

文章编号: 1007-4619 (2001) 01-0069-06

天然草地牧草产量遥感综合监测预测模型研究

黄敬峰¹, 王秀珍¹, 王人潮¹, 胡新博²

(1. 浙江大学 环境与资源学院农业遥感与信息技术研究所, 浙江 杭州 310029)

2. 新疆畜牧科学院 草原研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要: 利用天然草地牧草光谱观测资料、牧草产量资料、气象资料和 NOAA/AVHRR 资料, 建立了天然草地牧草产量光谱植被指数和卫星遥感监测模型、气象监测模型, 提供及时准确地掌握牧草产量变化的科学手段。建立了天然草地牧草产量遥感预测模型及气象预测模型, 可以根据需要提供不同时效的卫星遥感预测结果和气象模型预测结果。气象模型精度较高, 但气象站点有限, 往往以点代面; 遥感技术宏观性强, 空间信息丰富, 可以弥补气象模型的不足; 两者既可以互相验证, 又可以取长补短。1995 年以后服务表明, 这些模型达到牧业气象业务服务的要求。

关键词: 牧草产量; 遥感; 模型

中图分类号: TP79/S283 **文献标识码:** A

1 试验区的自然地理概况

新疆的畜产品 70% 以上来源于天然草地^[1], 而天然草地牧草产量的高低受自然条件的制约, 季节不平衡, 年际不稳定; 由于冬季补饲能力低, 而又片面追求年终存栏头数, 冬牧场超载过牧, 草畜不平衡十分突出。为探讨牧草产量变化规律, 建立了天然草地牧草产量变化监测预测模型, 及时准确地掌握牧草生长发育及产量变化, 提供不同时效的预测结果, 对于维护天然草地生态平衡, 安排畜牧业生产等具有重要的理论与实际意义^[2]。

牧草产量遥感监测预测试验区选择在乌鲁木齐南郊、阜康、阿勒泰。有高寒草甸、山地草甸、山地温性草原、山地草甸草原、草原化荒漠、山地荒漠草原、平原土质荒漠和低地盐生草甸, 各监测点的地理位置及自然概况如表 1。

除了上述遥感监测试验区外, 还选择乌鲁木齐牧业气象试验站作为研究牧草产量形成与气象条件关系的试验点, 该站位于天山北坡中山带的逆温层中, 43°17'N, 87°07'E, 海拔 2347.4m。主要气候特征为: 年平均气温 0.9℃, 年降水量 449.3mm, 大于等于

0℃的活动积温为 1563.3℃, 大于等于 10℃的活动积温为 1215.1℃。土壤为暗栗钙土、草场类型属山地草原类, 植被为赖草、岩黄芪、萎陵菜、毛茛。

表 1 各监测点的海拔高度与草地类型

Table 1 Altitude of monitoring stations and their grassland type

地名	试验点	海拔高度/m	草群盖度/%	草地类型
乌鲁木齐	1	2600—3200	80—90	高寒草甸放牧场
	2	2200—2800	80—100	山地高草草甸割草场
	3	1400—2000	50—60	山地温性草原放牧场
阜康	1	1800—2500	75—95	山地草甸草原放牧场
	2	1100—1700	20—40	山地荒漠草原放牧场
	3	540	25—35	平原土质温性荒漠放牧场
	4	560	70—90	低地盐生草甸放牧场
阿勒泰	1	350—1370	20—40	平原荒漠
	2	1500—2600	20—30	草原化荒漠
	3	1100—1900	50—60	山地草原

2 资料来源与观测方法

2.1 资料来源

由新疆气象遥感中心提供的牧草生长季各监测点 NOAA/AVHRR 资料, 经过预处理后, 采用一周内

收稿日期: 1999-03-19; 修订日期: 1999-12-16

作者简介: 黄敬峰(1963—), 男, 1985年毕业于南京气象学院农业气象专业获得学士学位, 1990年获得硕士学位, 现为浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所副研究员。从事农业遥感应用研究, 发表论文近 50 篇, 主编出版《草地遥感》、《冬小麦气象卫星综合遥感》和《中国气象学文献目录》等书。

归一化植被指数 $NDVI$ 的最大值消除大气的影 响, 最后确定 1992 年 23 条轨道、1993 年 19 条轨道、1994 年 17 条轨道。1992—1994 年各监测点牧草产草量 和光谱观测资料, 乌鲁木齐牧业气象试验站的牧草 产量资料及相应的气象观测资料, 紫泥泉种羊场 1966—1987 年的牧草产量资料及相应的气象资料。

2.2 观测方法

光谱观测的地点选在乌鲁木齐(1992—1994)和 阜康(1992—1993)进行, 所用仪器为北京大学遥感 与地理信息系统研究所研制, 北京通达电器厂生产 的 RS-B 型野外光谱仪, 光谱波段分别对应于 NOAA/AVHRR 的通道 1 和通道 2。参考板由中国科 学院安徽光学精密机械研究所校正。选择晴天无云 时进行, 光谱仪高度一般控制 1m 左右, 垂直向下进 行测定。测定时间为 11:00—15:00 进行。

牧草产量观测选在乌鲁木齐、阜康和阿勒泰进 行, 光谱观测完剪下地上部分作为产草量, 称取鲜 重, 自然风干, 测定干重。

试验站气象要素观测内容包括气温、最高气温、 最低气温、降水量、日照时数等, 方法按国家气象局 制定的《地面气象观测规范》进行。

3 天然草地牧草产量综合监测模型

3.1 天然草地牧草产量地面光谱监测模型

表 2、表 3 分别为不同天然草地类型和不同地 点天然草地牧草产量地面光谱监测模型。不同草地 类型的光谱监测模型是指对于一种草地类型而言, 采用不同年份、不同地点相同草地类型的产量与光 谱资料建立监测模型, 如山地草甸包括乌鲁木齐南 郊的山地高草草甸和阜康测点山地草甸 1992—1994 年的产量资料和光谱资料建立的监测模型。而某一 地点的监测模型则是用同一地点不同时间和不同草 地类型所有牧草产量资料和光谱资料建立的监测模 型。如乌鲁木齐地区的监测模型是用 1992—1994 年在高寒草甸放牧场、山地高草草甸割草场和山地 温性草原放牧场上观测取得的产量资料和光谱资料 建立的。总模型则是用乌鲁木齐南郊和阜康两站不 同草地类型不同年份的观测资料建立的监测模型。 线性模型为: $y = A + Bx$, 非线性模型为: $y = A \exp(B \cdot x)$ 其中 y 代表牧草产量, x 代表地面光谱 $NDVI$ 或比值植被指数 RVI , A 、 B 为参数。结果表明牧草 产量与光谱植被指数关系十分密切。

表 2 不同草地类型牧草产量光谱植被 指数监测模型参数

Table 2 The parameters of grass yield monitoring model for different grassland types using spectral vegetation indices data

模型	植被指数	草地类型	A	B	r	n
线 性	NDVI	高寒草甸	172.4391	608.114	0.6456*	10
		山地草甸	-213.961	1397.69	0.7046**	12
		低地草甸	148.9931	507.71	0.8053**	10
非 线 性	RVI	山地草甸	-61.0711	149.516	0.7692**	13
		高寒草甸	36.7560	3.5724	0.6853*	10
		山地草甸	50.0589	3.8565	0.8214**	12
非 线 性	RVI	低地草甸	184.3617	1.3996	0.7651**	10
		山地草甸	98.4747	0.343	0.7704**	13

*代表 0.05 显著水平, **代表 0.01 极显著水平, 下同。

表 3 不同地点草地牧草产量光谱植被 指数监测模型参数

Table 3 The parameters of grass yield monitoring model at different locations using spectral vegetation indices data

模型	植被指数	地点	A	B	r	n
线 性	NDVI	乌鲁木齐	-108.786	995.122	0.6633**	34
		阜康	40.587	600.403	0.5168**	35
		总模型	-15.8781	753.78	0.5768**	69
	RVI	乌鲁木齐	60.8744	89.5807	0.6317**	36
		阜康	18.935	101.101	0.6635**	31
		总模型	-17.4568	117.3081	0.7102**	67
非 线 性	NDVI	乌鲁木齐	59.0804	3.1953	0.7334**	34
		阜康	125.8008	1.2854	0.3389*	35
		总模型	93.9817	2.032	0.5044**	69
	RVI	乌鲁木齐	118.4037	0.2463	0.5968**	36
		总模型	96.5634	0.3148	0.6244**	67

3.2 天然草地牧草产量卫星遥感监测模型

利用同步的牧草产量资料和 NOAA/AVHRR 资 料建立卫星遥感监测模型(表 4、表 5)。从表 4、表 5 中可知, 可以用卫星遥感资料监测不同草地类型及 不同地点天然草地牧草产量。

3.3 牧草产量气象监测模型

表 6 为牧草产量与气象要素的相关系数, 其中 积温和日照时数从春季日平均气温稳定通过 0°C 之 日开始累积, 降水量由于考虑前期降水的影响, 从前 一年 11 月起累积。从表 6 中可知, 牧草产量与降水 量的相关性最好, 除禾本科牧草鲜重与降水量的相 关系数达 0.05 显著水平外, 其余的都达到 0.01 极 显著水平。其次是积温, 干草重都达到 0.01 极显 著水平, 鲜草重均达到 0.05 显著水平。日照时数最

表 4 不同草地类型牧草产量卫星植被指数监测模型参数

Table 4 The parameters of grass yield monitoring model for different grassland types using satellite vegetation indices data

模型	植被指数	草地类型	A	B	r	n
线性	NDVI	高寒草甸	178.34	665.666	0.7219**	24
		山地草甸	156.597	1140.73	0.5872*	17
		山地草原	83.2817	420.309	0.529**	41
		草甸草原	67.3238	1674.07	0.53*	15
	RVI	高寒草甸	88.4241	158.282	0.6604**	27
		山地草甸	131.074	188.625	0.5248*	17
		山地草原	28.5312	89.9261	0.4664**	40
		高寒草甸	158.8086	2.8121	0.6217**	24
非线性	NDVI	山地草甸	76.8534	3.1838	0.5899*	17
		山地草原	63.4721	0.7204	0.5447**	41
		草原化荒漠	76.8534	-0.6677	0.4337*	32
		草甸草原	124.1636	4.6105	0.645**	15
		盐生草甸	270.8323	4.4165	0.665*	10
		高寒草甸	112.0786	0.6494	0.5511**	27
	RVI	山地草甸	155.4618	0.503	0.5037*	17
		草甸草原	63.3453	1.1288	0.4053	10
		山地草原	39.4960	0.7947	0.4702**	40
		草原化荒漠	12.7764	1.5156	0.4307	16

表 5 不同地点牧草产量卫星植被指数监测模型参数

Table 5 The parameters of grass yield monitoring model at different locations using satellite vegetation indices data

模型	植被指数	地点	A	B	r	n
线性	NDVI	乌鲁木齐	163.967	690.602	0.41**	50
		阿勒泰	30.442	788.913	0.6265**	45
		阜康	125.764	1117.86	0.5185**	52
		总模型	201.664	307.007	0.6317**	192
	RVI	乌鲁木齐	138.329	122.373	0.368**	51
		阿勒泰	-171.838	237.011	0.629**	48
		阜康	-131.015	334.859	0.4377**	46
		总模型	53.994	161.746	0.278**	172
非线性	NDVI	乌鲁木齐	173.3825	2.0331	0.4169**	50
		阿勒泰	43.8029	6.7669	0.6169**	45
		阜康	139.7843	3.2534	0.5154**	52
		总模型	376.7576	0.4074	0.3736**	192
	RVI	乌鲁木齐	173.4692	0.3206	0.3332*	51
		阿勒泰	8.3821	1.9791	0.6255**	48
		阜康	48.72051	1.1478	0.4612**	46
		总模型	59.7996	0.8053	0.4079**	172

表 6 牧草产量与气象条件的相关系数

Table 6 The correlation coefficient between grass yield and meteorological condition

项目	干草重			鲜草重		
	禾本科	杂类草	总产	禾本科	杂类草	总产
气象要素						
积温	0.871**	0.674**	0.860**	0.606*	0.516*	0.639*
降水量	0.882**	0.761**	0.896**	0.631*	0.641**	0.703**
日照时数	0.873**	0.611	0.841**	0.62*	0.448	0.625**

差, 只有禾本科干草及总干草重与日照时数的相关系数达到 0.01 极显著水平, 杂类草鲜草重与日照时数的相关系数没有通过显著性检验, 其余的达到 0.05 显著水平。

根据相关系数分析结果, 应用多元回归分析建立了禾本科、杂类草、总产的干、鲜草重与积温、降水量的回归模型, 用于产量监测, 结果如表 7, 其中 y_1, y_2, y_3 分别为禾本科干草重、杂类草干草重及总干草重; y_4, y_5, y_6 分别为禾本科鲜草重、杂类草鲜草重及总鲜草重; x_1 为 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温, x_2 为从前一年 11 月开始累积的降水量。从表 7 可知, 干草重与气象要素的回归效果较好, 通过 0.01 极显著检验; 鲜草重与气象条件的回归效果较差, 禾本科鲜重没有通过显著性检验, 杂类草和总鲜草达 0.05 显著检验。

表 7 牧草产量与气象条件的回归模型与检验

Table 7 The regression models and their F test between grass yield and meteorological condition

类型	回归模型	r	F
干草重	禾本科 $y_1 = -12.2257 + 0.0468x_1 + 0.2048x_2$	0.8911	21.1995
	杂类草 $y_2 = -7.0565 - 0.0187x_1 + 0.1830x_2$	0.7693	7.9750
	总产 $y_3 = 5.2917 + 0.0290x_1 + 0.3851x_2$	0.8975	22.781
鲜草重	禾本科 $y_4 = 134.1735 + 0.0377x_1 + 0.5011x_2$	0.6321	3.6604
	杂类草 $y_5 = 9.1117 - 0.1104x_1 + 0.6132x_2$	0.6867	4.9069
	总产 $y_6 = 143.4594 - 0.07191x_1 + 1.116x_2$	0.7052	5.4421

4 牧草产量综合预测模型

4.1 牧草产量卫星遥感预报模型

前期建立天然草地牧草产量遥感监测模型采用的资料是不同步的^[3], 在 80 年代中后期, 随着研究的深入, 逐步采用同步观测的产量资料和接收的 NOAA/AVHRR 资料建立监测模型^[4-9], 为实时了解天然草地产量提供了科学手段, 但这些研究都未能建立利用遥感资料预测未来一定时期的牧草产量模型。

卫星植被指数含有天然草地牧草产量信息, 而前期的生物量是后期生长的基础, 反映未来生长趋势, 因此可用卫星植被指数预报未来产量, 但其影响时间多长, 即预报时效问题有待理论上进一步证实, 在此只能以统计方法建立预报模式。15 天预报模式是指用当前的卫星植被指数预报未来第 15 天的产量, 而 30 天的预报模式则指用当前的卫星植被指数预报未来第 30 天的产量, 但由于预报时间较长,

产量达到最高之后转为下降,因此以最高产量前的卫星植被指数为自变量预报,以相应第 30 天的产量为因变量建立线性预报模型,结果(表 8)表明利用

气象卫星资料预测未来一定时期的牧草产量是可行的。

表 8 天然草地牧草产量卫星遥感预报模型参数

Table 8 The parameters of grass yield predicting model using satellite data

	地点	植被指数	A	B	r	n	误差/%
15 天 预 报 模 型	乌鲁木齐	NDVIsa	112.03413	988.79519	0.58173 **	42	9.7092
	阿勒泰	NDVIsa	33.35058	826.66868	0.67083 **	42	-28.575
	阜康	NDVIsa	16.30453	1815.12231	0.71483 **	39	18.1403
	乌鲁木齐	RVIsa	26.11547	200.92699	0.59786 **	42	-15.6189
	阿勒泰	RVIsa	-190.8196	254.76602	0.67719 **	44	-15.7951
	阜康	RVIsa	-363.92133	502.12845	0.65578 **	39	-16.8719
30 天 预 报 模 型	乌鲁木齐	NDVIsa	160.27123	1089.64095	0.60711 **	19	-7.6654
	阿勒泰	NDVIsa	54.25986	742.1602	0.49923 **	27	-22.0652
	阜康	NDVIsa	92.14491	2811.15797	0.88321 **	17	-33.2565
	乌鲁木齐	RVIsa	56.16356	238.4494	0.68218 **	20	-17.3458
	阿勒泰	RVIsa	-203.43471	278.1531	0.61532 **	30	-18.324
	阜康	RVIsa	-538.08072	680.51132	0.79977 **	20	2.9826

注: NDVIsa 为卫星归一化植被指数; RVIsa 为卫星比值植被指数

4.2 牧草产量气象预报模式

在研究农作物产量气象预报模式时,一般将产量分解为变化缓慢、反映社会发展和生产技术水平提高的趋势产量和变化频繁、反映环境因子特别是气候变化影响的气象产量及随机因素造成的随机产量^[10],即:

$$y = y_t + y_w + y_e \quad (1)$$

其中: y 为实际产量; y_t 为趋势产量,常表示成时间的函数; y_w 为气象产量; y_e 代表随机因素引起的随机产量,通常忽略不计。对于天然草地,其面积大,除少数改良草场外,人为干预少,基本上处于自然状态,产量高低主要受环境条件特别是气候条件的影响,社会发展和生产技术水平的提高对其影响很小,因此,牧草产量处理方法不能照搬农作物产量处理方法,必须根据牧草产量的变化规律进行产量处理。

首先选取代表光温水的年降水量、年平均相对湿度、年平均绝对湿度、年平均日照百分率、日平均气温稳定通过 0°C 积温、日平均气温稳定通过 0°C 日数、日平均气温稳定通过 10°C 积温、日平均气温稳定通过 10°C 日数、日最低气温小于 -20°C 的日数、日最低气温小于 -30°C 的日数、日最高气温大于 30°C 的日数、日最高气温大于 35°C 的日数和时间因子,计算牧草产量与各要素的相关系数,结果表明:达到 0.01 极显著水平的有年降水量、年平均相对湿度、绝对湿度和年平均日照百分率,其余都没达到显著水平。牧草产量与时间的相关系数只有 0.28,没

有通过显著性检验。

然后,用以上 13 个因子与牧草产量建立逐步回归方程,通过取不同的 F_0 值筛选因子, F_0 值从大到小变化先后入选的因子分别是年降水量、年平均绝对湿度、日最高气温大于 30°C 的日数、日平均气温稳定通过 0°C 的日数和稳定通过 10°C 的日数。当 F_0 从 10.5 减少到 1.0 时,逐步回归方程都没有引入时间因子,表明冬草场牧草产量没有显著地随时间上升或下降的趋势。因此,研究牧草产量与气象条件的关系时,不需要分离趋势产量和气象产量,即将原产量序列视为气象产量。

利用积分回归和相关分析,结果表明,天然草地牧草产量形成的关键期是 4—6 月,降水量是关键因子;7—8 月为牧草生殖生长期;9 月后秋季返青,牧草产量上升。因此分 3 个时段建立天然草场牧草产量预报方程,分别在 7 月、9 月和 11 月作出不同时效的产量预报。

由于不同时段不同要素组合,对天然草地牧草产量的影响不同,为了全面研究各时段各因子对牧草产量的影响,在建立预报方程时,先对因子进行膨化处理,将各要素的每一种膨化组合视为一个独立因子。通过对降水、气温、相对湿度、绝对温度、日照百分率等要素的累加或滑动平均膨化组合,形成 95 个独立变量,参加筛选,按上述 3 个时段建立牧草产量预报方程。

第一阶段的预报方程为

$$y = 69.75 + 2.89R_1 - 1.81H_3 + 0.57R_{4.6}$$

$$+ 2.37H_5 \quad r = 0.84, n = 21 \quad (2)$$

通过 0.01 极显著检验,其中 R_1 为 1 月份的降水量; H_3 为 3 月份的相对湿度; R_{4-6} 为 4—6 月的降水量; H_5 为 5 月份的相对湿度。

第二阶段的预报方程为

$$y = -767.04 + 0.97R_{4-8} - 0.54R_{11-3} + 37.11E_{4-8} + 19.87T_8 \quad r = 0.89, n = 21 \quad (3)$$

通过 0.01 极显著检验,其中 R_{4-8} 为 4—8 月降水量; R_{11-8} 为前年 11 月到当年 8 月的降水量; E_{4-8} 为 4—8 月平均绝对湿度; T_8 为 8 月平均气温。

第三阶段的逐步回归方程为

$$y = -600.07 - 2.89H_{11-3} + 11.95T_{7-8} + 0.44R_{4-10} + 46.03E_{4-10} + 10.61T_{9-10} \quad r = 0.95, n = 21 \quad (4)$$

通过 0.01 极显著检验,其中 H_{11-3} 为前年 11 月到当年 3 月的平均相对湿度; T_{7-8} 为 7—8 月平均气温; R_{4-10} 为 4—10 月降水量; E_{4-10} 是 4—10 月平均绝对湿度; T_{9-10} 代表 9—10 月平均气温。

用 1987 年的实测资料进行精度检验,结果 1987 年 3 个时段预报值分别为 216.8, 212.4 和 222.4; 实测值 218.9, 相对误差分别是 1.0%, 3.0% 和 1.6%, 预报正确。

5 结论与讨论

(1) 天然草地牧草产量遥感监测预测与农作物遥感估产相比,因天然草地牧草生长发育及产量形成主要受自然条件影响,受社会条件影响小,而且估测的是牧草生物量而不是经济产量,因此天然草地牧草产量遥感监测预测结果更佳。

(2) 天然草地面积大,有许多地方效通困难,人迹罕至,很难掌握牧草产量情况,不像农作物具有准确的产量数据,遥感提供了及时准确的牧草产量信息,其潜力很大。

(3) 天然草地牧草产量气象模型精度较高,但气象站点有限,往往以点代面,遥感技术宏观性强,空间信息丰富,两者既可以互相验证,又可以取长补短。

(4) 1995 年以后,根据气象资料和气象卫星资料,利用这些模型进行天然草地牧草产量预报服务,1995 年预报新疆天然草地牧草产量比历年平均减产 17%,1996 年预报新疆天然草地牧草产量与历年平均相比持平,与畜牧部门调查结果相吻合,得到有关部门的高度评价,成为新疆气象局畜牧业气象服务

的重要组成部分。

参考文献 (References)

- [1] The Husbandry Department of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Xinjiang grassland resources and its application [M]. Urumqi: Xinjiang Hygienic Sciences & Technology Press, 1993. [新疆维吾尔自治区畜牧厅. 新疆草地资源及其利用[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1993.]
- [2] Li Bo, Shi Peijun. Developing the research on dynamics monitoring of grassland resources and realizing the modernization of grassland information management [A]. Li Bo, et al. Research on dynamics monitoring of grazing ecosystem in the north of China: The design on technical system of dynamic monitoring of grazing ecosystem and regional experimental practice [C]. Beijing: China Agricultural Sciences & Technology Press, 1993, 3—7. [李博, 史培军. 开展草地畜牧业动态监测研究实现草地管理现代化[A]. 李博等. 中国北方草地畜牧业动态监测研究(一)——草地畜牧动态监测系统设计与区域实验实践[C]. 北京: 中国农业出版社, 1993, 3—7.]
- [3] Huang Jingfeng. Advances in vegetation remote sensing using NOAA/AVHRR data [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 1992, 7(1): 57—61. [黄敬峰. NOAA 气象卫星植被遥感研究动态[J]. 遥感技术与应用, 1992, 7(1): 57—61.]
- [4] Diallo, O., Diouf, A., Hanan, N. P., Ndiaye, A., Prevost, Y. AVHRR monitoring of Savanna primary production in Senegal, West Africa, 1987—1988 [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1991, 12: 1259—1279.
- [5] Justice, C. O., Hiemaux, P. H. Y. Monitoring the grasslands of the Sahel using NOAA AVHRR data; Niger 1983 [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7: 1475—1497.
- [6] Prince, S. D., Tucker, C. O. Satellite remote sensing of rangelands in Botswana II: NOAA AVHRR and herbaceous vegetation [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7: 1555—1570.
- [7] Prince, S. D. Satellite remote sensing of primary production: comparison of results for Sahelian grasslands, 1981—1988 [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1991, 12: 1301—1312.
- [8] Huang Jingfeng, Sang Changqing, Feng Zhenwu. The remote sensing dynamic monitoring model of grass yield of natural grassland in the middle section of the Tianshan north slope [J]. *Journal of Natural Resources*, 1993, 8(1): 10—17. [黄敬峰, 桑长青, 冯振武. 天山北坡中段天然草场牧草产量遥感动态监测模型[J]. 自然资源学报, 1993, 8(1): 10—17.]
- [9] Li Jianlong, Jiang Ping, Dai Ruolan. Advances in study on the remote sensing technology and GPS and GIS integration systems in estimating grassland yield applications in the north of Xinjiang, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(5): 504—510. [李建龙, 蒋平, 戴若兰. RS, GIS 和 GIS 集成系统在新疆北部天然草地估产技术中的应用进展[J]. 生态学报, 1998, 18(5): 504—510.]
- [10] Wang Futang, Li Yuzhu, Wang Shili. An introduction on meteorological simulation and model of agricultural yield. Beijing: Science Press, 1990, 40—41. [王馥棠, 李郁竹, 王石立. 农业产量气象模拟与模型引论. 北京: 科学出版社, 1990, 40—41.]

A Study on Monitoring and Predicting Models of Grass Yield in Natural Grassland Using Remote Sensing Data and Meteorological Data

HUANG Jing feng¹, WANG Xiu zhen¹, WANG Ren chao¹, HU Xin bo²

(1. *Institute of Agricultural Remote Sensing and Information System Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;*

2. *Grassland Institute of Xinjiang Husbandry Academy, Urumqi 830002, China)*

Abstract: Using grass spectral data, yield data, meteorological data and NOAA/AVHRR data of natural grassland, grass yield monitoring models using remote sensing and meteorological data are established. These models can provide grass yield during growth period and this is very useful to direct animal husbandry production. The grass yield predicting models using NOAA/AVHRR and meteorological data are established. These models can provide grass yield in advance, and this is very important to arrange animal husbandry production. Meteorological models are more accurate, but these models can only estimate the grass yield at limit locations. Remote sensing models can estimate the grass yield an any location. Therefore, the monitoring and predicting results are reliable if meteorological models and remote sensing models are used together. The estimated results after 1995 show that these models can meet the needs of operational services.

Key words: grass yield; remote sensing; model