

## MODIS 数据在森林火点识别中的应用研究

段卫虎, 黄诚, 王皓, 周汝良\* (西南林业大学, 云南昆明 650224)

**摘要** 以昆明市安宁县和玉溪市易门县为研究区, 选用 MODIS 数据作为数据源, ARCGIS 和 ENVI 软件作为数据处理平台, 采用绝对亮温、相对亮温和植被指数 3 个因子作为林火判断条件, 提高林火判别的精度, 为森林火灾的早期探测与发现、火灾扑救和损失评估业务在云南省的运用奠定基础。

**关键词** MODIS; 森林火灾; 亮温; NDVI

**中图分类号** S762.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)28-09800-04

## Study on Application of MODIS Data in Forest Fire Recognition

DUAN Wei-hu, HUANG Cheng, WANG Hao, ZHOU Ru-liang\* (Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224)

**Abstract** Taking Anning County of Kunming City, Yimen County of Yuxi City as study area, selecting MODIS data as source, ARCGIS and ENVI as data processing platform, 3 factors including absolute light temperature, relative light temperature and vegetation index were determined as conditions for forest fire detection. The method can improve the accuracy of identification of forest fires, lay the foundation for early detection and discovery of forest fires, fire fighting and damage assessment services in Yunnan Province.

**Key words** MODIS; Forest fire; Light temperature; NDVI

20 世纪 90 年代后期以来, 受高温、干旱等因素的影响, 世界各国范围内森林火灾更为频繁<sup>[1]</sup>。目前, MODIS(中分辨率成像光谱仪), 卫星遥感数据在可见光波段上的分辨率已经达到 250 m, 在近红外波段上的分辨率已达 500 m, 火灾监测的遥感数据的时间分辨率已经提高为 1~2 h/次, 在日新月异的遥感与 GIS 的技术水平下, 挖掘遥感数据的潜在信息, 充分利用 GIS 数据及空间分析功能, 能进一步解决新的林火监测业务的难题。

西南林区热点多, 热点处理工作量大。在 2003 年全国森林防火工作会议上, 国家林业局曾要求“有条件的重点森林防火省区要逐步建设省级卫星林火监测业务系统”, 研发基于 GIS 的卫星热点分析处理业务平台, 可推动卫星林火监测业务在重点省区建设和发展<sup>[2]</sup>。笔者采用 MODIS 遥感数据进行云南地区林火识别研究, 为 MODIS 数据在林火监测业务中的广泛应用提供理论支撑。

## 1 数据源

MODIS 是当前世界上新一代“图谱合一”的光学遥感仪器, 共有 490 个探测器, 36 个光谱波段, 从 0.4~14.4 μm 全光谱覆盖。36 个离散光谱波段, 有 2 个波段分辨率是 250 m, 5 个波段分辨率是 500 m, 其余 29 个波段分辨率是 1 000 m。对于接收 MODIS 数据来说, 每次最少可以得到 4 次(2 次白天和 2 次黑夜), 更新数据。这样的数据更新频率对实时地球观测和应急处理有较高的应用价值<sup>[3]</sup>。

该研究以 2012 年 3 月 19 日云南省昆明市安宁县和玉溪市易门县的 MODIS 1B 数据为源数据。同时, 收集云南省行政区划图。

## 2 识别原理

普朗克定律是德国物理学家普朗克于 1900 年所创造的。该定律被公认为物体间热力传导的基本法则。普朗克

定律给出了黑体辐射的具体量化分布, 在一定的温度下, 单位面积、单位立体角和单位波长间隔辐射出的能量为

$$M_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad \text{I}$$

公式中  $c$ —光速, 值为  $3 \times 10^8$  (m/s);  $h$ —普朗克常数, 值为  $6.626 \times 10^{-34}$  J·s;  $k$ —玻尔兹曼常数, 值为  $1.38 \times 10^{-23}$  J/K;  $\lambda$ —波长(m);  $M$ —为辐射出射度 [ $W/(m^2 \cdot K^4)$ ]<sup>[4]</sup>。

利用普朗克公式还可以导出维恩位移公式, 即黑体辐射光谱中辐射强度最大的波长  $\lambda_{\max}$  与黑体绝对温度  $T$  成反比, 其公式为:

$$\lambda_{\max} \cdot T = b \quad \text{II}$$

$T$ —黑体的温度(K);  $\lambda_{\max}$ —黑体在  $T$  温度下, 辐射峰对应的波长(μm);  $b$ —为常数, 值为  $2.898 \times 10^{-3}$  m·K<sup>[4]</sup>。

由维恩位移公式可知, 黑体温度越高, 辐射峰值的波长越小。温度大约在 300 K 时, 地表辐射的峰值对应的波长在 9.66 μm 左右, 这时地球上主要是红外的热辐射; 当物体的温度上升到 500 K 时, 物体辐射的峰值对应的波长在 5.80 μm 左右。

MODIS 的火灾检测算法主要是基于中、远红外通道光谱特性。当 MODIS 的 4 μm 通道的饱和温度为 500 K 时, 等效噪声温度为 0.3 K。这个通道不受水蒸气吸收的影响, 其他气体对它的影响也很微弱; 当 MODIS 的 11 μm 通道达到 400 K 的饱和温度时, 等效噪声温度为 0.1 K。因此, 一般采用这 2 个通道作为火灾监测的通道。在夜间还可以用分辨率为 250 m 的 0.86 μm 通道的数据, 以及分辨率为 500 m 的 2.13 μm 和 1.65 μm 2 个通道的数据进行火灾的监测<sup>[5]</sup>。

## 3 数据预处理

**3.1 几何校正** 将该研究主要用到的 MODIS 1B 数据加载 ENVI 5.0 软件中, 首先, 利用 ENVI 自带的 Georeference MODIS 模块对 1, 2, 6, 7, 21, 22, 31 波段进行几何纠正, 包括将影像转换到经纬度坐标, 并且对影像的“双眼皮效应”通过 Perform Bow Tie Correction 进行消除处理<sup>[6-8]</sup>。

**3.2 MODIS 影像的定标和亮温转换** 按定标公式 III, 对可

**基金项目** 云南省科技厅(2013BC003)。

**作者简介** 段卫虎(1988-), 男, 河南灵宝人, 硕士研究生, 研究方向: 资源环境遥感。\* 通讯作者, 教授, 从事森林火灾、森林病虫害的监测预警与信息化管理研究。

**收稿日期** 2014-08-26

见光波段 7、2、1 进行反射率定标(图 1);按公式IV对红外波段 21、22、31 进行辐射率定标,然后按普朗克公式将热红外波段的辐射率转换为亮度温度(公式I)<sup>[9]</sup>。

$$R = \text{reflectance\_scales} * (SI - \text{reflectance\_offsets}) \quad \text{III}$$

式中:reflectance\_scales 为缩放系数,reflectance\_offsets 为偏移量。这 2 个参数仅与波段有关,可以从 MODIS 1B 数据集中获取。SI 为图像像元的有效计数值,R 为定标后的反射率。

$$L = \text{radiance\_scales} * (SI - \text{radiance\_offsets}) \quad \text{IV}$$

式中:radiance\_scales 为缩放系数,radiance\_offsets 为偏移量。这 2 个参数仅与波段有关,可以从 MODIS 1B 数据集中获取。SI 为图像像元的有效计数值,L 为定标后的辐射率。

将定标后的可见光 7、2、1 波段 RGB 合成显示,可以更加清晰地发现林火热点特征(图 1)。

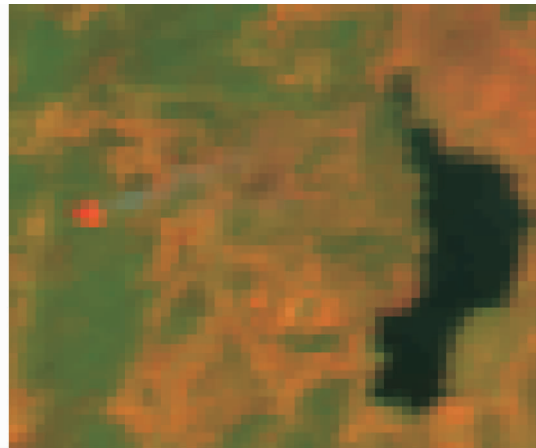


图 1 7、2、1 波段 RGB 合成显示

**3.3 云检测** 根据 MODIS 不同波段对云的敏感特性以及各通道的波谱特性,结合大气窗口和云的辐射传输特点,确定云检测算法。如果厚云在 0.66 μm 通道的反射率大于 0.2,那么就认为不会有火点信号穿过这些云,同时将扫描角限制在 45°之内。由以上条件建立云检测掩膜,滤除非火点区域<sup>[9]</sup>。

**3.4 大气订正** 应用  $T_4$  和  $T_{11}$  的组合来订正气体的吸收,小云块会减少 11 μm 通道火点的温度,且会影响这一通道的水汽订正。

**4 火点识别**

**4.1 火点提取的背景信息** 建立监测火点与周围像素的温度间的定量关系。火点像元的周围像素用于背景温度估算。此火点识别方法是建立在火点像素背景温度与周围像素的温度间的相关性随着像元间的距离增大而减小的假设上。

在确定背景温度时,需要所有分析点中有不低于 25% 的点为非火像元,分析区的大小调到 25% 的要求为止。提取背景信息时绝对阈值的条件是: $T_4 > 320$  K(夜间为 315 K); $T_{41} = T_4 - T_{11} > 20$  K(夜间为 10 K)。排除这些非火点,就可以得到 11 μm 通道的背景温度均值( $T_{11b}$ )和 11 μm 通道的背景标准偏差( $DT_{11b}$ )。同理,可以计算得到  $T_{4b}$  和  $DT_{4b}$ 。进而,计算 4 μm 和 11 μm 2 个通道背景偏差中的平均值  $T_{41b}$  和标准偏差  $D T_{41b}$ 。波长 4 μm 潜在火点温度平均值和它的标准偏差分别为  $TC_{4b}$  和  $DTC_{4b}$ <sup>[10-11]</sup>。

(1)图 2 为 4 μm 通道的亮温分类显示结果图。由滤除非火点条件  $T_4 > 320$  K,可得研究区有存在 2 个可能火点,如图 2 红色显示的像元火点 1、火点 2。

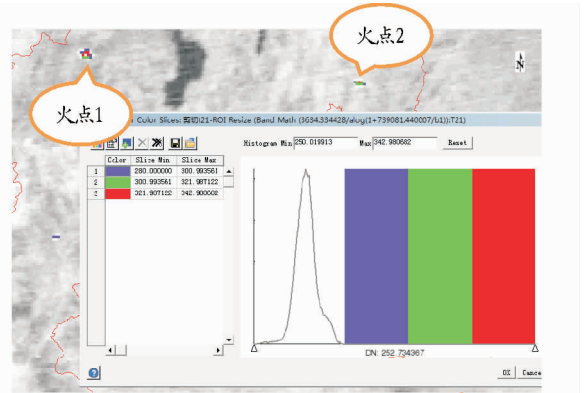


图 2 绝对阈值分类

(2)图 3 将  $T_4 \sim T_{11}$  的值分类,大于 20 显示红色,小于等于 20 显示绿色。

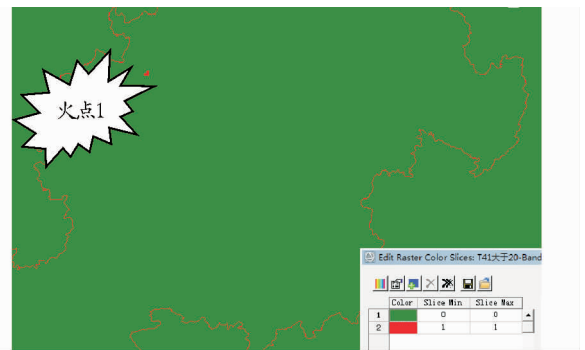


图 3 火点识别

由滤除非火点条件  $T_{41} = T_4 - T_{11} > 20$  K 可知,由滤除非火点条件  $T_4 > 320$  K 得到的可能火点 2 为非火点,仅有可疑火点 1。

由以上 2 个火点条件,识别的可疑火点如表 1 所示。

表 1 可疑火点统计

火点号	$T_4 > 320$ K			$T_{41} = T_4 - T_{11} > 20$ K				
	是否火点	经度(E)	纬度(N)	像元个数	是否火点	经度	纬度	像元个数
火点 1	是	102°17'52.44"	24°52'7.08"	5	是	102°17'52.44"	24°52'7.08"	3
火点 2	是	103°23'42.16"	24°43'53.03"	1	否	无	无	无

**4.2 火点确认** 火点排除:所有满足  $T_4 < 315$  K(夜间 305 K); $DT_{4b} < 5$  K 的像元都不是火点。

火点条件:如果 1 个像素点同时符合下面 5 个条件{(A

or B)and(a or b)or(C)},就可以将该像元确认为火点[如果标准差( $DT_{4b}$ 和  $DT_{41b}$ )小于 2 K,就用 2 K 来代替]:

$$A: T_{41} > T_{41b} + 315DT_{41b}$$

其中:如果  $T_{4b}$  小于 2 K, 则设定  $T_{4b} = 2$  K。

a:  $T_{41} > T_{41b} + 6$  K

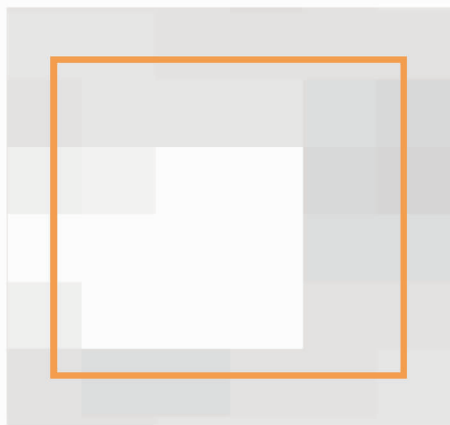
B:  $T_4 > T_{4b} + 3DT_{4b}$

b:  $T_{11} > T_{11b} + DT_{11b} - 4$  K

C:  $DTC_{4b} > 5$  K

VI  
VII  
VIII  
IX

为了进一步对由固定阈值确定的可疑火点进行判别,用背景亮温进一步验证确定,具体步骤如下:确定背景温度时,要求所有分析中有不低于 25% 的点为非火像元。该研究采用  $3 \times 3$  的窗口进行运算。



(a) 计算研究点的背景像元范围

	11	10	9
1	12	研究点 2	8
2	研究点 3	研究点 1	7
3	4	5	6

(b) 研究点和背景像元编号

图 4 11  $\mu\text{m}$  通道的背景亮温判断的像元范围编号

对于 11  $\mu\text{m}$  通道中的研究点 1, 用标号为 4、5、6、7、8、12 的像元的亮温来计算背景温度和它的标准偏差; 对于研究点 2, 用 7、8、9、10、11、12 的像元的亮温来计算背景温度和它的标准偏差; 对于研究点 3, 用 1、2、3、4、5、12 的像元的亮温来计算背景温度和它的标准偏差(图 4)。同理, 计算 4  $\mu\text{m}$  通道中 3 个研究点背景亮温平均值和标准偏差, 进一步计算 4  $\mu\text{m}$  和 11  $\mu\text{m}$  2 个通道背景偏差的平均值和标准偏差。根据以上统计, 判别 3 个研究点是否为火点, 统计如表 2 所示:

表 2 研究点条件判断

判断条件	研究点 1	研究点 2	研究点 3
A:	FALSE	FALSE	FALSE
a:	FALSE	TRUE	TRUE
B:	TRUE	TRUE	TRUE
b:	TRUE	FALSE	FALSE
X:	FALSE	FALSE	FALSE
火点	否	是	是

由表 2 可知, 在 3 个可疑火像元中, 编号为 2、3 像元为火点, 标号为 1 的像元为非火点。

**4.3 林地提取** MODIS 影像的森林火灾识别的下垫面为森林, NDVI 又称标准化植被指数, 是目前应用最为广泛的指标, 由近红外波段与红色波段计算得到。云、水、雪在可见光波段比近红外波段有较高的反射作用, 因而其 NDVI 值为负值 ( $< 0$ ); 岩石裸土在 2 波段有相似的反射作用, 因而其 NDVI 值近于 0; 而在有植被覆盖的情况下, NDVI 为正值 ( $> 0$ ), 并且随着植被覆盖度增大, 其 NDVI 值越大<sup>[12]</sup>。由表 3 可知, 火点像元 2、3 处为森林覆盖率较大区域。

$$NDVI = (B_2 - B_1) / (B_2 + B_1) \quad X$$

其中:  $B_1$ 、 $B_2$  分别为 MODIS 影像的第 1、2 波段的反射率。

**4.4 火点识别结果** 由图 5 可知, 像元 1、2、3 在有固定阈值

识别时为可以火点; 在由背景亮温法判别时, 像元 2、3 为火点像元, 像元 1 为非火点像元, 像元 1 可能是因为火点边缘热效应引起。在 ARCGIS 地理信息平台中确定, 发生火点的位置为安宁县草铺镇。

表 3 研究点的 NDVI 值

像元编号	NDVI	经度(E)	纬度(N)
研究点 2	0.42	102°17'52.44"	24°52'7.08"
研究点 3	0.63	103°23'42.16"	24°43'53.03"

由实地调查了解到: 2012 年 3 月 18 日, 云南省玉溪市易门县境内发生森林火灾, 19 日火灾蔓延至昆明市下辖安宁市草铺镇王家滩村, 该数据为北京时间 2012 年 3 月 19 日 14:45 的 MODIS 数据。因此, 该林火识别算法具有可行性和准确性。

### 5 结论与讨论

西南林区沟壑纵横、山高谷深; 该区域农林交错, 林火非林火高度混淆; 农村野外用火多, 目视解译的工作量大; 由于地形地貌、森林分布极其复杂, 初发火及原始林区林火的图像表达不明显, 高山峡谷地区空间定位误差大, 这些都是西南林区卫星林火监测面临的难题。

(1) 通过云南森林火灾对 MODIS 数据林火识别算法模型进行分析验证, 为具有典型地形地貌的云南森林火灾监测和损失评估提供更加科学合理的依据。

(2) 借助 ENVI 软件强大的图像处理功能, 可以快速、方便、准确地提取图像信息, 这样就可以解决云南林火热点多和手工解译效率低的矛盾。同时, 开发 ENVI 的交互式数据语言是进行二维或多维数据可视化、分析和开发应用的理想软件, 为森林火点的自动识别, 提供强大技术支撑。

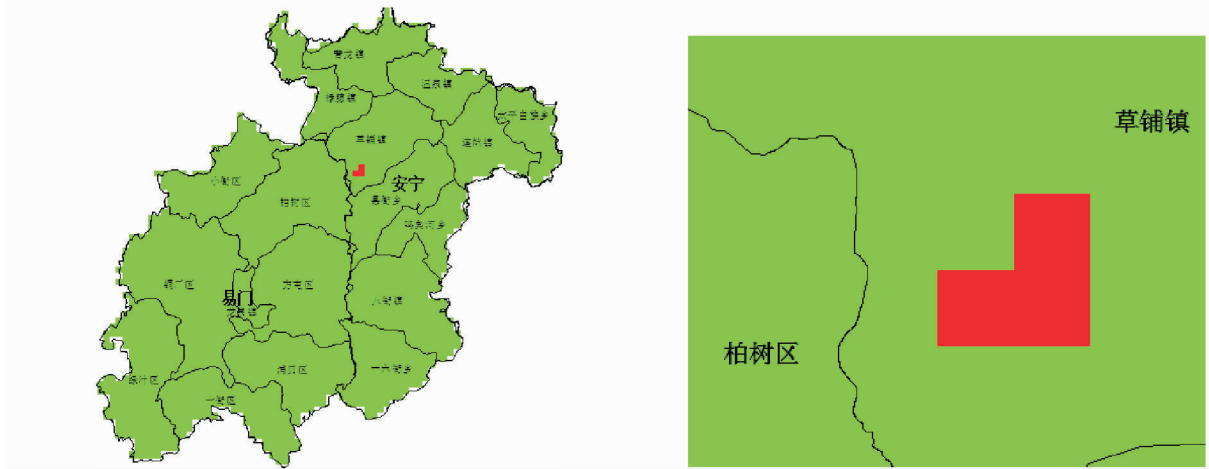


图5 火点识别结果

(3) 由于西南林区沟壑纵横、山高谷深, 丛林较多, MODIS 的分辨率较低, 还需进一步研究新的方法, 提高影像的分辨率, 进而提高林火识别和损失估算的准确性和精度。

参考文献

[1] 苏力华, 楼玫娟, 肖金香, 等. 气象卫星遥感监测在森林防火中的应用[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(11): 85-88.  
 [2] 徐盛基. 西南卫星林火监测技术现状与思考[J]. 绿色科技, 2011(2): 133-135.  
 [3] 梁芸. 利用 EOS/MODIS 资料监测森林火情[J]. 遥感技术与应用, 2002, 17(6): 310-312.  
 [4] 梅安新. 遥感导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.  
 [5] KAUFMAN Y J, JUSTICE C, FLYNN L. Monitoring Global Fires from EOS-MODIS[J]. Journal of Geophysical Research, 1998, 102(29): 611-

624.  
 [6] 蒋耿明, 刘荣高. MODIS 1B 影像几何校正方法研究及软件的实现[J]. 遥感学报, 2004, 8(2): 158-164.  
 [7] 覃志豪, ZHANG M, KARNIELI A. 用 NOAA-AVHRR 热通道数据算法地表温度的分裂窗算法[J]. 国土资源遥感, 2001, 48(2): 33-42.  
 [8] 袁金国. 遥感图像数字处理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.  
 [9] 刘玉洁, 杨忠和. MODIS 遥感信息处理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2001.  
 [10] 扎西顿珠, 拉巴, 王彩云. 3S 支持下的 EOS/MODIS 数据在西藏森林火灾监测中的应用研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(28): 15714-15717.  
 [11] 覃先林, 易浩若. 基于 MODIS 数据的林火识别方法研究[J]. 火灾科学, 2004, 13(2): 83-89.  
 [12] 周小成, 汪小钦. MODIS 林火识别算法的验证分析[J]. 火灾科学, 2006, 15(1): 31-36.

(上接第 9796 页)

工种植饲草(净利润 2 139 元/hm<sup>2</sup>)增加 3 000 元/hm<sup>2</sup>。2014

年饲草种植田 1.47 万 hm<sup>2</sup>, 带动 4.4 万户农户增收 4 400 万元, 同时吸收农村劳动力 4.4 万人。

表 1 不同饲草种植方式经济效益的比较

饲草种植方式	投入//元/hm <sup>2</sup>							收入 元/hm <sup>2</sup>	净利润 元/hm <sup>2</sup>
	种子	化肥	农药	劳动力	燃油费	土地	合计		
人工种植	765	771	225	9 600	0	1 500	12 861	15 000	2 139
机械化饲草种植	765	771	225	4 800	1 800	1 500	9 861	15 000	5 139

3 饲草产业发展存在的问题

湟中县饲草产业发展态势迅猛, 但在发展过程中存在以下问题: ①随着饲草种植生产规模化程度的提高, 生产主体组织化程度的壮大, 突显出机械化技术落后的问题。一方面, 饲草生产加工机械设备及其匮乏; 另一方面, 对适合不同坡度种植收割的机械化技术的应用研究几乎为零, 这对促进饲草产业发展的机械化进程、提高弃耕地和撂荒地的利用率、对增加饲草资源、促进草地养畜业的发展、保护草原生态环境改善、提高广大群众的收入都产生了极大的阻碍作用。②草产品加工企业数量少、规模小、加工能力低, 在饲草产业链的发展中成为薄弱环节, 影响饲草产业的市场化发展, 在很大程度上阻碍了饲草产业的发展壮大。③饲草良种品种单一, 无法满足不同海拔地区的良种种类及品种需求, 同时缺乏对不同海拔地区的良种种类及品种适宜性研究, 影响饲草生产产量和品质, 在一定程度上阻碍饲草产业的发展。

4 饲草产业发展思路

今后, 饲草产业的发展应以政策和市场为导向, 以科研部门为技术依托, 以各类项目和体系建设为载体, 以解决实际问题为根本出发点, 从以下方面为着力点: ①引进培育优质高产饲草新品种, 大力建设饲草试验示范田, 推广高产栽培技术及饲草加工技术, 提高饲草生产科技水平; ②积极培育饲草种植专业合作社、大户、企业, 促进饲草产业协会发展, 加强饲草种植生产主体的合作化组织建设, 提高饲草生产的专业化程度; ③增加饲草种植机械化技术研究和机械设备引进投入, 加强机械化技术的示范推广, 提高饲草生产的机械化程度, 增加饲草种植效益; ④充分利用弃耕地、闲散地发展饲草种植业, 提高土地利用效率, 增加农民经济收入, 促进生态环境的改善。⑤积极培育草产品加工龙头企业, 提高草产品加工能力, 促进饲草产业的市场化发展; ⑥积极建设燕麦良种繁殖基地, 提高饲草良种率, 提高饲草产量和品质, 推动饲草产业的大发展。

参考文献

[1] 湟中县农业区划委员会. 湟中县农业区划[Z]. 1984: 587-617.