

草原综合顺序分类系统第二级亚类的 定量划分研究——以甘肃省为例

李纯斌^{1,2}, 吴静², 柳小妮¹, 张德罡¹

(1. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要:草原综合顺序分类理论自 20 世纪 50 年代提出以来,其完善的基本理论构架和定量化潜力已经使其成为草地生态系统研究科学性的代表。在草原综合顺序分类系统第 1 级——“类”的定量化研究方面取得了丰硕的成果,建立了检索图。但自该体系建立以来,由于数据获取困难,定量技术限制等原因,一直未开展第 2 级分类的定量化研究。论文以草原综合顺序分类系统的第 2 级——“亚类”为研究对象,在对亚类的分类指标——地形(地貌)和土壤的发生和分类进行综合分析的基础上,提出了在草地亚类划分中进行定量化分类的方法和原则,并以甘肃省为研究区域,进行了亚类的划分实践。首先,确定在山地使用地形(地貌)因子,在平原使用土壤亚类进行草地亚类划分,具体将甘肃省山地和平原按照坡度 $>3^\circ$,连续面积达到 6 km^2 以上,划分为山地,其余划分为平原;在 SRTM-DEM 数据基础上,提取了坡度、海拔、地势起伏度、山地和平原等因子,将甘肃省划分为 20 个基本地貌类型单元;利用 SRTM-DEM 提取的地形坡度、坡向、曲率等数据和 MODIS 数据中 MODIS09GA、MODIS13A2 影像提取和反演的土壤亮度、植被指数、水体指数、土壤温度、湿度指数、纹理特征等信息,通过监督分类,将甘肃省的土壤亚类定量化划分为 36 个类型;在此基础上,在山地使用地貌分类指标,在平原使用土壤分类指标将甘肃省草地划分为 568 个草地亚类。研究结果可以为完善草原综合顺序分类系统,建立类与型之间的桥梁,并最终推进该系统三级分类体系的实用化提供研究思路和方法参考。

关键词:甘肃省;草原综合顺序分类系统;亚类;定量化分类;地貌;土壤亚类;3S 技术

中图分类号:S812 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2014)01-0312-10

DOI:10.11686/cyxb20140137

草地,在全球生态系统中占有举足轻重的地位^[1-2],它的发生和发展反映着地球生态系统的发生和演进方向^[3-5]。草地的分布有着较强的规律性,对草地系统的分类是认识草地分布规律和演化机理的重要手段,特别是在现代技术手段下,用定量化方法进行草地分类研究,对揭示草地分布的规律性,提升草地研究的科学性有重要意义^[6-7]。

我国的草地分类研究经过了几十年的发展,形成了以中国草地分类系统和草原综合顺序分类系统为主的两大分类体系^[8]。其中草原综合顺序分类以其在定量化方面的优势,在科学性上站到了世界草地分类的科学前沿。

草原综合顺序分类系统,首先以生物气候指标为依据,将具有统一地带性农业生物气候特征的草地划分为类,目前使用的划分指标是 $>0^\circ\text{C}$ 积温和湿润度 K 值。类是分类体系的核心,若干类可合并为一个类组。类之下继续划分为亚类,亚类以土地特征为指标加以划分,具体指标为土壤类型和地形。亚类之下根据植物特征划分为型,必要时可再划分为亚型及微型,型的划分指标具体是指草地植物群落中的优势种。在此分类系统中,类是基本单位,类组、亚类、型、亚型和微型都是辅助单位^[8-12]。

目前,草原综合顺序分类系统已经在第 1 级——“类”建立了完整的检索图,实现了类一级的定量化,虽然在定量数据方面受制于现有研究条件的限制,出现“以点代面,以相邻生境代替实际生境”的问题^[13-14],但是在理论体系,指标设计方面都较为完善。在定量化方面还有待补充完善的是第 2 级“亚类”和第 3 级“型”,二者目前还没有定量化工作展开。所以,进行第 2,3 级的定量化分类是草原综合顺序分类系统定量化发展的一个重要方向^[7]。

收稿日期:2013-01-11;改回日期:2013-05-22

基金项目:国家自然科学基金项目(31160475)资助。

作者简介:李纯斌(1972-),男,土家族,湖北长阳人,副教授,博士。E-mail:licb@gsau.edu.cn

不论是在中国草地分类法里,抑或是在草原野外调查工作中,亚类这一级别往往是个过渡性级别,在描述上往往也较为简单。在草原综合顺序分类法中,虽然将其划分为 3 级分类指标中的第 2 级,给出了划分的原则,但其量化分类的方法和原则还不明确,也未见实际定量划分的报道。

在中国草地分类法中对亚类的划分和名称有具体的定性描述,而在草原综合顺序分类法中却没有具体的划分和命名。而正因为缺少亚类级别,致使草原综合顺序分类系统在实际应用中受到限制,所以在野外调查中目前还很少有人使用草原综合顺序分类系统作为草地类型划分的分类描述工具,使草原综合顺序分类系统的实用性受到影响。

本文以草原综合顺序分类系统的第 2 级——“亚类”为研究对象,在对亚类的分类指标进行综合分析的基础上,提出了草地亚类定量划分方法和原则,并据此以甘肃省为研究区域进行了亚类的划分实践。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

甘肃省介于 $32^{\circ}11' \sim 42^{\circ}57' \text{ N}$ 、 $92^{\circ}13' \sim 108^{\circ}46' \text{ E}$ 之间,东西长 1655 km,南北宽 530 km,地域狭长。区内气候类型多样,既有亚热带气候也有高原寒温带气候;冰川、高原、荒漠戈壁、丘陵、沙漠、森林等土地类型多种多样;地形复杂多变,动植物种类繁多,草地类型多样。

选择甘肃省为二级类定量划分的研究区域,一是鉴于其草地类型的丰富性,地形地貌和土壤类型的多样性,气候的复杂性在全国都处于较为显著的地位,因此在研究草地分类研究中具有其突出优势;二是本区域的草地科学研究工作基础较为深厚,较易获得研究数据和研究参考文献。

1.2 数据源

DEM 数据:本研究使用 STRM3-DEM(Shuttle Radar Topography Mission, <http://datamirror.csdb.cn/dem>)90 m 分辨率数据,约相当于 1:25 万比例尺地形图。投影方式采用 Albers Conical Equal Area。

遥感影像:选用 MODIS09GA、MODIS13A2 数据(<http://modis.gsfc.nasa.gov/>)。其中 MODIS09GA 是每日地表反照率数据集,包括 7 个波段反照率和相应的质量控制数据,空间分辨率为 500 m;MODIS13A2 是 16 d 合成植被指数数据集,包括 NDVI(归一化植被指数)、EVI(增强型植被指数)及相应的质量控制数据,空间分辨率为 1 km。投影转换为 Albers Conical Equal Area。

土壤矢量数据:采用全国土壤普查办公室 1995 年编制并出版的《1:100 万中华人民共和国土壤图》,投影转换为 Albers Conical Equal Area。

气象数据:气象数据来源于美国国家气候数据中心(National Climatic Data Center, NCDC, <http://www.ncdc.noaa.gov/>)第 7 版数据集,研究采用甘肃省及周边地区 202 个气象站点 1960—2009 年逐日降水量和气温资料。数据处理为多年平均降水和 $>0^{\circ}\text{C}$ 年积温。

行政区划数据:采用中国科学数据共享平台提供的中国 1:100 万中国行政数据。

验证数据:采用 2005 年和 2006 年甘肃省草地实地监测数据,经过整理筛选,形成共计 297 个有效验证数据,野外调查依据《草地资源与生态监测技术规程(NY/T1233—2006)》进行采样。野外详细调查了采样点的经纬度、海拔、地貌、草地类、坡度坡向、土壤质地、主要植物等信息,为验证工作提供了较好的工作基础;样点分布于肃南、肃北、阿克塞、天祝、山丹、古浪、高台、瓜州共 8 个县市。

1.3 研究方法

1.3.1 亚类划分指标选择 亚类的划分指标是土地条件,土地是土壤和地形条件的有机结合,是在一定土壤条件下的地形,或一定地形条件下的土壤,在概念上不可分割,就好比家庭种花用的花盆和土结合一样,有盆无土和有土无盆都不行。但在具体的定量划分中需要进行一定的取舍,如胡自治^[8]论述为“在亚类划分中,在地形复杂地区使用地形指标进行划分,在平原丘陵区用土壤或土壤基质指标进行划分”。

那么应如何区分地形复杂程度?土地学中的土地概念的核心也是土壤和地形(地貌)^[9],现在的土地学分类,没有给草原分类提供一个更好的现成系统利用。但土壤学和地貌学分别为平地草原和山地草原的亚类分类提供

了可用的指标系统。其中一个办法是根据土壤调查中对调查区复杂程度的定义进行复杂程度划分。如全国第 2 次土壤普查中将调查区的复杂等级程度分为 5 个等级:I 冲积平原与高平原,II 切割平原与冲积平原,III 丘陵、注 涉平原与河谷平原,IV 山地、盐碱地、沼泽地、水稻区,V 高度集约的农地。但是仔细分析这 5 类调查区的划分, 发现其划分依据较为复杂,难以几个定量指标进行区分。

另一种方法是使用地貌学分类中对山地和平原的定义,将山地视为地形复杂区域,这里的平原既包括低海拔 区域的平原丘陵,也包含高海拔地区广阔的平坦地表。在地貌研究中进行山地和平原的定量划分已经有一定的 工作基础,划分指标较为清晰,相对容易实现。所以,利用地貌学中关于山地和平原的划分定义,以定量的手段进 行山地和平原的划分,山地选用基本地貌类型进行草地亚类划分,平原选用土壤亚类进行草地亚类划分是进行草 地亚类划分的较为便捷的手段,因而以此作为本研究亚类划分指标选用的依据。

综上,在亚类划分中分别用地形(地貌)指标划分山地草原(地貌学分类中的山地类型)亚类,土壤指标划分平 原草原(地貌学分类中的平原类型)亚类。

1.3.2 分类原则 1) 为便于和其他学科进行交流,并跟进其最新研究成果,地形(地貌)的划分和命名以《中国 1:1000000 地貌图制图规范(试行)》(1987)^[15] 为依据。

2) 土壤的划分和命名以席承藩^[16] 主编的《中国土壤》(1994)确定的土壤发生分类系统为依据。

3) 不再使用土壤基质作为划分的指标。

4) 对亚类 2 个划分指标的选用上,确定山地用地貌指标进行分类,平原用土壤指标进行分类。其中平原并不 只是指低海拔区域的平原,高海拔区的平坦地表也认为是平原(平地)。

5) 在亚类命名中,使用“类名+基本地貌类型名”,“类名+土壤亚类”的连续命名方法。这样方便记忆,并容 易和地貌学、土壤地理学的研究相互映照。另外,由于同一地貌类型可以在不同的草原大类中出现,“类名+基本 地貌类型名”的连续命名,可以区别不同大类同一地貌类型亚类的生态和生产条件的差异。

1.3.3 亚类的划分指标体系 1) 山地草原亚类的指标体系:选用基本地貌类型的划分标准(表 1)作为地形指标 的分类指标体系。在划分中使用小起伏低山、中起伏高山等名词作为亚类的基本名称,在亚类命名中使用“类 名+基本地貌类型名”,如“微温极干温带荒漠类小起伏中山亚类”。

2) 平原草原亚类的指标体系:使用土壤发生分类中土壤亚类的划分和命名作为此亚类的依据。在划分中使 用淡栗钙土、寒钙土等名词作为亚类的基本名称,在亚类命名中使用“类名+土壤亚类名”,如“微温极干温带荒漠 类寒钙土亚类”。

2 结果与分析

2.1 定量划分路线

首先,通过定量方法区分山地和平原,在此基础上,在山地选择地形(地貌)指标进行划分,在平原使用土壤亚 类指标进行划分,以草地类一级的划分成果作为基础,在交选的基础上形成草原综合顺序分类的亚类分类结果 (图 1)。

2.2 山地草原亚类(地形地貌)的定量划分

2.2.1 划分步骤 划分山地和平原—提取海拔和分级—计算地势起伏度和分级—地图代数运算—甘肃省地貌 基本类型分类结果—草原山地亚类。

2.2.2 划分过程 利用 SRTM-DEM 数据,计算甘肃省 SRTM3 的数字地形模型(DEM)的最佳地势起伏度统 计单元,计算分析窗口的最大高程值 H_{max} 和最小高程值 H_{min} ,利用公式 $Relief = H_{max} - H_{min}$,将甘肃省地势起伏 度分为 7 级,平原(起伏度 $<30\text{ m}$)、台地(起伏度 $>30\text{ m}$)、丘陵(起伏高度 $100\sim200\text{ m}$)、小起伏山地(起伏高度 $200\sim500\text{ m}$)、中起伏山地(起伏高度 $500\sim1000\text{ m}$)、大起伏山地(起伏高度 $1000\sim2500\text{ m}$)和极大起伏山地(起 伏高度 $>2500\text{ m}$),得出甘肃省 SRTM-DEM(1:25 万尺度)地势起伏度分布图。同时,根据选取的地貌分类方 案,将海拔分为 5 级,即低海拔($<1000\text{ m}$)、中海拔($1000\sim2000\text{ m}$)、高中海拔($2000\sim4000\text{ m}$)、高海拔($4000\sim 6000\text{ m}$)和极高海拔($>6000\text{ m}$)。

表 1 草原综合顺序分类系统二级类——地形指标划分的分类体系

Table 1 Index of montana classification, CSCS (comprehensive and sequential classification system of grassland)

项目 Item	类型 Types	海拔 Altitude				
		(1) 低海拔	(2) 中海拔	(3) 高中海拔	(4) 高海拔	(5) 极高海拔
		Low altitude	Intermediate altitude	Sub-high altitude	High altitude	Extremely high altitude
		(<1000 m)	(1000~2000 m)	(2000~4000 m)	(4000~6000 m)	(>6000 m)
山地 Mountainous land	丘陵 Hill (100~200 m)	低海拔丘陵 Low Altitude hill	中海拔丘陵 Inter-mediate altitude hill	高中海拔丘陵 Sub-high altitude hill	高海拔丘陵 High altitude hill	—
	小起伏山地 Low relief mountain (200~500 m)	小起伏低山 Low relief and low altitude mountain	小起伏中山 Low relief but intermediate altitude mountain	小起伏高中山 Low relief but sub-high altitude mountain	小起伏高山 Low relief but high altitude mountain	—
	中起伏山地 Intermediate relief mountain (500~1000 m)	中起伏低山 Intermediate relief but low altitude mountain	中起伏中山 Intermediate relief and intermediate altitude mountain	中起伏高中山 Intermediate relief and sub-high altitude mountain	中起伏高山 Intermediate relief and high altitude mountain	中起伏极高山 Intermediate relief and extremely high altitude mountain
	大起伏山地 High relief mountain (1000~2500 m)	—	大起伏中山 High relief but intermediate altitude mountain	大起伏高中山 High relief and sub-high altitude mountain	大起伏高山 High relief and high altitude mountain	大起伏极高山 High relief and extremely high altitude mountain
	极大起伏山地 Extremely high relief mountain (>2500 m)	—	—	极大起伏高中山 Extremely high relief and sub-high altitude mountain	极大起伏高山 Extremely high relief and high altitude mountain	极大起伏极高山 Extremely high relief and extremely high altitude mountain

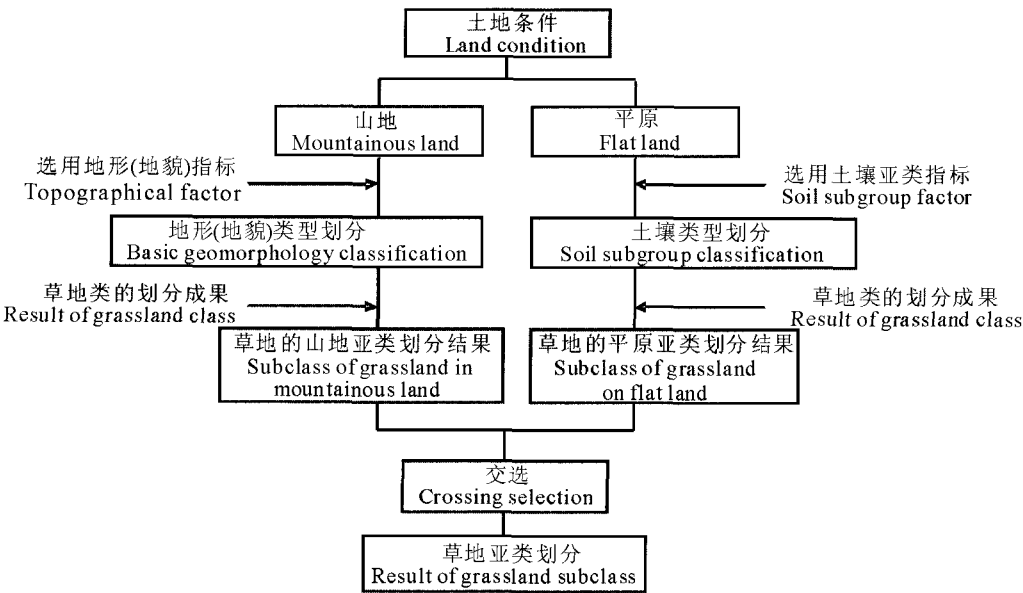


图 1 草地亚类划分路线图

Fig. 1 Route of subclass classification of grassland

将地貌海拔分级成果和地势起伏度图进行叠加分析,根据山地草原亚类划分标准,得到量化的甘肃省山地亚类地貌指标分布图。

2.3 平原草原亚类(土壤)的定量划分

利用中国 1 : 100 万土壤数据库数据,采用 MODIS 数据及 DEM 数据,在 MRT(Modis Reprojection Tool)、ERDAS(v8. 5)、ARCGIS(v10. 0)数据处理软件平台的支持下,根据土壤分类的主要影响因素和遥感数据的特点,选取土壤亮度、植被指数、地形坡度、水体指数、土壤温度、湿度指数、纹理特征等作为分类依据,采用监督分类法进行甘肃省土壤定量化分类。以甘肃省土壤类型图为相对真值,利用混淆矩阵进行分类结果评价,总体分类精度为 62. 50%,KAPPA=0. 6053。

对分析后的图像进行重编码,归为 36 个土壤亚类。再通过众数滤波将 6 km² 以下的分类图斑进行滤波合并。由此形成甘肃省定量化数字土壤分布图。

2.4 山地草原亚类划分结果与平原草地亚类划分结果交选

2.4.1 山地和平原的定量划分 在 DEM 中,山地可以被看做是由一些坡度大于一个阈值,并且图斑相连达到一定面积的坡面。因此,恰当地进行坡度的分级,合理的设置坡度阈值和确定最小图斑面积,是完成山地和平原界限定量化提取的前提^[14-19]。采用模式分级法中的自然断裂点分级方法进行坡度的分级,确定坡度阈值为 3°,得到山地和平原初分结果。因为平原中的极小片坡度大于分级点的栅格不能算作是山地,而山地中的小片坡度较小的平地也不能就说是平原,所以要达到一定的面积才能称之为平原和山地。所以在进行面积阈值确定的时候,根据甘肃省的地貌特点,结合甘肃省地貌图,进行了反复试验,设定了面积阈值为 6 km²。这样以坡度>3°,连续面积>6 km² 划分为山地,其他划分为平原,得到山地和平原分类图(图 2a)。

2.4.2 山地草原亚类和平原亚类的交选 根据工作中制定的草地亚类划分原则,在区分山地和平原的基础上,利用地貌数据划分山地草原亚类(图 2b),用土壤数据划分平原亚类(图 2c)。

交选结果见图 2,山地和平原的划分结果深蓝色为山地,浅蓝色部分为平原(图 2a)。

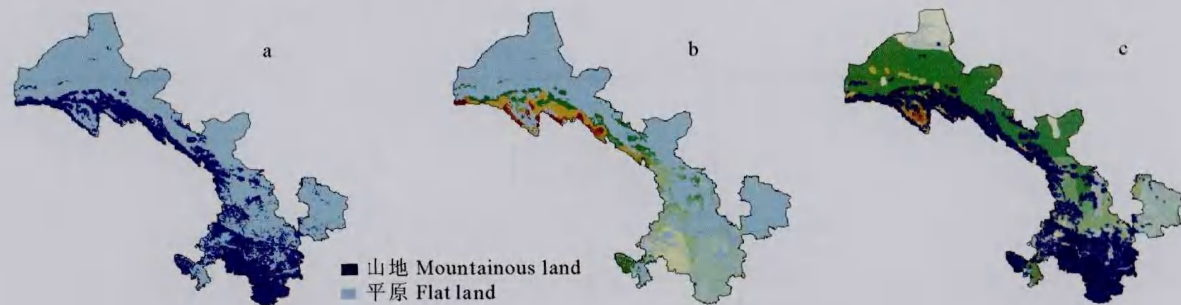


图 2 亚类划分交选图

Fig. 2 Subclass classification area options

a: 山地和平原划分结果 Result of partition of mountainous land and flat land; b: 山地的亚类划分结果(蓝色未进行划分) Subclass of grassland in mountainous land(no-classified in blue part); c: 平原的亚类划分结果(蓝色未进行划分) Subclass of grassland on flat land(no-classified in blue part)。

2.5 亚类分类结果

将山地和平原(平地)亚类定量划分结果叠加于甘肃省草原综合顺序分类的一级类的结果图^[20],得到亚类划分结果图。山地草原以基本地貌类型为划分指标,共划分为 183 个亚类;平原草原以土壤亚类为划分指标,共划分为 385 个亚类;共计将甘肃省草地依据草原综合顺序分类法划分为 568 个亚类(图 3)。具体的有, I A1-M-IRIAM:寒冷极干寒带荒漠、高山荒漠类中起伏中山亚类(面积 29. 2 km²); I A1-M-LRSAM:寒冷极干寒带荒漠、高山荒漠类小起伏高中山亚(面积 174. 62 km²); I A1-M-IRSAM:寒冷极干寒带荒漠、高山荒漠类中起伏高中山亚类(面积 173. 12 km²); I B8-M-IAH:寒冷干旱寒带半荒漠、高山半荒漠类中海拔丘陵亚类(面积 57. 42 km²); I B8-M-LRIAM:寒冷干旱寒带半荒漠、高山半荒漠类小起伏中山亚类(面积 253. 79 km²); I B8-M-IRIAM:寒冷干旱寒带半荒漠、高山半荒漠类中起伏中山亚类(面积 377. 13 km²); I B8-M-HRIAM:寒冷干旱寒带半荒漠、高山半荒漠类大起伏中山亚类(面积 79. 25 km²); I B8-M-SAH:寒冷干旱寒带半荒漠、高山半荒漠

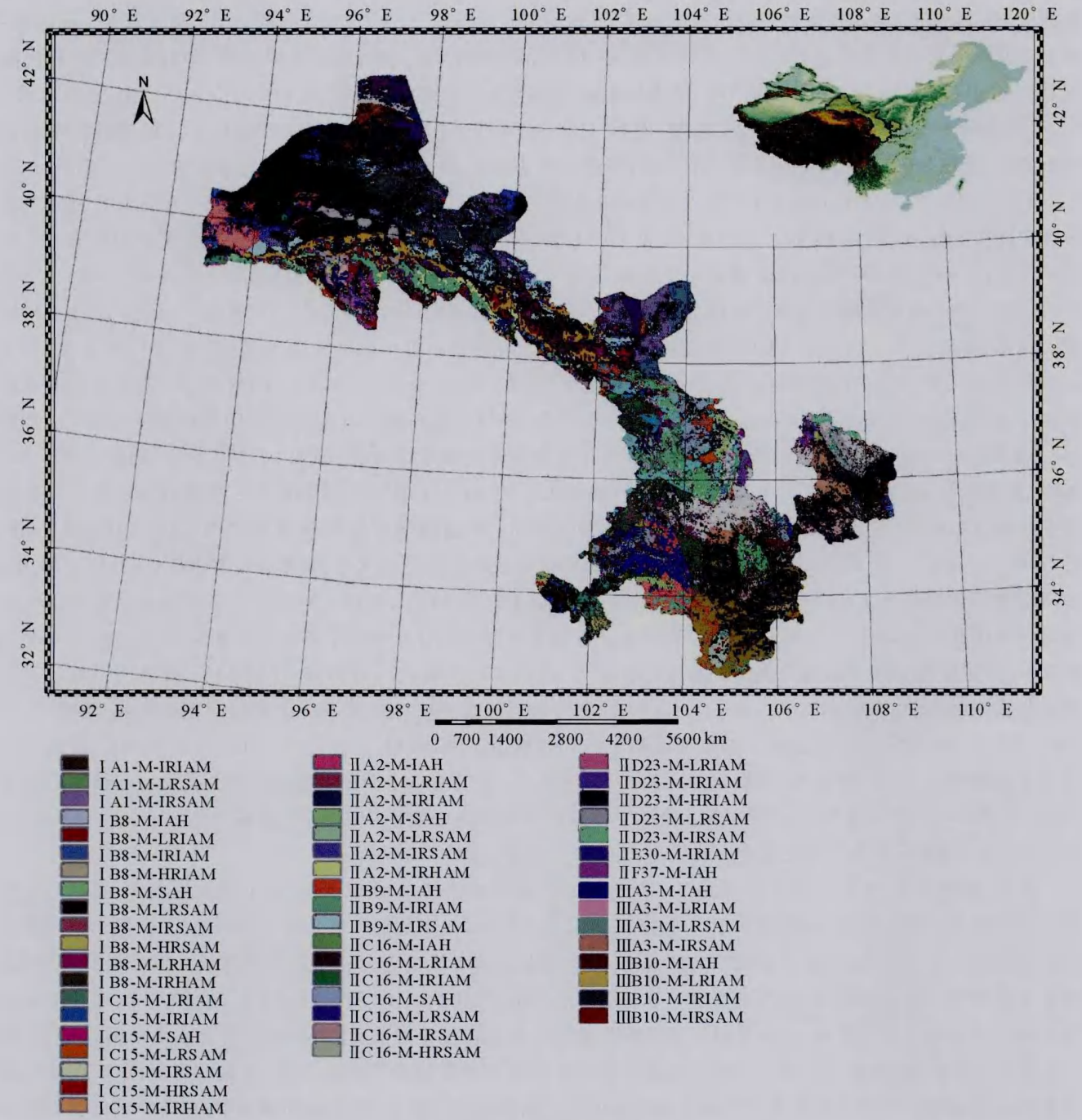


图 3 甘肃省草地亚类划分结果

Fig. 3 Result of grassland subclass of Gansu Province

类高中海拔丘陵亚类(面积 316.18 km²)；I B8-M-LRSAM：寒冷干旱寒带半荒漠、高山半荒漠类小起伏高中山亚类(面积 1421.95 km²)；I B8-M-IRSAM：寒冷干旱寒带半荒漠、高山半荒漠类中起伏高中山亚类(面积 1580.1 km²)；I B8-M-HRSAM：寒冷干旱寒带半荒漠、高山半荒漠类大起伏高中山亚类(面积 108.49 km²)；I B8-M-LRHAM：寒冷干旱寒带半荒漠、高山半荒漠类小起伏高山亚类(面积 8.91 km²)；I B8-M-IRHAM：寒冷干旱寒带半荒漠、高山半荒漠类中起伏高山亚类(面积 81.02 km²)；I C15-M-LRIAM：寒冷微干干燥冻原、高山草原类小起伏中山亚类(面积 140.44 km²)；I C15-M-IRIAM：寒冷微干干燥冻原、高山草原类中起伏中山亚类(面积 298.93 km²)；I C15-M-SAH：寒冷微干干燥冻原、高山草原类中海拔丘陵亚类(面积 32.13 km²)；I C15-M-LRSAM：寒冷微干干燥冻原、高山草原类小起伏高中山亚类(面积 408.94 km²)；I C15-M-IRSAM：

寒冷微干干燥冻原、高山草原类中起伏高中山亚类(面积 736.99 km²)；Ⅰ C15-M-HRSAM：寒冷微干干燥冻原、高山草原类大起伏高中山亚类(面积 45.44 km²)；Ⅰ C15-M-IRHAM：寒冷微干干燥冻原、高山草原类中起伏高山亚类(面积 1.34 km²)；Ⅱ A2-M-IAH：寒温极干山地荒漠类中海拔丘陵亚类(面积 34.33 km²)；Ⅱ A2-M-LRIAM：寒温极干山地荒漠类小起伏中山亚类(面积 154.71 km²)；Ⅱ A2-M-IRIAM：寒温极干山地荒漠类中起伏中山亚类(面积 90.3 km²)；Ⅱ A2-M-LRSAM：寒温极干山地荒漠类小起伏高中山亚类(面积 38.06 km²)；Ⅱ A2-M-IRSAM：寒温极干山地荒漠类中起伏高中山亚类(面积 237.63 km²)；Ⅱ B9-M-IAH：寒温干旱山地半荒漠类中海拔丘陵亚类(面积 600.41 km²)；Ⅱ B9-M-IRIAM：寒温干旱山地半荒漠类中起伏中山亚类(面积 2490.73 km²)；Ⅱ B9-M-IRSAM：寒温干旱山地半荒漠类中起伏高中山亚类(面积 5321.48 km²)；Ⅱ C16-M-IAH：寒温微干山地草原类中海拔丘陵亚类(面积 107.7 km²)；Ⅱ C16-M-LRIAM：寒温微干山地草原类小起伏中山亚类(面积 689.6 km²)；Ⅱ C16-M-IRIAM：寒温微干山地草原类中起伏中山亚类(面积 521.56 km²)；Ⅱ C16-M-SAH：寒温微干山地草原类高中海拔丘陵亚类(面积 110.62 km²)；Ⅱ C16-M-LRSAM：寒温微干山地草原类小起伏高中山亚类(面积 906.69 km²)；Ⅱ C16-M-IRSAM：寒温微干山地草原类中起伏高中山亚类(面积 718.83 km²)；Ⅱ C16-M-HRSAM：寒温微干山地草原类大起伏高中山亚类(面积 10.47 km²)；Ⅱ D23-M-LRIAM：寒温微润山地草甸草原类小起伏中山亚类(面积 160.08 km²)；Ⅱ D23-M-IRIAM：寒温微润山地草甸草原类中起伏中山亚类(面积 218.13 km²)；Ⅱ D23-M-HRIAM：寒温微润山地草甸草原类大起伏中山亚类(面积 4.77 km²)；Ⅱ D23-M-LRSAM：寒温微润山地草甸草原类小起伏高中山亚类(面积 84.94 km²)；Ⅱ D23-M-IRSAM：寒温微润山地草甸草原类中起伏高中山亚类(面积 478.78 km²)；Ⅱ E30-M-IRIAM：寒温湿润山地草甸类中起伏中山亚类(面积 24.74 km²)；Ⅱ F37-M-IAH：寒温潮湿温性针叶林类中海拔丘陵亚类(面积 65.65 km²)；Ⅲ A3-M-IAH：微温极干温带荒漠类中海拔丘陵亚类(面积 222.4 km²)；Ⅲ A3-M-LRIAM：微温极干温带荒漠类小起伏中山亚类(面积 711.42 km²)；Ⅲ A3-M-LRSAM：微温极干温带荒漠类小起伏高中山亚类(面积 2.66 km²)；Ⅲ A3-M-IRSAM：微温极干温带荒漠类中起伏高中山亚类(面积 7.46 km²)；Ⅲ B10-M-IAH：微温干旱温带半荒漠类中海拔丘陵亚类(面积 2397.28 km²)；Ⅲ B10-M-LRIAM：微温干旱温带半荒漠类小起伏中山亚类(面积 8589.34 km²)；Ⅲ B10-M-IRIAM：微温干旱温带半荒漠类中起伏中山亚类(面积 3063.06 km²)；Ⅲ B10-M-IRSAM：微温干旱温带半荒漠类中起伏高中山亚类(面积 836.44 km²)。

其中,面积在 1000 km² 以上的亚类有 76 个,而其中面积在 5000 km² 以上的 16 个亚类依次为:微温干旱温带半荒漠类暗冷钙土亚类,主要分布于敦煌东部、肃北县北部,瓜州东北部和肃北北山南部地区;微温干旱温带荒漠类荒漠风沙土亚类,主要分布于民勤大部分地区,金昌东北部和沿走廊北缘靠近沙漠区域的广大沿线一带;微温极干温带荒漠类暗冷钙土亚类,主要分布于敦煌市的大部,瓜州炭山子以西地区;暖温湿润落叶阔叶林类小起伏中山亚类主要分布于陇南山地;微温干旱温带荒漠类石膏灰棕漠土亚类,主要分布于肃北北山南部,金塔大部分和玉门东北部地区;暖温湿润落叶阔叶林类中起伏中山亚类主要分布于陇南山地;微温湿润森林草原、落叶阔叶林类小起伏中山亚类主要分布于甘肃中部地区的黄土高原丘陵沟壑区;微温湿润森林草原、落叶阔叶林类黑麻土亚类主要分布于陇中黄土高原中部和环县北部;微温干旱温带荒漠类寒钙土亚类主要分布于河西走廊平原区;微温干旱温带荒漠类小起伏中山亚类主要在阿克塞、肃北、玉门一带沿祁连山北缘分布;暖温湿润落叶阔叶林类黄绵土亚类主要分布于陇东黄土高原区;微温潮湿针叶阔叶混交林类小起伏中山亚类主要分布于青藏高原东缘的临夏莲花山以南,合作市、临潭县、卓尼县、碌曲县中东部、夏河县南部地带、暖温湿润落叶阔叶林类黑麻土亚类主要分布于陇东黄土高原区;微温极干温带荒漠类寒钙土亚类,分布于阿克塞县阿尔金山以北冲积洪积平原至库木塔格沙漠以南一带;寒温干旱山地半荒漠类中起伏高中山亚类主要分布在阿克塞县至肃南祁连山北缘地区;微温潮湿针叶阔叶混交林类中起伏中山亚类主要分布于青藏高原东缘临潭县、迭部县、和政县、康乐县一带。

2.6 分类结果验证

利用 GIS 平台将亚类分类结果数据提取至坐标点数据集,与样地调查数据进行对比验证(表 2)。对比验证发现山地亚类的精度达到 72.28%,平原(平地)亚类精度为 55.97%,亚类总体验证精度达到 62.98%。分类结果基本达到分类要求。

表 2 对比验证结果

Table 2 Result of comparative validation

验证类型 Subclass of Grassland	项目 Item	不符合 No-tallied	符合 Tallied	总数 Total
山地亚类 Subclass of grassland in mountainous land	个数 No.	28	73	101
	比例 Proportion (%)	27.72	72.28	100.00
平原亚类 Subclass of grassland on flat land	个数 No.	59	75	134
	比例 Proportion (%)	44.03	55.97	100.00
亚类总计 Total of subclass of grassland	个数 No.	87	148	235
	比例 Proportion (%)	37.02	62.98	100.00

3 讨论

3.1 亚类定量划分中是否应选择土壤亚类

在胡自治^[8]的论述中认为应该选用土壤亚类进行草地亚类的划分,然而,在实际的土壤类型定量划分中,划分到土壤类的精度较高,也较为容易实现,而划分到土壤亚类则会存在较大的困难^[20]。在本次土壤亚类定量划分中,初始选取了 57 个类型进行监督分类,定量分类的结果划分出 36 个土壤亚类,划分精度为 62%,低于亢庆等^[21-22]在土壤类一级 70%的分类精度。所以,如果从便于进行草地亚类划分的角度,选择土壤类一级指标进行划分是相对较好的选择。

另外,在干旱区域习惯使用土壤基质作为亚类的划分和描述指标。实际在土壤亚类划分中已经将沙漠划分为荒漠风沙土,荒漠划分为灰棕漠土,石膏灰棕漠土等。所以,在划分中只是叫法的不同,在野外草原调查中,只要准备好对照表,就可以建立其对应关系。所以使用土壤亚类可以解决实践中使用土壤基质的问题。

3.2 基本地貌形态类型的选取

胡自治^[8]指出,在亚类划分中,应选用中地貌类型进行亚类的划分,并详细列举出了中地貌类型。但是其与现在的地貌分类系统存在一定的差异。同时,在实际的量化工作中,对中地貌进行量化分类也存在一定的困难。

在地貌分类中,胡自治^[8]列举出的地貌类型可以在其中的地貌类和地貌亚类中找到相应的类别。其中,地貌类根据成因划分,可分为海成、湖成、流水、风成、冰川、冰缘、干燥、黄土、喀斯特、火山熔岩;地貌亚类以次级成因划分,随成因类型变化而变化,基本分为抬升/侵蚀、下降/堆积^[23]。这些划分因子目前还较难进行完整的定量划分,需要大量的数据基础。所以在现有条件下,选择基本地貌类型进行草地亚类划分是一个可行选择。待地貌量化研究有一定进展后,再考虑将草地亚类的地貌指标细化到地貌类和亚类一级。

3.3 草地类型的命名

在类的命名中任继周等^[12]和胡自治等^[8,24]认为:“类的名称根据热量计和湿润度级相连缀,再辅以地带性代表植被(顶级植被)确定,这样,类的名称既有一定的抽象性,意义又较明确,例如,微温极干温带荒漠类,微温微干温带典型草原类等”。笔者认为,这种命名方法不利用计算机的检索,和生态系统命名方法也不甚对应。草地分类系统的分类和命名方法应概括为:草地类型=植被群落+生境条件。生境条件是草地发生发展的环境条件,植被群落是依附于生境条件而又与生境相互作用的有机系统。所以在分类中,我们先找到分类的基础指标(形成生境的气候指标和立地指标),但这还不够,还要有与之相对应(或由相互作用而形成的植物群落系统)的植物群落系统,这样,我们就可以对草地进行较为完善的分类。进而依据气候条件——类,立地条件——亚类,生物(动植物)交互层——型,这样 3 个层次将草地划分为不同的分类层次。其中气候是决定植物生长的决定性因素,在广域上限定了植物群落的生活适宜性环境;立地条件是植物生长的现实条件,土壤、水,风等条件的变化随之有不同的植被类型形成于其上;生物交互环境层是在一定的立地条件基础上,由于人为、动物作用(利用方式的一致性)等对区域环境中的植物类型的构成产生再选择和适应的过程。地形贯穿于第一、二层的要素,在气候上,由于地形的变化会引起大气水热条件的变化,在立地条件上,地形的变化会使土壤中的水热条件产生再分配的过程,从

而影响植被的生长。如果考虑动物和经营管理对草原分类的要求,可与任继周^[25]的草地系统的三大界面,即草丛—地境界面(A),草地—动物界面(B)和草畜—经营管理界面(C)相对应来说,这3个层次,对应的是:类——A界面,亚类——A界面,型——B界面。

这里的概括和学者们对生态系统的公式概括(生态系统=生物群落+环境条件)在形式上是极为相同的,笔者认为区别主要在以下几点:1)生物群落包括动物、植物、微生物等有机生命体,范围远广于植被群落;2)生态系统的环境条件应还包括除了生境条件外的其他环境条件。生态系统是生物群落和其生活的环境系统相互作用的过程产物,这里面还要包括如动物,人类活动等其它环境因素。而这些因素正是我们在草原顺序分类里面面临的技术难题。有学者指出草原顺序分类是一种潜在植被的分类,也可说是一种适宜性分类,而不是现状分类。这种提法正说明了草原顺序分类是一种生境分类,在任继周等^[24]和胡自治^[8]完善后的分类系统中我们可以见到“寒冷极干寒带荒漠类”“寒温微润山地草甸草原类”“暖热湿润常绿—落叶阔叶林类”等对草地类一级划分的名称。从中可以看到其首先是生境的分类,即从发生学的基础(水热条件)出发,进行草地类型的划分,这正是生境条件,在命名上“类的名称根据热量级和湿润度级相连接,再辅以地带性代表植被(顶级植被)确定”。但是因为生态系统是生物体与环境相互复杂作用的结果,所以在草原综合顺序分类中面临分类结果较难与实地植被类型相对应的问题。但这种结果与实际的差异,同时也反映了草地的气候稳定性,而这种稳定性正是草原顺序分类稳定的基础。

4 结论

对任继周和胡自治提出的草原综合顺序分类法原第二级亚类的定性分类改进为定量分类,确定了草原亚类的定量划分原则,山地用地貌指标进行分类,平原用土壤指标进行分类。

利用甘肃省 DEM 数据进行了山地和平原(平地)的定量划分;山地草原以基本地貌类型为划分指标,共划分为183个亚类;平原(平地)草原以土壤亚类为划分指标,共划分为385个亚类;共计将甘肃省草地依据草原综合顺序分类法划分为568个亚类。

对山地草原亚类的命名使用“类名+基本地貌类型名”,如“微温极干温带荒漠类小起伏中山亚类”,平原(平地)草原亚类的命名使用“类名+土壤亚类名”,如“微温极干温带荒漠类寒钙土亚类”。

致谢:感谢胡自治教授在研究全部过程中给予的悉心指导;感谢花立民副教授在本研究过程中给予的热情帮助;感谢张斌才、杨伟、张玮、申正东、王红霞、潘冬荣、王蕾钦、杜志成同学在本研究中大量数据处理和分析中的贡献。

参考文献:

- [1] 赵同谦, 欧阳志云, 贾良清, 等. 中国草地生态系统服务功能间接价值评价[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1101-1110.
- [2] 刘兴元, 龙瑞军, 尚占环. 草地生态系统服务功能及其价值评估方法研究[J]. 草业学报, 2011, 20(1): 167-174.
- [3] 范月君, 侯向阳, 石红霄, 等. 气候变暖对草地生态系统碳循环的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(3): 294-302.
- [4] 秦彧, 宜树华, 李乃杰, 等. 青藏高原草地生态系统碳循环研究进展[J]. 草业学报, 2012, 21(6): 275-285.
- [5] 花立民. 玛曲草原植被 NDVI 与气候和载畜量变化的关系分析[J]. 草业学报, 2012, 21(4): 224-235.
- [6] 任继周. 分类、聚类及草原类型[J]. 草地学报, 2008, 16(1): 4-10.
- [7] 梁天刚, 冯琦胜, 黄晓东, 等. 草原综合顺序分类系统研究进展[J]. 草业学报, 2011, 20(5): 252-258.
- [8] 胡自治. 草原分类学概论[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [9] 倪绍祥. 土地类型与土地评价概论(第三版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [10] 任继周, 胡自治, 牟新待. 我国草原类型第一级分类的生物气候指标[J]. 甘肃农业大学学报, 1965, (17): 48-64.
- [11] 任继周, 牟新待, 胡自治, 等. 青海省草原类型第一级——“类”的初步研究[J]. 甘肃农业大学学报, 1974, (2): 30-40.
- [12] 任继周, 胡自治, 牟新待, 等. 草原的综合顺序分类法及其草原发生学意义[J]. 中国草原, 1980, (1): 12-24.
- [13] 胡自治, 高彩霞. 草原综合顺序分类法的新改进—I类的划分指标及其分类检索图[J]. 草业学报, 1995, 4(3): 1-9.
- [14] 吴静, 李纯斌, 张德望, 等. 适用于 3S 技术的草原综合顺序分类法水热指标的改进建议[J]. 中国草地学报, 2012, 34(4):

109-115.

- [15] 中国科学院地理研究所. 中国 1:1000000 地貌图制图规范(试行)[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1-44.
- [16] 席承藩. 土壤分类学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [17] 龙恩, 程维明, 周成虎, 等. 基于 SRTM-DEM 与遥感的长白山基本地貌类型提取方法[J]. 山地学报, 2007, 25(5): 557-565.
- [18] 龙恩, 程维明, 肖飞, 等. 利用 SRTM-DEM 和 TM 数据提取平原山地信息的研究[J]. 测绘科学, 2008, 33(2): 53-56.
- [19] 程维明, 周成虎, 柴慧霞, 等. 中国陆地地貌基本形态类型定量提取与分析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(6): 725-736.
- [20] 李纯斌. 草原综合顺序分类系统第二级亚类的定量化研究——以甘肃省为例[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
- [21] 亢庆, 张增祥, 赵晓丽. 基于 MODIS 产品的区域土壤遥感分类研究——以新疆为例[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(6): 690-695.
- [22] 亢庆, 张增祥, 赵晓丽. 基于遥感技术的干旱区土壤分类研究[J]. 遥感技术与应用, 2008, 12(1): 159-168.
- [23] 周成虎, 程维明, 钱金凯, 等. 中国陆地 1:100 万数字地貌分类体系研究[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(6): 707-724.
- [24] 胡自治, 张普金, 南志标, 等. 甘肃省的草原类型[J]. 甘肃农业大学学报, 1978, (1): 1-26.
- [25] 任继周. 草业系统中的界面论[J]. 草业学报, 2000, 9(1): 1-8.

A quantitative study of a subclass of a comprehensive sequential classification system (CSCS) taking Gansu Province as an example

LI Chun-bin^{1,2}, WU Jing², LIU Xiao-ni¹, ZHANG De-gang¹

(1. Pratacultural College of Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: A comprehensive and sequential classification system of grasslands (CSCS), a well known grassland classification systems proposed in the 1950s in China, represents a theoretical framework and quantitative potentiality for the science of grassland ecosystem study. At the basic level of a quantitative classification study of CSCS, a considerable achievement has been made and an index chart for determining grassland class has been established. However, owing to the limitations of techniques, relevant reports on quantitative subclass study are infrequent. Based on analysis of the classification subclass indexes this dissertation puts forward the quantitative principles and methods of subclass grasslands, and subclasses classified in Gansu Province. 1) The quantitative index system and index chart for grassland subclass are established; 2) The basic geomorphologic types are divided into 20 types in Gansu Province by extracting the slope, attitude, roughness, mountain and plain factors from SRTM—DEM data; 3) Using supervised classification, 36 soil subtypes have been obtained in Gansu Province by extracting the slope, aspect, curvature factors from SRTM—DEM data and soil brightness, vegetation index, NDWI, NDSI and NDMI from MODIS data; 4) 568 subclasses of grassland have been obtained by operating the grid algebra on the grassland first class map, the basic geomorphologic types map and the soil subtypes map.

Key words: Gansu Province; comprehensive sequential classification system (CSCS); subclass; quantitative classification; morphology; subclass of soil; 3S technology