

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2016.03.005

岷江上游干旱半干旱河谷区生境质量评价 ——以杂谷脑河为例

郭建¹, 徐敏², 陈俊华³, 谢天资³, 黎燕琼³, 龚固堂³, 卿刚⁴, 慕长龙^{3*}

(1. 汶川县环境保护和林业局, 四川 汶川 623000; 2. 通江县南教城林场, 四川 通江 635700;
3. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081; 4. 理县环境保护和林业局, 四川 理县 623100)

摘要:以岷江上游杂谷脑干旱河谷区作为研究对象,利用实地调查资料,结合森林资源二类调查小班数据和林地保护利用资料,根据地形、土壤、水分、植被等9个因子对该区域的生境质量进行了评价,并根据评价结果提出了合适的造林措施和对策,为该区域的造林树种选择和配置模式提供科学依据和理论指导,同时也为类似困难立地条件地区的人工植被恢复提供参考依据。

关键词:岷江上游;杂谷脑河;干旱半干旱河谷区;生境质量评价;层次分析法

中图分类号:S718 文献标识码:A 文章编号:1003-5508(2016)03-0025-06

Evaluation on Habitat Quality in Arid and Semi-arid Valley Area of the Upper Reaches of the Minjiang River ——Using the Zagunao River as an Example

GUO Jian¹ XU Min² CHEN Jun-hua³ XIE Tian-zi³ LI Yan-qiong³
GONG Gu-tang³ QING Gang⁴ MU Chang-long^{3*}

(1. Environmental Protection and Forestry Bureau of Wenchuan County, Wenchuan 623000, Sichuan;
2. Nanjiaochang Forest Farm, Tongjiang 635700; 3. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China;
4. Environmental Protection and Forestry Bureau of Lixian County, Lixian 623100, Sichuan)

Abstract: Selecting the Zagunao River arid valley area in the upper reaches of the Minjiang River valley as the research object, using the data of field investigation, combined with investigation subcompartment data of forest resources and forest land use data protection, and based on factors such as the topography, soil, water, vegetation and so on, nine factors of habitat quality were evaluated in the region, and afforestation measures and countermeasures were put forward according to the evaluation results, aiming to provide scientific basis and theoretical guidance for the area of afforestation tree species selection and configuration model, but also for the similar difficult site conditions in artificial vegetation restoration.

Key words: The upper reaches of Minjiang river, Zagunao river, Arid and semi-arid valley area, Habitat quality evaluation, Analytic hierarchy process method

收稿日期:2016-02-04

基金项目:四川省省财政专项“岷江流域干旱半干旱河谷区生境分类及应用研究”(ZL2015-17)。

作者简介:郭建(1975-),男,四川汶川人,工程师,主要从事森林培育工作。E-mail:295454166@qq.com。

* 通讯作者:慕长龙(1964-),男,重庆江津人,博士,研究员,博士生导师,主要从事森林生态、森林培育和城市森林研究工作。

岷江上游干旱河谷是我国西部生态环境最恶劣的地区之一,强烈的水土流失,频繁的滑坡、泥石流等自然灾害,导致该区域成为我国最困难的造林地区之一^[1]。干旱河谷由于受“焚风效应”的影响,其蒸发量远大于降雨量,土壤干旱缺水是该地区的主要自然特点,加之山体陡峭,土壤瘠薄,植被主要以灌草丛为主。生态环境质量的改善是干旱河谷区生存和发展的根本,同时也是影响整个长江流域生态环境质量的关键因素,干旱半干旱河谷区退化植被的恢复重建是该区域生态环境重建的基础和前提。植被恢复中的关键问题是林木成活率。要提高造林成活率,造林前必须选好适合的生境条件,因地制宜、适地适树。近些年来,针对岷江干旱河谷的造林,国内专家做了不少工作,主要从区域的植被特征^[2-5]、土壤水分和肥力^[6-8]以及乔(灌)树种的抗旱性^[9-10]等方面做了研究,但对该区域的立地或生境质量评价却未见报道。本文以岷江上游典型流域—杂谷脑干旱河谷区做为研究对象,选取地形、土壤、水分、植被等共9个因子,采用层次分析法对该区域的生境质量进行了评价,并根据评价结果提出了不同的造林措施和对策,为该区域植被恢复提供科学依据和理论指导。

1 研究区概况

杂谷脑河是四川岷江的一级支流,发源于四川省阿坝藏族羌族自治州理县西北的鹧鸪山北麓的红水沟,从海拔4 451 m由西北向东南奔流而下,纵贯理县全境,流经理县的米亚罗、夹壁、沙坝、朴头、杂谷脑、甘堡、薛城、木卡、通化、桃坪等乡镇,至汶川县城汇入岷江,全长157 km。历年平均流量为 $63.9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,其特点是水流湍急,落差大,流量随雨季而变化。多年平均总输沙量 $2.10 \times 10^6 \text{ t}$ 左右。山地为燥褐土(过去曾称灰褐土),是发育在干燥河谷地带旱生灌木草丛植被下的土壤,主要分布在海拔2 000 m以下的河谷地带。由于受焚风的影响,土壤水分蒸发强烈,整个土体中聚积着大量的游离碳酸钙,且很少有分层现象,全剖面呈碱性反应,pH值7.4~8.4。杂谷脑河干旱河谷从理县朴头乡(海拔2 000 m)开始直至岷江入口地段—汶川县城(海拔1 444.5 m)处,分布于河面以上海拔高度2 000 m以下的河床两侧山坡范围内,阳破比阴坡的分布海拔一般要高出100 m~200 m^[2-3]。

2 研究方法

2.1 样地设置

按照地形、海拔、坡度、坡位、坡向选取具有代表性的59个样地,运用GPS测定各样地的海拔和经纬度,并对坡度、坡向、坡位进行标注。其中1-15号位于二道河至薛城一带河谷地带区域,16-38号位于理县杂谷脑河域左岸熊耳山(阳坡),39-59号位于理县杂谷脑河域右岸耳埔(阴坡)。

2.2 样地调查

在河谷地带每隔30 m~50 m、山麓坡地50 m左右(间隔的大小根据实际情况而定),从地面向下垂直方向挖一断面,长宽以人能蹲进去为宜,利用GPS记录下每个样地的位置,详细记录各剖面的层次、各个层次土壤的质地、颜色、紧实度、石砾大小,同时记录周围灌草盖度和植被情况。

2.3 土壤理化性质测定

对各样地不同层次的土壤采样,编号后送实验室分析。测量下面的指标:土壤含水率、土壤质地、pH值、有机质含量、全N、全P、全K等。

2.4 数据处理方法

用Microfost Excel 2007编制模块,采用层次分析法对生境进行质量评价。

3 结果与分析

3.1 生境质量评价层次模型的构造

生境质量的好坏主要可以从土壤、水分等因子的各指标通过分析获得,同时还可以考虑生态价值和经济价值,即可以从物质量和价值量来分析。本文主要是为前期的造林提供参考,这里没有考虑价值量,仅从物质量做了分析。影响立地的因子主要有:气候、土壤、水分、植被、地形等。试验地均位于理县杂谷脑河谷内,气候基本一致,因此主要考虑土壤、水分、植被、地形这四个立地因子,作为准则层。指标的选取要能反映出措施层的特性,且要避免重复以增加评价的有效性。由于试验区河谷地带条件较好,种植农作物和营造经济林均不成问题,因此本研究不考虑对河谷地带的生境进行质量评价,仅对坡地生境进行质量评价。根据以往研究结果,坡度、坡向、坡位、土层厚度、土壤干湿度、有机质含量、土壤紧密度、土壤质地和灌草盖度这9个指标对生境

的影响较大。上述指标中,土壤干湿度是土壤水分的一个经验判断,直接反映出了土壤含水量的多少,放在水分层中;灌草盖度的大小反映了不同生境内植被的生长状况,放在植被层里;在岷江干旱河谷区,坡度对生境的影响较大,坡位间接的代表了海拔高度,坡向是指阴坡、阳坡和半阴半阳坡,间接的反映出了立地的光照和水热条件,因此在地形层选择坡度、坡位和坡向 3 个指标;土壤层里,土壤有机质是植物所需的 N、P、K 微量元素等各种营养成分的主要来源,速效 N、P、K 则是土壤中可以直接被植物利用的营养元素,它们都反映出土壤的肥力,因此,只需选择土壤有机质或速效 N、P、K 其中一项就能反映出土壤肥力状况。最终得出各自的生境质量评价层次结构模型(图 1)。

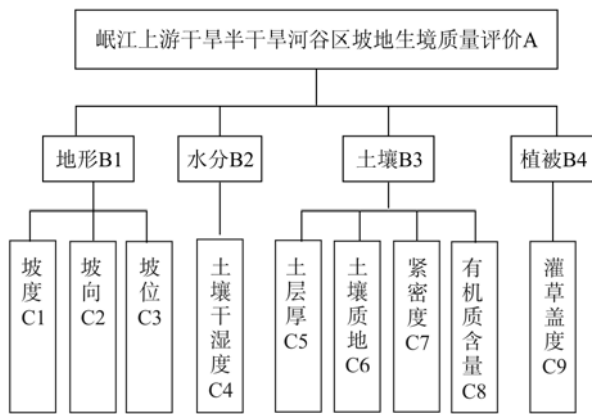


图 1 岷江上游干旱半干旱河谷区坡地生境质量评价层次模型

3.2 判断矩阵的构造及权重的确定

采用层次分析法(AHP)来确定各指标的权重。各判断矩阵及权重分别见表 1~表 3。

(1) A - B 层

表 1 A - B 层判断矩阵及权重

A	B1	B2	B3	B4	权重
B1	1	2	3	4	0.4747
B2	1/2	1	2	2	0.2551
B3	1/3	1/2	1	2	0.1630
B4	1/4	1/2	1/2	1	0.1072
$\lambda_{\max} = 4.0457, I_c = 0.01523, I_R = 0.90, R_c = 0.01692 < 0.1$					

(2) B1 - C

表 2 B1 - C 层判断矩阵及权重

B1	C1	C2	C3	权重
C1	1	2	1/3	0.2385
C2	1/2	1	1/4	0.1365
C3	3	4	1	0.6250
$\lambda_{\max} = 3.0183, I_c = 0.0915, I_R = 0.58, R_c = 0.0158 < 0.1$				

(3) B3 - C

表 3 B3 - C 层判断矩阵及权重

B3	C5	C6	C7	C8	权重
C5	1	2	3	4	0.1249
C6	1/2	1	2	2	0.4915
C7	1/3	1/2	1	2	0.3059
C8	1/4	1/2	1/2	1	0.0777
$\lambda_{\max} = 4.0483, I_c = 0.0161, I_R = 0.90, R_c = 0.01791 < 0.1$					

3.3 指标评分标准

用于评价生境质量的指标存在定性、定量两类指标,且量纲也不相同,因此不能直接用来评价生境,需要按照各因子对立地贡献的大小制定出一个统一的评分标准(表 4)。

表 4 指标评分标准

指标	得分			
	0	20	40	60
坡度(°)	≥46°	31 - 45	16 - 30	≤15
坡向		阳坡	半阴半阳	阴坡
坡位	中	中上	中下	上
土层厚度(cm)	<50	50 - 69	70 - 89	≥90
干湿度	干	较干	润潮	湿润
有机质(%)	<1.2	1.2 - 1.6	1.6 - 1.9	>1.9
紧密度		松	较松	较紧
土壤质地	石砾	粗沙	细沙	粉沙
灌草盖度(%)		30 - 49	50 - 69	>70

表 4 里的土壤质地、土壤松紧度、土壤干湿度这 3 个指标的评分等级主要是在经验判断的基础上划分的;有机质含量的评分等级是把数据的最大值和最小值之间平均分为 4 分得到的值;坡度、坡向、坡位、土层厚度、灌草盖度参考《四川省森林资源规划设计调查技术细则》中的分级标准。为了方便采用 0、20、40、60 的四级评分标准。

3.4 生境质量的综合评价

对生境因子按照表 4 的标准赋值,结合各因子的总权重可得出各生境的评价得分,并对得分排序(表 5)。把立地质量划分为优、良、中、差、极差 5 个相对等级,其中优 ≥50,良 40 - 50,中 30 - 40,差 20 - 30,极差 <20。按照这 5 个等级分别对河谷地、坡地各自的生境质量做出评价,评价结果见图 2。

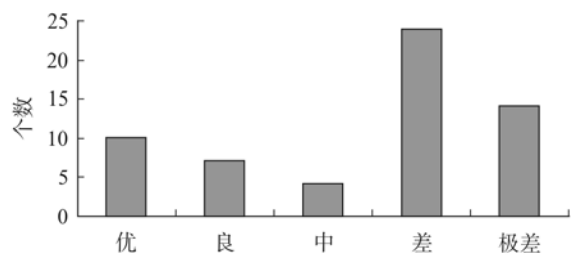


图 2 样地生境质量评价结果

表 5 生境质量综合评价表

样地编号	得分	对应等级	对应生境类型	综合评价
1、2、3、4、5、6、9、10、13、15	≥50	优	H1, H3	处于河谷地带,粉砂质土壤,土层厚,湿润,肥沃。该类生境多为当地农民的耕地或经济林地,能为树木生长提供最好的条件。
7、8、11、12、14、38、45	40-50	良	H1, H2, H4, H7	多为粉砂质和细沙质土壤,土层较厚,土壤较为潮湿,土壤肥沃或较为肥沃。该类生境在土壤、水分、养分方面比表现“优”的略差一些
36、37、49、58	30~40	中	H4, H8, H9	细沙或粗沙质土壤,土壤含水量较低,手感湿润或稍干。这类生境在土壤、水分、养分上的表现稍不足,需要适当投入以达到较好的条件
20~23, 29, 30, 33~35, 40~44, 47, 48, 50, 51, 53~57, 59	20~30	差	H5, H6, H7, H8, H9	多为粗沙或含少许石砾土壤,土层较薄,土壤较干燥,含水量低。该类生境在土壤、水分、养分上的表现较差,需要人为改善其条件
16~19, 24~28, 31, 32, 39, 46, 52	<20	极差	H5, H6, H9	中砾或粗沙质土壤,土壤干燥或极为干燥,土壤贫瘠。该类生境的条件极差,需要彻底改变其条件才能达到造林要求,投入大、造林成活率低,多为阳坡且坡度大的区域,主要采取封育以促进植被自然恢复,也可适量考虑一些特别耐旱的本地树种或工程措施等人工促进植被恢复的方法

从图 2 可以看出,等级为优的样地有 10 个,占 16.95%;等级为良的样地有 7 个,占 11.86%;等级为中的样地有 4 个,占 6.78%;等级为差的样地有 24 个,占 40.68%;等级为极差的样地有 14 个,占 23.73%。各立地的综合评价见表 5。

以上分析表明,岷江上游干旱半干旱河谷区只有相对较小部分的生境质量较好,不需投入或只需少量的投入就可以达到直接造林的要求;有相当部分的生境条件不能满足造林的要求,需要根据实际情况采取客土、保水等措施来改善立地条件。对于生境条件太差的,只能采取封育措施或工程措施等人工促进植被恢复。

3.5 岷江上游干旱半干旱河谷区不同生境类型造林对策和建议

不同生境类型的条件不同,有的差异很大,在造林时需要区别对待。根据生境质量评价结果,可以把岷江上游干旱半干旱河谷分为不同的区域,不同区域采用不同的造林模式和措施,以达到最好的造林效果。因为营造的主要是生态防护林,为了最大程度地利用地力、促进林木生长、改善生境条件和较好地发挥林地的生态效益和社会效益,应培育混交林。根据不同生境质量选择不同树种,混交方法总的看来采用块状混交,在相同的生境内选择不同的树种采用株间、行间或带状混交。那些生境条件极端严酷(评价等级为差和极差)的地方,主要采取封育措施或者选择适应性极强的树种营造纯林或种草以恢复植被。

对于得分 >50,质量评价为优的生境,主要处于河谷地带,土壤质地较好,土层厚,土壤含水量高,可以直接植树造林,投入少,是造林的最佳立地。为了促进当地农民的经济收入,可选择以经济价值高兼具生态防护功能的经济树种。

对于得分 40~50,生境质量评价为良的区域,几乎全部位于河谷地带,此类生境土壤质地较好,土层厚,土壤含水量相对得分为优的要稍微少一些,地表的植被盖度也稍小,基本无需回填客土,整地时要注意保护地表植被尽量不受破坏,造林后可以将原来的植被再填回原处,可以避免水土流失和减少蒸发。一些土层相对较薄的立地可以适当回填少量客土,还可以适量使用抗旱保水剂和抗蒸发剂,以改善生境条件。除可选择杨树、柳树、刺槐等生态防护树种外,为增加当地农民收入,还可选择苹果、樱桃、花椒、李子等水果类经济树种。

对于得分在 30~40,生境质量评价为中的区域,一般需要客土,客土量要根据实际土层厚度而定,客土后再采用撒保水剂、抗蒸发剂、覆盖可降解膜、覆草等方法减少水分的蒸发。对含石砾较多的区域,需要清除较大的石块,并选择附近较好的土壤回填。还要注意定期浇水。造林树种选择当地乡土树种,其中乔木树种可选择岷江柏木、华山松、油松、桦木、香椿、臭椿、刺槐等,灌木类可选择沙棘、三桠针、枸杞、蔷薇等。

对于得分在 20~30,生境质量评价为差的区域,土层薄,需要大量客土,当地土壤较差的要从附近其他地方取土,应遵循就近和方便的原则,还要根据条件较多的采用保水、防蒸发的措施,经常浇水。乔木树种选择辐射松、岷江柏、文冠果等比较耐干旱的,灌木树种选择白刺花、蔷薇等。

对于得分 <20,生境质量评价为极差的区域,一般不适宜植树造林,主要采取封育措施以促进自然植被恢复,也可以适当采用工程措施或植草等其他植被恢复手段。如需要植树,必须彻底的改土,选择那些抗旱、耐旱能力特别强的本土灌木,如番麻、沙棘等。经常浇水防止树苗抽干。

总之,要根据不同的生境质量采取适当的整地、保水措施,选择适当的树种和混交方法,来达到造林的理想效果。

岷江上游干旱半干旱河谷区不同生境划分标准和造林对策详见表6。

表6 岷江干旱半干旱河谷不同生境类型划分标准及造林对策

生境类型	划分标准									造林对策或建议
	坡度(°)	坡向	坡位	土层厚(cm)	干湿湿度	有机质(%)	紧密度	土壤质地	灌草盖度(%)	
H1	/	/	/	>70	较湿或潮	>1.6	较紧或较松	细沙或粉沙	>50	可以直接植树造林,为该区域最佳的造林地带。为了促进当地农民的经济收入,可选择以经济价值高兼具生态防护功能经济树种,如欧洲大樱桃、苹果、花椒、枇杷、杨树等 整地时要注意保护地表植被尽量不受破坏,造林后可以将原来的植被再填回原处,可以避免水土流失和减少蒸发。一些土层相对较薄的立地可以适当回填少量客土,还可以适量使用抗旱保水剂和抗蒸发剂,以改善生境条件。 除可选择杨树、柳树、刺槐等生态防护树种外,为增加当地农民收入,还可选择苹果、樱桃、花椒、李子等水果类经济树种。
H2	/	/	/	(50,70)	较湿或潮	1.2-1.6	较松	粗沙或细沙	>50	此类生境虽然处于河谷地带,但条件较差,造林尽量以生态防护树种为主,如杨树、刺槐等。
H3	/	/	/	<50	潮或润	1.2-1.6	松或较松	石砾或粗沙	<50	造林时需要客土,客土量要根据实际土层厚度而定,客土后再采用撒保水剂、抗蒸发剂、覆盖可降解膜、覆草等方法减少水分的蒸发。对含石砾较多的区域,需要清除较大的石块,并选择附近较好的土壤回填。还要注意定期浇水。 造林树种选择当地乡土树种,其中乔木树种可选择岷江柏木、华山松、油松、桦木、香椿、臭椿、刺槐等,灌木类可选择沙棘、三棵针、枸杞、蔷薇等。
H4	<25	半阳坡	中上部	≥70	润	(1.6,1.9)	较松或松	细沙	>70	以封育为主。可适当考虑营造乡土灌木树种,如沙棘、三棵针、枸杞、蔷薇。
H5	(15,35)	阳坡或半阳坡	中或中下部	(50,70)	干或较干	(1.2,1.6)	较松或松	粗沙或石砾	(50,70)	不适宜造林,采取封山育林,禁止牛羊进入,以恢复植被。
H6	>25	阳坡或半阳坡	中部	≤50	干	<1.2	松	粗沙或石砾	<50	可以直接造林,但造林后需要定期浇水。 造林树种选择当地乡土树种,其中乔木树种可选择岷江柏木、华山松、油松、桦木、香椿、臭椿、刺槐等,灌木类可选择沙棘、枸杞、蔷薇等。
H7	≤15	阴坡或半阴	中上	(50,90)	润或较干	≥1.6	松或较松	细沙	≥50	造林时需要客土,客土量要根据实际土层厚度而定,客土后再采用撒保水剂、抗蒸发剂、覆盖可降解膜、覆草等方法减少水分的蒸发。对含石砾较多的区域,需要清除较大的石块,并选择附近较好的土壤回填。还要注意定期浇水。 造林树种选择当地乡土树种,其中乔木树种可选择岷江柏木、华山松、油松、桦木、香椿、臭椿、刺槐等,灌木类可选择沙棘、三棵针、枸杞、蔷薇等。
H8	(6,25)	阴坡或半阴	中下	<70	较干	(1.2,1.9)	松或较松	粗沙	≥50	以封育为主。可适当考虑造乡土灌木树种,如沙棘、三棵针、枸杞、蔷薇
H9	(25,35)	半阴	中部	<50	干	<1.2	松或较松	粗沙或石砾	<50	

注:H1:河谷阶地粉沙湿润肥沃型;H2:河谷阶地粗沙润潮亚肥沃型;H3:河谷阶地中砾润潮亚肥沃型;H4:阳坡润潮细沙亚肥沃型;H5:阳坡中砾亚贫瘠型;H6:阳坡极干燥粗沙贫瘠型;H7:阴坡湿润细沙肥沃型;H8:阴坡润潮粗沙亚肥沃型;H9:阴坡干燥粗沙亚贫瘠型。

4 讨论

生境质量的评价是合理利用土地的基础,是避免盲目造林的有效措施。正确的生境质量评价结果能够为当地的造林、绿化、适地适树提供科学依据,提出适宜的育林措施,对充分挖掘地力、树木生产潜力,促进林业向高产、优质、高效益发展有着重要的现实意义。同时,生境质量评价还是当地林业主管

部门指导林业生产和实行科学管理的重要依据和手段。本文选取地形、土壤、水分和植被等9个生境因子,利用层次分析法对岷江上游干旱半干旱河谷区(杂谷脑河段)的生境质量进行了评价,并针对评价结果提出了造林措施和对策,为当地植被恢复提供科学依据和理论指导。

参考文献:

[1] 宴兆莉,陈克明,陈建中,等.岷江干旱河谷的生态特征与植被

- 恢复研究[J]. 世界科技研究与发展, 2000, (1): 36~38.
- [2] 何飞, 刘兴良, 慕长龙, 等. 杂谷脑河干旱河谷区灌丛植被种-面积与坡向及海拔梯度的相关性研究[J]. 四川林业科技, 2006, 27(1): 31~34.
- [3] 何飞, 慕长龙, 潘攀, 等. 岷江上游杂谷脑河干旱河谷植被特性研究[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2005, 24(4): 258~261.
- [4] 杨钦周. 岷江上游干旱河谷灌丛研究[J]. 山地学报, 2007, 25(1): 1~32.
- [5] 潘攀, 慕长龙, 牟菊英, 等. 杂谷脑河流域河谷区植被及其生物多样性[J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(5): 55~58.
- [6] 严代碧, 岳永杰, 郑绍伟, 等. 岷江上游干旱河谷区土壤水分含量及其动态[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2006, 30(4): 64~68.
- [7] 游传兵. 岷江上游山地森林-干旱河谷交错带植被与土壤水分分布格局研究[M]. 四川农业大学, 2008.
- [8] 王春明. 岷江上游干旱河谷土壤肥力的垂直变化[M]. 西南农业大学, 2001.
- [9] 黎燕琼, 郑绍伟, 刘向东, 等. 岷江上游干旱河谷区臭椿抗旱性季节动态变化研究[J]. 四川林业科技, 28, 29(1): 16~9.
- [10] 黎燕琼. 岷江上游干旱河谷区几种木本植物的抗旱性研究[M]. 四川农业大学, 2006.

(上接第121页)

通过对不比例的秸秆混合压块成型比较, 当稻草秸秆: 玉米秸秆: 油菜秸秆比例为 2: 2: 1 时, 即油菜秸秆占原料比例约 20% 时, 成型效果好, 且不易堵塞, 因此选择混合比例为 2: 2: 1 开展成型试验。

3 结论与建议

(1) 所采用的成型设备适应秸秆长度小于 5 cm 都可成型, 少量长于 5 cm 的秸秆混合后也可以压缩成型。切割破碎过程中产生的细小颗粒可混合在物料中一起挤压成型, 添加了粉末的物料成型效果更佳, 后期可考虑添加木屑作为原料。拓宽生产原料范围。

(2) 压缩后块状大, 最大达到 47 mm × 32 mm × 98 mm, 大部分在 47 mm × 32 mm × 50 mm ~ 65 mm 左右, 压缩后密度可达到 1.2 g · cm⁻³。秸秆经压缩成大块状的成型块可作为生物质燃料, 燃烧时间

显著延长, 可以有效降低储存、运输费用。

参考文献:

- [1] 余满江, 姚金霞. 环模旋转秸秆成型机的结构设计与试验研究[J]. 四川农机, 2010(3): 38~42.
- [2] 袁艳文, 赵立欣, 孟海波, 等. 玉米秸秆颗粒燃料抗结渣剂效果的比较[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 251~255.
- [3] 田宜水, 徐亚云, 侯书林, 等. 储存方式对生物质燃料玉米秸秆储存特性的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 223~228.
- [4] 沈威. 生物质燃料成型设备关键技术研究[D]. 合肥工业大学.
- [5] 樊峰鸣, 张百良, 李保谦, 等. 大粒径生物质成型燃料物理特性的研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 398~402.
- [6] 赵蒙蒙, 姜曼, 周祚万. 几种农作物秸秆的成分分析[J]. 材料导报, 2011, 25(8): 122~125.
- [7] 何勇, 黄波, 张体刚, 等. 秸秆综合利用存在的问题及对策[J]. 四川农业科技, 2013, 5: 6~7.
- [8] 刘力, 郭建忠, 卢凤珠. 几种农林植物秸秆与废弃物的化学成分及灰分特性[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(4): 388~392.
- [9] 田宜水, 赵立欣, 孟海波, 等. 欧盟固体生物质燃料标准技术进展[J]. 再生资源, 2007, 25(4): 61~64.