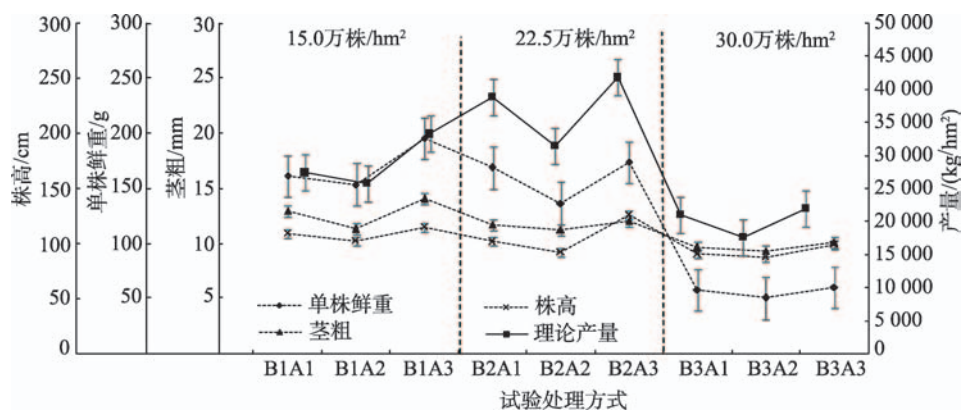


图1 不同播期的饲料油菜生长性状及产量

Fig. 1 Growth characteristics and yield of forage rape sowed on different dates

日的饲料油菜长势相对较好。

从产量来看,不同播种日期条件下饲料油菜经济产量差异显著,且 $A3>A1>A2$ (表2)。A3组平均产量比A1和A2分别增加11%和30%。表明本轮试验中6月10日播种的饲料油菜可获得较高产量。由图1可见,相同播种密度而不同播种日期条件下,饲料油菜单产呈先减少后增加趋势;在低密度和中密度播种条件下,饲料油菜单产随播种日期推移变化明显,而在高密度播种条件下,不同播期的饲料油菜单产差异不显著且产量都较低。综上,本轮试验中播种日期对饲料油菜单产有明显影响,且播期在6月10日的单产较前两期明显更高。

3.2 不同种植密度的饲料油菜生长性状及产量

不同播种密度条件下饲料油菜的生长性状存在显著差异性,且株高、根茎粗、单株鲜重均表现为 $B1>B2>B3$,呈逐渐降低趋势(图2)。在A1和A3播种日期下,B1、B2组株高与B3组株高差异显著。而在A2播种日期下,B2、B3组株高与B1组株高差异显著。由此,播种密度对饲料油菜的生长性状影响较大,且低密度下饲料油菜生长性状相对较好。

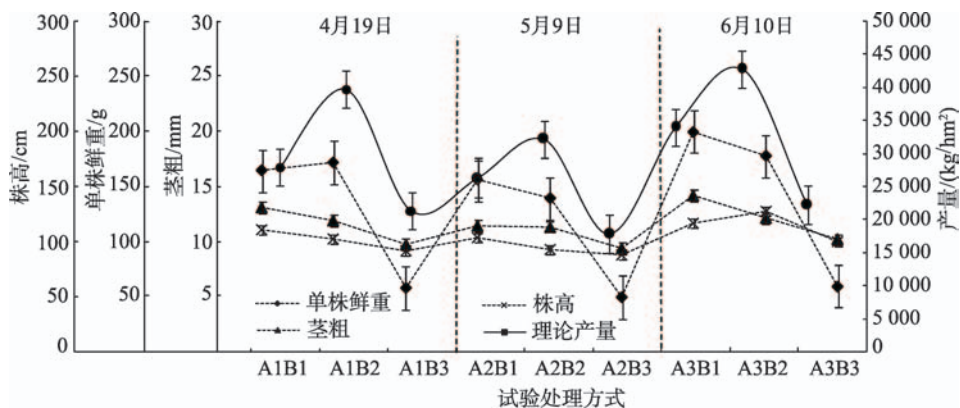


图2 不同播种密度的饲料油菜生长性状及产量

Fig. 2 Growth characteristics and yield of forage rape with different sowing densities

从产量来看,不同播期条件下,B1、B2、B3组之间油菜产量均存在显著差异性,而且种植密度与产量之间呈正态分布(图2),即随着种植密度增加,产量先增加后减少。相对而言,22.5万株/hm²为延安沟道春季饲料油菜的较佳种植密度,油菜产量分别比15.0万株/hm²和30.0万株/hm²油菜产量高30%和80%。其中6月10日播种,种植密度为22.5万株/hm²条件下的经济产量达到41 730 kg/hm²。

3.3 水热条件与饲料油菜生长

不同播期水热条件与油菜生长的耦合分析表明(表3):1)在油菜苗期阶段,A3组油菜较A2组和A1组的有效积温分别增加37.5℃和146℃,日均温分别增加2℃和4.1℃,降雨量分别增加82.1和59.2mm;2)在现蕾抽薹期阶段,A3组油菜较A2组和A1组有效积温分别增加52.5℃和49.0℃,日均温分别增加1.6℃和3.1℃,降雨量较5月9日减少33.8mm,较4月19日增加81.6mm;3)一般情况下,油菜生长阶段日均温和有效积温越高则生育周期会相应缩短,但是A2组油菜的苗期却较A1组多出2d,这主要是因为A2组油菜苗期降雨量较A1组减少44.2%,降雨不足导致土壤墒情较差,从而延

表3 不同播期下各生育期气候条件比较

Table 3 Climate conditions during each growing period when sowed on different dates

播期	生育阶段	天数/d	有效积温/℃	日均温/℃	降雨量/mm
A1 (4月19日)	苗期	42	316.0	17.5	74.7
	现蕾抽薹期	29	314.5	20.5	10.1
A2 (5月9日)	苗期	44	424.5	19.6	51.8
	现蕾抽薹期	26	311.0	22.0	125.5
A3 (6月10日)	苗期	40	462.0	21.6	133.9
	现蕾抽薹期	27	363.5	23.6	91.7

缓油菜苗期的生长发育,并影响产量。油菜是喜水作物,应加强关键生育期特别是苗期和现蕾抽薹期的水分管理。

关于播种密度与油菜生长,在油菜苗期降雨量相对较充足时,限制株高生长的播种密度阈值相对较高一些,而油菜苗期生长缺水时,限制株高生长的播种密度阈值相对降低。因此,在A2播种期间,当油菜种植密度达到22.5万株/hm²时,油菜株高便开始受到显著影响。在A1和A3播种日期下,B1、B2、B3之间根茎粗差异性显著,在A2播种日期下,B1、B2差异不显著。说明油菜苗期降雨相对充足时,根茎粗随播种密度不同差异显著;当苗期缺水时,中低密度条件下根茎粗差异不显著。油菜单株鲜重随播种密度不同表现出较高的差异性,这主要是由于过高的种植密度不仅增加植株之间对水分、养分的争夺,也会因为地上生长空间不足而显著降低油菜单株产量^[23]。

4 黄土丘陵区饲料油菜种植技术要点

4.1 适期播种,合理种植

根据延安历年降雨数据,延安春油菜在4月中旬至5月上旬即可播种,可条播或撒播,一般应选择雨后土壤墒情较好时进行播种。播种深度2~3 cm,行距30~40 cm,株距10~15 cm,播种量控制在3.9~5.1 kg/hm²,保苗率控制在22.5万株/hm²左右。

4.2 施足底肥,适当追肥

延安地区主要以黄绵土为主,其土质疏松易于耕作,但是保水保肥性较差,而油菜的产量性状对土壤氮、磷、钾等元素含量较为敏感^[24]。因此,延安春播饲料油菜应施足底肥,并适当追施氮肥。一般情况下每hm²施用磷酸二铵300 kg、尿素45~75 kg或600 kg复合肥,4~5叶苗期每hm²可适当追施尿素45~75 kg。

4.3 加强管理,以促高产

加强田间管理是油菜获得高产的必要条件,延安地区年降雨量相对较少,合理的田间管理措施显得尤为重要,具体管理措施详见表4。

5 黄土丘陵区饲料油菜产业发展前景

本实验表明,延安沟道地区适宜油菜种植,即便是治沟造地工程复垦农田的单产也可达到41 730 kg/hm²。通常,该产量相当于2 hm²中等草原的年产草量,且营养成分丰富(表1),青贮后可供5~6头羊食100 d的饲料^[14]。市场调研表明,油菜作为收益相对较高的经济作物还具有多种利用价值(图3)。油菜幼苗期便可采摘食用,具有较高的营养

表4 黄土丘陵沟壑区饲料油菜田间管理主要措施及技术要点

Table 4 Main measures and techniques of field management

田间管理措施	技术要点
间苗与定苗	间苗在2~3片真叶期进行, 定苗在4~5片真叶期完成; 间苗应遵循去密留匀、去弱留壮、去小留大、去病留健、去杂留纯原则; 在缺苗断垄较严重时, 还应及时做好补种或补苗工作。
适时追肥、浇水	底肥不足时应早施苗肥, 一般在5片真叶时, 结合中耕松土追施少量速效化肥或尿素; 延安春旱严重, 油菜苗期应注意浇水防旱, 一般结合追肥浇水一次。
中耕除草	第一次中耕在齐苗后结合间苗进行, 深度3~5 cm; 第二次中耕在定苗以后进行。
病虫害防治	1~2片真叶期注意防治跳甲, 具体可播前用48%乐斯本300~600 ml/hm ² 进行拌种; 4~5片真叶期注意防治菜青虫, 具体可用20%灭扫利乳油2 500倍液喷雾; 蕾期以防治蚜虫为主, 具体可用50%抗蚜威2 000~3 000倍液喷雾。

注: 浇水或降雨后若土层表面板结要及时进行破除板结工作, 以免影响油菜正常发芽生长。

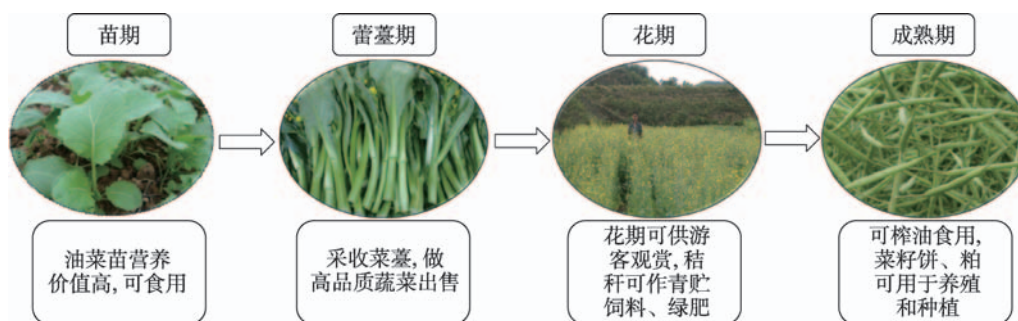


图3 饲料油菜的多功能性

Fig. 3 The multifunction of forage rape

价值, 可售给城乡居民获得收益。油菜菜薹营养价值高, 在油菜蕾薹期可通过采收菜薹做高档蔬菜带来附加收益。每年8—9月是市场上绿叶蔬菜类供应淡季, 正是复种油菜菜薹现蕾阶段。在不影响油菜产量的情况下, 通过菜薹可增收3 000~4 500元/hm²。油菜花盛开时是一道亮丽的风景线, 可用于观光旅游。在油菜进入花期不久也可以将其收割青贮。傅廷栋院士通过研究发现饲料油菜营养价值高, 适口性好, 具有极高饲用价值, 可为畜牧业发展提供大量优质饲料, 并能有效解决部分地区牲畜冬季缺草的难题, 实现种植业与畜牧业的有机结合, 可有效带动农民增收致富, 而且油菜作为优质绿肥还可培肥土壤, 提高土壤肥力^[25]。如果油菜青贮用不完, 且光热资源能满足后续籽实生长需求, 可以让油菜继续生长, 榨油食用。榨完油的油菜籽还可做成菜籽饼粕作为牛羊饲料或者还田培肥土壤等。

根据油菜的多功能性, 黄土丘陵区当地可发展多种产品组合模式, 比如: 1) 单纯做饲料用于养殖——抽薹或现蕾期便可收割油菜秸秆, 青贮加工制作成饲料用于养殖; 2) 菜用+饲用模式——抽薹期适当收获油菜菜薹销售到市场获得附加收益, 现蕾期收割油菜秸秆, 青贮加工制作成饲料用于养殖; 3) 菜用+观光+油料模式——抽薹期适当收获油菜菜薹销售到市场获得附加收益, 盛花期形成沟道亮丽风景线可发展观光旅游, 油菜成熟后收获油菜籽榨取食用油。

当前,延安沟道内主要种植模式为单季玉米,增收效果有限且不符合我国农业结构调整的宏观战略布局。科学推广油菜种植可以促进“种植+养殖+加工+观光”的多功能农业发展,具有优化产业结构、快速培肥地力、改善沟道景观、增加农民收入等多重功效。如果能进一步实现合作化、专业化、基地化,对于创新黄土高原沟道农业生产模式更具现实意义。

6 结论与讨论

1) 由于延安地区光热水土要素的动态差异性,播种日期和种植密度对饲料油菜的株高、根茎粗、单株鲜重和产量等产生明显影响。油菜为喜水作物,且对苗期生长的水分管理情况尤为敏感,故应根据降水规律选择适宜播期,并做好苗期的灌溉工作。相较而言,当播种密度在22.5万株/hm²左右时,饲料油菜产量更高。在密度适宜、管理得当的情况下,春播饲料油菜的产量可以达到41 730 kg/hm²(约合亩产2 800 kg)。

2) 黄土丘陵区降水季节分布不均匀,春季降雨相对较少,加强田间管理成为春播油菜高产保收的重要内容,应适期播种、合理种植,施足底肥、适当追肥。试验表明,延安地区播种量应控制在3.9~5.1 kg/hm²;每hm²施用磷酸二铵300 kg、尿素45~75 kg或600 kg复合肥;间苗做到“五去五留”原则,4~5片真叶期完成定苗并适当追肥、浇水;苗期中耕两次,深度3~5 cm为宜,并及早做好病虫害防治工作。

3) 黄土丘陵区农业生产的比较优势在于农牧结合。根据油菜的多功能性,黄土丘陵区可发展养殖、菜用+饲用、菜用+观光+油料等多种产品组合模式。科学推广油菜种植具有优化产业结构、快速培肥地力、改善沟道景观、增加农民收入等多重功效,并且符合国家最新出台的关于调减“镰刀湾地区”玉米种植规模的政策方向,具有较好的发展前景。在农业生产链条中引入饲料油菜,可为当地实现“一季变两季”、“一业变三业”奠定基础。

4) 本试验初步验证了黄土丘陵区在治沟造地后进行饲料油菜种植的可行性。后续将进一步开展油菜种植与各型小杂粮、马铃薯、特种玉米等其他作物的间套作模式研究,并探索适宜于黄土丘陵区的饲料油菜青贮技术、饲料加工技术等延长农副产品产业链的相关技术,探索治沟造地过程中如何同步推进农业合作化、专业化、基地化建设,进而创新黄土高原沟道土地综合整治、农业结构调整、富农惠民增收模式。

参考文献(References):

- [1] 傅伯杰,赵文武,张秋菊,等.黄土高原景观格局变化与土壤侵蚀[M].北京:科学出版社,2014. [FU B J, ZHAO W W, ZHANG Q J, et al. Landscape Pattern Changes and Soil Erosion in Loess Plateau. Beijing: Science Press, 2014.]
- [2] LÜ Y H, FU B J, FENG X M, et al. A policy-driven large scale ecological restoration: Quantifying ecosystem services changes in the Loess Plateau of China [J]. PloS One, 2012, 7(2): e31782.
- [3] 刘彦随.土地综合研究与土地资源工程[J].资源科学,2015,37(1): 1-8. [LIU Y S. Integrated land research and land resources engineering. Resources Science, 2015, 37(1): 1-8.]
- [4] 魏宏安,王介勇.延安市黄土丘陵沟壑区沟道土地整治适宜性评价研究[J].地域研究与开发,2013,32(3): 129-132. [WEI H A, WANG J Y. Assessment of land consolidation suitability in loess hilly-gully region in Yan'an City. Areal Research and Development, 2013, 32(3): 129-132.]
- [5] 刘彦随.科学推进中国农村土地整治战略[J].中国土地科学,2011,25(4): 3-8. [LIU Y S. Scientifically promoting the strategy of reclamation and readjustment of rural land in China. China Land Sciences, 2011, 25(4): 3-8.]

- [6] 刘彦随, 李裕瑞. 黄土丘陵沟壑区沟道土地整治工程原理与设计技术 [J]. 农业工程学报, 2017, 33(10): 1-9. [LIU Y S, LI Y R. Engineering philosophy and design scheme of gully land consolidation in Loess Plateau. Transactions of the CSAE, 2017, 33(10): 1-9.]
- [7] LIU Q, WANG Y Q, ZHANG J, et al. Filling gullies to create farmland on the Loess Plateau [J]. Environmental Science & Technology, 2013, 47(14): 7589-7590.
- [8] LIU Y S, GUO Y J, LI Y R, et al. GIS-based effect assessment of soil erosion before and after gully land consolidation: A case study of Wangjiagou Project Region, Loess Plateau [J]. Chinese Geographical Science, 2015, 25(2): 137-146.
- [9] 韦会平, 刘正宇, 谭杨梅, 等. 农作物秸秆栽培灵芝试验效果评价 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(11): 145-147. [WEI H P, LIU Z Y, TAN Y M, et al. Experimental study on Ganoderma cultivating with crop stalks. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(11):145-147.]
- [10] 戴志刚, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 不同作物还田秸秆的养分释放特征试验 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 272-276. [DAI Z G, LU J W, LI X K, et al. Nutrient release characteristic of different crop straws manure. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 272-276.]
- [11] 付自政, 熊汉国, 汪振炯. 油菜秆纤维/PVC木塑材料的研究 [J]. 塑料工业, 2008, 36(4): 67-69. [FU Z Z, XIONG H G, WANG Z J. Study of rape straw fibre/PVC composite. China Plastics Industry, 2008, 36(4): 67-69.]
- [12] 万楚筠, 黄凤洪, 刘睿, 等. 微生物预处理油菜秸秆对提高沼气产量的影响 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 267-271. [WAN C J, HUANG F H, LIU R, et al. Effect on increasing biogas production using rape straw by microbiological pre-treatment. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 267-271.]
- [13] 朱明, 谢奇珍, 吴谋成, 等. 油菜饼粕浓缩饲用蛋白的产业化实现及其经济效益分析 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 309-312. [ZHU M, XIE Q Z, WU M C, et al. Industrialized technology and economic benefit analysis for extracting feeding protein concentrates from rapeseed meal. Transactions of the CSAE, 2008, 24(2): 309-312.]
- [14] 傅廷栋. 复种饲料油菜可一举多得 [N]. 农民日报, 2015-08-18. [FU T D. Multiple cropping rape can serve multiple purposes. Farmers' Daily, 2015-08-18.]
- [15] 傅廷栋, 涂金星, 张毅, 等. 在我国西北部地区麦后复种饲料油菜的研究与利用 [J]. 中国西部科技, 2004(6): 4-7. [FU T D, TU J X, ZHANG Y, et al. The research and utilization of multiple cropping rape after wheat cropping in north-west China. Science and Technology of West China, 2004(6): 4-7.]
- [16] 徐爱遐, 黄镇, 鲁瑞文, 等. 榆林地区冬油菜引种及高产栽培技术研究 [J]. 陕西农业科学, 2013(6): 102-105. [XU A X, HUANG Z, LU R W, et al. Study on introduction and high yield cultivation techniques of winter rape in Yulin. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2013(6): 102-105.]
- [17] 郭正刚, 张自和, 高淑兰. 河西绿洲区草畜间粗蛋白质和能量供求关系及其调控措施 [J]. 草业学报, 2002, 11(3): 22-28. [GUO Z G, ZHANG Z H, GAO S L. Supply and demand of nutrient between livestock and forage and its forage provision plan in oasis region of Hexi Corridor. Acta Prataculturae Sinica, 2002, 11(3): 22-28.]
- [18] 董小英, 唐胜球. 饲料油菜生物学特性及应用研究进展 [J]. 饲料与畜牧, 2014(7): 9-11. [DONG X Y, TANG S Q. Research progress on biological characteristics and application of feed rape. Feed and Animal Husbandry, 2014(7): 9-11.]
- [19] 牛菊兰, 杨祁峰, 滕怀渊, 等. 双低油菜华协1号青饲效果的研究 [J]. 草业学报, 2003, 12(1): 90-93. [NIU J L, YANG Q F, TENG H Y, et al. Evaluation of feeding value of Huaxie 1 rape (*Brassica napus*) to sheep. Acta Prataculturae Sinica, 2003, 12(1): 90-93.]
- [20] 成立新, 杨瑞杰, 格根图, 等. 5种饲草的分级指数测定与评价 [J]. 草业科学, 2013, 30(8): 1284-1288. [CHENG L X, YANG R J, GE G T, et al. Measurement and evaluation of grading indexes (GI) of five forages. Pratacultural Science, 2013, 30(8): 1284-1288.]
- [21] 牟海日, 王春朋, 胡立艳. 辽宁地区种植国外饲料油菜的试验报告 [J]. 中国奶牛, 2012(3): 9-11. [MOU H R, WANG C P, HU L Y. The experiment report of planting foreign feed rape in Liaoning. China Dairy Cattle, 2012(3): 9-11.]
- [22] 廖桂平, 官春云. 不同播期对不同基因型油菜产量特性的影响 [J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 853-858. [LIAO G P, GUAN C Y. Effect of seeding date on yield characteristics of different rapeseed (*Brassica napus*) genotypes. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(6): 853-858.]
- [23] 曾宇, 雷雅丽, 李京, 等. 氮、磷、钾用量与种植密度对油菜产量和品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 146-153. [ZENG Y, LEI Y L, LI J, et al. Effects of application amounts of nitrogen, phosphate and potassium and

- planting density on yield and quality of rapeseed. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2012, 18(1): 146-153.]
- [24] 韩自行, 张长生, 王积军, 等. 氮肥运筹对稻茬免耕油菜农艺性状及产量的影响 [J]. *作物学报*, 2011, 37(12): 2261-2268. [HAN Z X, ZHANG C S, WANG J J, et al. Effects of nitrogen application on agronomic traits and yield of rapeseed in no-tillage rice stubble field. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(12): 2261-2268.]
- [25] 傅廷栋, 梁华东, 周广生. 油菜绿肥在现代农业中的优势及发展建议 [J]. *中国农技推广*, 2012, 28(8): 37-39. [FU T D, LIANG H D, ZHOU G S. The advantage and development suggestion of green manuring by rape in modern agriculture. *China Agricultural Technology Extension*, 2012, 28(8): 37-39.]

The Planting Technology and Industrial Development Prospects of Forage Rape in the Loess Hilly Area —A Case Study of Newly-increased Cultivated Land Through Gully Land Consolidation in Yan' an, Shaanxi Province

LIU Yan-sui^{1,2,3}, CHEN Zong-feng², LI Yu-rui^{1,3}, FENG Wei-lun², CAO Zhi¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. College of Land and Urban-rural Development, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, Beijing 100101, China)

Abstract: The sustainable and efficient utilization of land resource has become a prominent problem in loess hilly-gully region since gully land consolidation. The key issue is to bring the advantages in the agro-pastoral ecotone into full play and develop an agriculture production pattern combining farming and animal husbandry according to the local conditions. This paper analyzed the effects of planting date and seeding density on the growth characteristics and yield of forage rape based on the plot experiments in the Yangjuangou catchment and the Gutun catchment and then explored the new agriculture production mode in the agro-pastoral ecotone. The results indicated that: 1) The seeding date of forage rape should be earlier, mid-April is good, and the suitable density of spring forage rape is 225 000 per hectare. The appropriate seeding rate of spring forage rape is 3.9–5.1 kg/hm². 2) The spring forage rape needs enough base fertilizer and appropriate topdressing. The principle of “five abandon five reserve” should be followed when thinning out, and singling and watering should be done in the 4–5 leaf stage. 3) According to the multifunction of forage rape, the modes of livestock breeding, vegetable–livestock breeding, vegetable–sightseeing–rapeseed oil can be developed in Yan' an.

Key words: gully land consolidation; forage rape; planting technology; development prospect; Yan' an