

# 云南省反刍家畜 矿物质营养地质背景研究

YUNNANSHENG FANCHU JIACHU KUANGWUZHI YINGYANG DIZHI BEIJING YANJIU

邓卫东 席冬梅 高宏光 毛华明 著

YUNNANSHENG FANCHU JIACHU  
KUANGWUZHI YINGYANG DIZHI BEIJING YANJIU

云南出版集团公司  
云南科技出版社

云南省发展与改革委员会科技攻关项目(云计科技[98]253号)资助

# 云南省反刍家畜 矿物质营养地质背景研究

邓卫东 席冬梅 高宏光 毛华明 著  
曾群望 戴志明 主审

云南出版集团公司  
云南科技出版社

·昆明·

图书在版编目 (CIP) 数据

云南省反刍家畜矿物质营养地质背景研究 / 邓卫东等  
著. —昆明: 云南科技出版社, 2003. 12

ISBN 7 - 5416 - 1907 - 8

I. 云... II. 邓... III. 地质环境 - 影响 - 反刍动物:  
家畜 - 饲料营养成分 - 矿物质 - 云南省

IV. S816. 11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 093403 号

云南出版集团公司

云南科技出版社出版发行

(昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼 邮政编码: 650034)

云南省地质矿产勘查开发局印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 17.375 插页: 4 字数: 430 千字

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

印数: 1 ~ 1050 册 定价: 60.00 元

## 前 言

矿物质是家畜机体及饲料中除 C、H、O、N 外所含金属或非金属元素的统称。它的研究和应用已有数 10 年的历史。大量的科学研究和生产实践证明,许多矿物质元素为自然界有机体正常生命活动所必需,对有机体的生活和生长起着非常重要的作用。矿质元素除了在农业领域研究比较活跃外,在其他科学研究领域,包括生态学、环境化学、医学、地球化学等,都引起了科学工作者的高度重视。

就畜牧业而言,家畜所需的矿物质不像维生素那样可以在体内部分合成,而只能从饲料和环境(土壤、水和空气)中获得,所以饲料和周围环境的矿质元素含量的多少决定了家畜矿物质营养的状况。地球化学家已经发现地壳中各种元素的丰度曲线与人体血液中相应元素的丰度曲线有着惊人的相似性,而且人和动物的健康状况和某些疾病的发病率有明显的区域性,许多地方性疾病与该地区的矿物质元素水平有非常密切的关系。同时国内外的大量研究和试验也证明生物与其赖以生存的地质环境有着密切的关联。在水平空间上,地质作用、地质构造和地质发展史决定了地质体的分布,从而形成了具有不同特征的地质背景,来自地质体的地球化学元素通过岩石→土壤→生物垂直系统的运移、转化、富集,最终影响生物的生理生化过程、营养价值及有机组分含量,特别是矿物质的含量,导致不同饲料或不同地区所产饲料中矿物质的含量差异极大。而植物中矿物质元素的多少又直接影响人和动物,特别是以植物性饲料为主要日粮的反刍家畜矿质元素营养水平。

近年来,国内外对家畜饲料矿质元素的研究已经从单纯地研究家畜矿质元素的作用机理、作用效果等方面,逐步深入到研究不同地域、不同地质背景条件下,饲料资源,特别是矿质元素营养的有效合理利用,从而在更广大的地域范围内,为家畜矿质元素的营养提供有效指导。这一研究内容是土壤学、动物营养学、环境化学及地质学等多门学科相互交叉的崭新的研究领域,对于畜牧业生产,特别是宏观区域反刍家畜的矿质元素营养平衡、地方病的防治和预防矿质元素污染具有重要意义。

尽管反刍家畜(牛)的采食量比猪、鸡要大得多,但美国 NRC 标准中牛日粮各种矿质元素所需浓度总的来说并不比猪、鸡低,甚至还高一些,有时还需要考虑钴、硫等元素的需要。因此在考虑反刍动物矿物质补充量时不能像猪、鸡通常采用的那样,将饲料中微量元素的含量作为安全量,而将需要

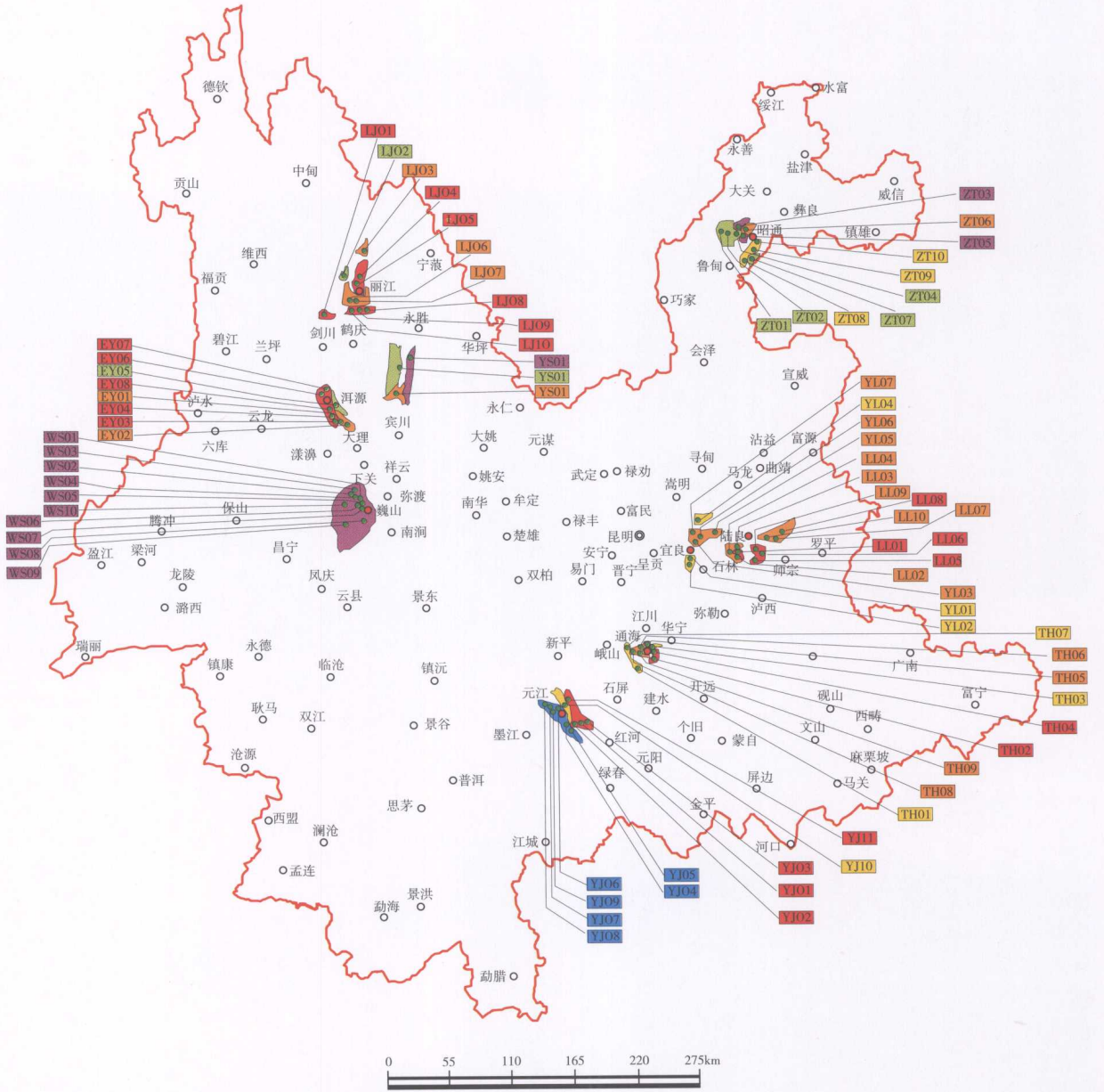
量作为添加量,否则可能在经济上很不合算。要获得经济有效的反刍家畜矿物质添加剂配方,必须考虑要有饲料中各种元素的供给量。而云南省地处云贵高原,地质结构、土壤类型、地形地貌复杂多变,土壤中的矿质元素含量差异很大,使得有些同类饲料中的矿质元素含量相差数10倍。按中国数据库给出的,以静态平均值表示的饲料各营养成分,特别是矿质元素含量来设计配方很难做到准确有效,在某些情况下还会引起营养功能失调,加剧矿质元素之间的拮抗,严重时还会引起家畜中毒。因此,监测和研究各地质背景区岩石、土壤和饲料中矿质元素含量、形态、分布、转移及相互关系,以及不同地区不同饲料原料的营养价值及家畜的利用情况,对于人均粮食产量300kg左右,只能基本上满足人的口粮需要,而国土面积94%为山区半山区的云南省来说,在传统养殖业不可能完全使用配合饲料时,可针对不同地质背景条件研制开发矿质元素添加剂,这对合理有效地利用饲料资源、提高饲养管理水平、促进畜牧业高效可持续发展等具有非常重要的意义。

本书吸收了大量的国内外动物营养学、土壤学、地质学等学科及其交叉学科关于矿质元素的最新研究成果,探讨了13种矿质元素在岩石层、土壤层及植物层之间的分布、迁移和转化规律,矿质元素与饲料营养价值的关系。着重研究了云南省具有代表性的9个地区的地质背景情况对土壤及各种饲料矿质元素营养状况的影响,同时对部分地区养牛业现状及营养状况进行调查,在此基础上进行了大量的饲养试验,进一步评价了云南省传统养殖方式和规模养殖方式下奶牛和肉牛矿质元素的营养状况,并对建立云南省反刍家畜矿质元素地理信息系统作了探索。此外,我们还附录了本次研究的饲养常规营养成分和矿质元素含量。

本书可供农学、动物营养和草业科学专业研究生、本科生以及科研院所的读者参考,也适合于饲料厂和养殖户等不同层次的读者阅读。在编写出版过程中,得到全体作者和有关领导的大力支持。在此,特别要感谢云南农业大学云南省动物营养与饲料重点实验室的领导和同事、云南省地质科学研究所的曾群望研究员、云南科技出版社及其编辑刘康的帮助,以及对所有为本书问世付出过劳动的人员致以恳切的谢意。由于本书论题涉及的学科领域十分广泛,有许多问题还在深入研究中,或者尚无定论,或者不同的研究者的研究结论各异,加上我们在学科领域、专业知识和学术水平上的局限性,难免有不妥、疏漏甚至错误之处,希望广大读者批评指正。本书参阅引用了国内外其他作者的文献资料,对他们的工作表示感谢。

邓卫东 席冬梅 高宏光 毛华明

2006年4月于春城



- |  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">● WS01</span> 样品采集地编号   | <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">●</span> 家畜及饲料基地  | <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: red; border: 1px solid black;"></span> 碳酸盐岩红壤区       | <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: orange; border: 1px solid black;"></span> 混合型黄红壤区 |
| <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: purple; border: 1px solid black;"></span> 碎屑岩紫色土区 | <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: yellow; border: 1px solid black;"></span> 碎屑岩黄红壤区 | <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: lightgreen; border: 1px solid black;"></span> 玄武岩红壤区 | <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: blue; border: 1px solid black;"></span> 变质岩赤红壤区   |

采样位置示意图



图版2 灰岩红壤剖面  
(陆良县双箐口乡下再邑村)



图版1 灰岩红壤剖面  
(丽江县金山乡大来村东)



图版3 白云质灰岩、玄武岩  
混合型黄红壤剖面  
(洱源县江尾乡漏邑村)

图版4 灰岩与砂岩混合型  
黄红壤剖面  
(通海县纳古镇纳家营狮子山)





图版5 紫红色泥岩、粉砂岩  
(巍山县马鞍山乡三胜村)

图版6 紫红色泥岩、粉砂岩  
(巍山县马鞍山乡三胜村)



图版7 砂岩、砂页岩、砂砾岩黄红壤  
(通海县杨广镇兴义村)

图版8 黄红壤上生长的牧草、杂交牛  
(昭通市守望乡卡子村)





图版9 玄武岩红壤剖面  
(洱源县玉湖镇巡检村)



图版10 玄武岩红壤上的草场及家畜  
(昭通市大山包乡合兴村)



图版11 变质岩(片麻岩、角闪岩等)赤红壤剖面  
(元江县大水平乡昆仕村)

图版12 变质岩(片麻岩、混合岩等)  
赤红壤及生长于其上的甘蔗  
(元江县大水平乡绿林田)



---

---

# 目 录

第一章 云南省反刍家畜饲料矿物质元素地质背景研究 .....	(1)
第一节 研究方案 .....	(1)
第二节 岩石—土壤—饲料系统中的矿质元素 .....	(8)
第三节 地质背景因素对饲料矿质元素组成的影响 .....	(25)
第四节 母岩—土壤—饲料系统中矿质元素含量的相关性 .....	(66)
第五节 矿质元素与饲料营养价值的关系 .....	(84)
第二章 反刍家畜饲料营养价值评价 .....	(94)
第一节 饲料的营养价值评价与反刍家畜对饲料的消化利用 .....	(94)
第二节 云南省反刍家畜主要饲料营养价值评价 .....	(95)
第三章 云南省养牛业现状及营养背景调查分析 .....	(109)
第一节 昭通市养牛业现状及营养背景调查分析 .....	(109)
第二节 会泽县养牛业现状及营养背景调查分析 .....	(113)
第三节 巍山县养牛业现状及营养背景调查分析 .....	(118)
第四节 元阳县养牛业现状及营养背景调查分析 .....	(122)
第五节 洱源县养牛业现状及营养背景调查分析 .....	(128)
第四章 反刍家畜矿质元素营养状况评价 .....	(133)
第一节 动物矿质元素的分类 .....	(133)
第二节 评价反刍家畜矿质元素营养状况的研究方法 .....	(136)
第三节 云南省反刍家畜矿质元素营养状况评价 .....	(145)
第四节 云南省奶牛矿质元素营养状况评价 .....	(160)
第五章 反刍动物饲料营养价值的评定方法及进展 .....	(180)
第一节 化学分析法 .....	(180)
第二节 物理分析法 .....	(188)

---

第三节	动物试验法 .....	(189)
第四节	原位法 .....	(190)
第五节	体外法 .....	(193)
第六章	云南省反刍家畜矿质元素地理信息系统的制作 .....	(199)
附录1	英文符号缩写与中文对照 .....	(208)
附录2	动物矿质元素营养研究的历史摘要 .....	(209)
附录3-1	饲料营养价值表 .....	(211)
附录3-2	饲料样品说明 .....	(232)
附录4	灌木常规营养成分 .....	(235)
附录5	饲料常规养分和范氏纤维表 .....	(237)
附录6	饲料范氏纤维表和体外消化率 .....	(239)
附录7	范氏纤维分析方法操作规程 .....	(245)
附录8	两级离体消化法操作规程 .....	(250)
附录9	人工瘤胃产气法操作规程 .....	(254)
参考文献	.....	(258)

# 第一章 云南省反刍家畜饲料矿物质元素地质背景研究

## 第一节 研究方案

### 1 试验设计

(1) 根据云南省猪、牛等家畜饲养及饲料基地的分布情况,结合岩性、土壤差异选择研究区,共选择了9个县(市)作为采样研究区,研究点遍及滇西、滇中、滇南、滇东北等地,各地区的分布参看附图。

(2) 在各研究区内设置5~10个研究点,布点方式为重点家畜饲养基地及饲料基地→重点县、乡→重点村、养殖户→研究点,每个研究点尽可能按成土母岩→土壤→饲料立体剖面采样,采集岩石样品1~3个,土壤样品10~20个,饲料样品10~30个(其中1~3种贯穿全部研究区),成土母岩采用与成土有关的新鲜岩石,土壤采耕作土及自然土,饲料以到养殖户家中收集研究点所产的饲料为主,部分饲料样品为实地采集。实地采集饲料样(812个)、土壤样(149个)和岩石样(51个),共计1033件(见表1-1及表1-2)。

(3) 用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES)分析测试岩石、土壤、饲料中矿物质元素含量,研究其在生态环境中的运移规律,同时土壤、饲料作相应的常规分析。

(4) 对岩石、土壤、饲料中的矿物质元素进行统计分析,研究矿物质元素在三者中的分布特征,进行规律总结。

(5) 对部分主要肉牛和奶牛饲养基地进行营养背景调查,采集饲料样品进行分析和进行采食量调查,分析供给量与营养需要量之间的差距。

(6) 动物饲养试验进一步评价矿质元素营养状况。

上述方案如图1-1所示。

表1-1 研究区、研究点设置及采样情况表

研究区	研究点设置		采样情况(件)		
	代号	点数(个)	饲料(F)	土壤(S)	岩石(R)
洱源县	EY01-08	8	91	14	5
丽江县	LJ01-10	10	122	12	6
陆良县	LL01-10	10	107	18	8

续表 1-1

研究区	研究点设置		采样情况 (件)		
	代号	点数 (个)	饲料 (F)	土壤 (S)	岩石 (R)
通海县	TH01-09	9	91	23	7
巍山县	WS01-10	10	84	23	2
元江县	YJ01-11	11	154	22	8
宜良县	YL01-07	7	69	16	5
永胜县	YS01-03	3	32	3	1
昭通市	ZT01-10	10	83	18	8
合计		78	833	149	51

表 1-2

饲料样品品种分类统计表

单位: 个

饲料名称	数量	饲料名称	数量	饲料名称	数量	饲料名称	数量
稻谷类	160	甘蔗类	9	白三叶草	2	苦苣菜	1
玉米类	156	鸡豆类	9	花豆类	2	葵花盘	1
蚕豆类	92	薯皮叶	8	花生类	2	老山草	1
小麦类	65	木瓜	6	五角星草	2	牛皮菜	1
南瓜类	35	苕子草类	6	燕麦类	2	丕蓝叶	1
黄豆类	30	弯根类	6	芋头类	2	青芋全株	1
土豆类	26	白菜类	5	血竭	1	委陵菜	1
大麦类	26	高粱	5	白花草	1	莴笋叶	1
红薯类	23	山草类	5	菜豆	1	蟋蟀草	1
豌豆类	19	甘蓝类	4	多花黑麦草	1	鸭茅草	1
芭蕉类	18	酸猪草	4	翻白叶	1	羊毛草	1
油菜类	16	稗草类	3	革命草	1	竹节参草	1
萝卜类	13	禾本科杂草	3	红三叶草	1	籽粒苋	1
丰收瓜	10	豇豆类	3	花菜叶	1	总计 58 种 812 件*	
芥子类	10	熟地草	3	聚合草	1		

\* 部分所采样品由于气候及交通等不可预料的原因而变质, 不能进行分析, 故最终进行分析的样品为 812 件。

## 2 试验点的确定及地质背景区的划分

本试验根据云南省牛羊饲养基地的分布, 选择巍山 (WS 为汉语拼音缩写, 下同)、洱源 (EY)、丽江 (LJ)、永胜 (YS)、元江 (YJ)、通海 (TH)、陆良 (LL)、宜良 (YL) 和昭通 (ZT) 9 个县 (市) 展开研究。在每个县 (市) 根据成土壤类型、成土母岩岩性、时代和地形地貌特征等因素确定不同的试验点, 并将所有试验点分为 6 个地质背

景区, 分别为: I. 碳酸盐岩红壤区; II. 碳酸盐岩和碎屑岩、玄武岩混合型黄红壤区; III. 中生代碎屑岩紫色土区; IV. 碎屑岩黄红壤区; V. 晚古生代玄武岩红壤区; VI. 前寒武变质岩赤红壤区。不同试验点在各地质背景区的分布见表 1-3。

### 3 样品的采集及处理

在试验点采集具有代表性的土壤样品 149 个, 岩石样品 50 个。饲料样品直接在农户家里采集 (所采集的饲料都产自当地土壤), 为当地家畜饲养中的所有饲料, 共采集了 812 个饲料样品。茎、叶、块根块茎类等鲜样尽快送到云南省动物营养与饲料重点实验室后立即进行风干、烘干处理。土壤样品在阴凉处自然风干。饲料和土壤处理后按成分分析的要求进行粉碎和制样, 全部样品的采集和岩石样品的制备委托云南省地质科学研究所完成。

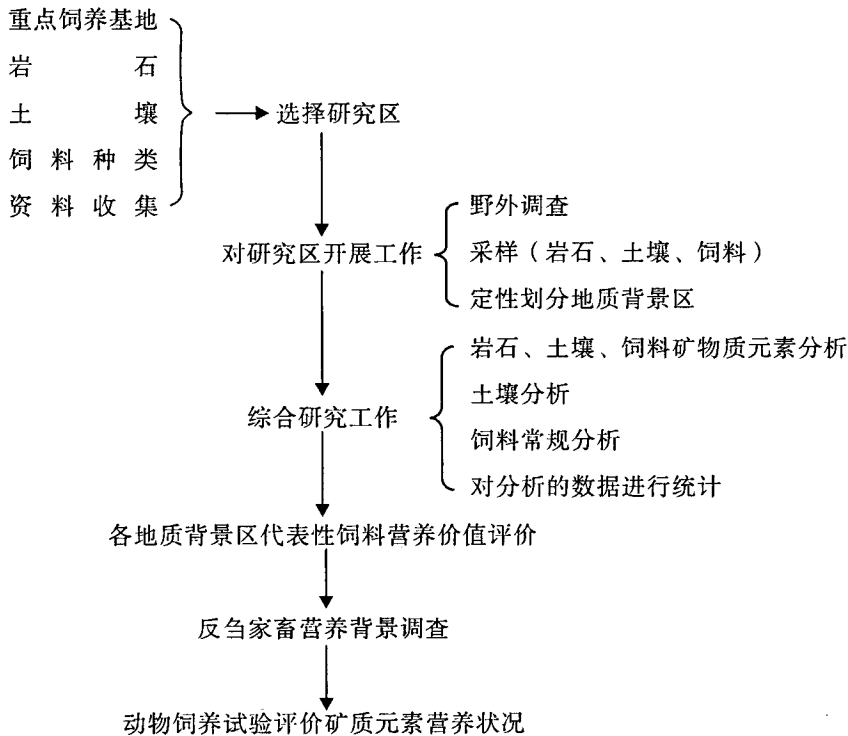


图 1-1 研究方案示意图

### 4 测试指标

分析测试岩石、土壤和饲料中的各种矿质元素的含量, 分析土壤有机质 (OM)、pH 值及阳离子交换量 (CEC), 饲料常规养分 (干物质、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、无氮浸出物、粗灰分、钙和磷) 和范氏纤维及体外消化率 (IVDMD)。详细的测定指标和测定方法参见表 1-4。

表 1-3

土壤地质背景分区

土壤地质背景分区		研究区点数及点号	
区号	名称	分布范围	点数 点号
I	碳酸盐岩 红壤区	洱源县	5 EY03 (漏邑村)、EY04 (新州村)、EY06 (马厂村)、EY07 (三营村)、EY08 (大南山村)
		丽江县	6 LJ01 (大同村)、LJ04 (干海子)、LJ05 (文明村)、LJ08 (大来村)、LJ09 (西林瓦)、LJ10 (下来河村)
		陆良县	4 LL01 (古宁村)、LL05 (大撒卜龙)、LL06 (下再邑村)、LL08 (活水村)
		元江县	4 YJ01 (坡垭村)、YJ02 (业白村)、YJ03 (新寨)、YJ11 (青龙潭镇)
		通海县	2 TH02 (王家冲)、TH04 (大新村)
II	碳酸盐岩 和碎屑 岩、玄武 岩混合型 黄红壤区 (简称混 合型黄红 壤区)	洱源县	2 EY01 (大排镇四队)、EY02 (河尾村)
		丽江县	3 LJ03 (云杉坪)、LJ06 (中长水村)、LJ07 (白华村)
		陆良县	6 LL02 (大地村)、LL03 (章伯村)、LL04 (普乐村)、LL07 (核桃村)、LL09 (皇家村)、LL10 (三岔河村)
		通海县	4 TH05 (纳家营村)、TH06 (龚家咀)、TH08 (石碧村)、TH09 (金山村)
		永胜县	1 YS03 (金江街)
III	中生代碎 屑岩紫色 土区 (简 称紫色土 区)	宜良县	4 YL03 (下河营村)、YL05 (大拉德村)、YL06 (老茶村)、YL07 (吕广营)、
		昭通市	1 ZT06 (中和村)
		巍山县	10 WS01 (大河村)、WS02 (永胜村)、WS03 (永胜村)、WS04 (永胜村)、WS05 (盟石村)、WS06 (河上湾村)、WS07 (鸡碧村)、WS08 (羊场)、WS09 (六主塘村)、WS10 (三胜村)
		永胜县	1 YS01 (季官村)
		昭通市	2 ZT03 (乐居村)、ZT05 (仁和村)、
IV	碎屑岩黄 红壤区	通海县	3 TH01 (沙田村)、TH03 (兴义村)、TH07 (甸苴坝)
		宜良县	3 YL01 (乐道村)、YL02 (狗街村)、YL04 (大蒋所村)
		元江县	1 YJ10 (小龙潭村)
		昭通市	3 ZT08 (卡子村)、ZT09 (八仙营)、ZT10 (甘河村)
V	晚古生代 玄武岩红 壤区 (简 称玄武岩 红壤区)	洱源县	1 EY05 (巡检村)
		丽江县	1 LJ02 (龙华村)
		永胜县	1 YS02 (毛家湾)
		昭通市	4 ZT01 (合兴村)、ZT02 (种羊场)、ZT04 (新河村)、ZT07 (唐家山村)
VI	前寒武变 质岩赤红 壤区 (简 称变质岩 赤红壤区)	元江县	6 YJ04 (者嘎新村)、YJ05 (昆仕村)、YJ06 (绿林田)、YJ07 (石头寨)、YJ08 (曼老村)、YJ09 (曼来村)

表 1-4 样品测试指标及方法

分析方法	岩石	土壤	饲料
等离子光谱		Co、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Na、Zn、Se	
常规分析		pH 值、有机质	干物质、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、无氮浸出物、灰分、Ca、P
化学分析	F*	阳离子交换量	F*、I**

\* 为水溶性氟；\*\* 为全量碘。

## 5 动物饲养试验方案

### 5.1 动物试验设计

#### 5.1.1 肉牛试验

(1) 犊牛试验：①会泽犊牛试验：选择 2~6 月龄的犊牛 20 头，按品种、年龄、性别随机分为 2 组，每组 10 头，试验组每头牛每天补饲 200g 犊牛补充料，其余饲料与对照组一样按农户的传统方法饲喂，经过 1 个星期的预饲期后，进入试验期，时间 3 个月。②会泽金钟试验：选择西本杂 8 头，随机配对分配到实验组和对照组，时间 3 个月。③昭通犊牛试验：在昭通市守望乡进行，同于会泽犊牛试验，时间 3 个月。

(2) 生长育肥牛试验：①在会泽县新街乡王家村进行，选择 6~12 月龄的本地和杂交牛 16 头，根据品种、年龄、性别随机分为 2 组，每组 8 头。试验组每头牛每天补饲 500g 肉牛补充料，其余饲料与对照组一样按农户的传统方法饲喂。经 1 个星期的预饲期后，进入试验期，时间 3 个月。②在会泽县新街乡龙潭村进行，选择 12~25 月龄的本地和杂交牛 32 头，根据品种、年龄、性别随机分为 2 组，每组 16 头。试验组每头牛每天补饲 500g 肉牛补充料，其余饲料与对照组一样按农户的传统方法饲喂。经 1 个星期的预饲期后，进入试验期，时间 2 个月。③昭通生长育肥牛试验：同会泽生长育肥牛试验，在昭通市守望乡进行，时间为 3 个月。

(3) 后期育肥牛试验：在云南会泽县新街乡王家村进行。选择 2 岁以上的本地和杂交牛 30 头，根据品种、年龄、性别随机分为 3 组，每组 10 头，试验 A 组每头牛每天补饲 500g 肉牛补充料，试验 B 组在试验 A 组的基础上再补加 500g 菜籽饼和 100g 豆饼，其余饲料与对照组一样按农户的传统方法饲喂（每头牛每天补饲 1.0kg 玉米面，秸秆等其他农副产品自由采食）。经 1 个星期的预饲期后，进入试验期，时间 3 个月。

#### 5.1.2 奶牛试验

试验一：在云南省大理州洱源县江尾、漏邑、腾龙三地同时进行（农村传统饲养方式）。选择年龄、胎次、泌乳月份（泌乳中后期）基本一致的泌乳母牛 36 头（邓川牛 × 荷斯坦牛），在三地都随机配对分为 3 组，每组 12 头，对照组按当地传统方法饲喂（基础日粮），试验 A 组和试验 B 组在传统方法饲喂的基础上每头牛每天分别补饲 500g 奶牛补充料（基础日粮 + 500g 奶牛补充料）和 1000g 奶牛补充料（基础日粮 + 1000g 奶牛补充料），经过 10 天的预饲期后，进入正试验期，时间 3 个月，总共 106 天。

试验二：在昆明市某奶牛厂进行（规模化养殖方式）。选择年龄、胎次、泌乳月份（中期）基本一致的奶牛 60 头，随机分为对照组和试验组，每组 30 头，平均胎次分别为



1.73 胎  $\pm$  0.94 胎和 1.68 胎  $\pm$  0.78 胎。经过 10 天的预饲期后进入正试期，时间为 3 个月，实际为 116 天。

### 5.1.3 补充料组成成分

(1) 肉牛补充料：肉牛补充料主要由尿素 [50g/(天·头)]、矿物元素、维生素 A 等组成。每头牛每天补充 500g，分 3 次补给。

(2) 犍牛补充料：犍牛补充料主要由膨化大豆、玉米、矿质元素、维生素等组成，每头牛每天补充 200g，分 3 次补给。

(3) 奶牛补充料的成分：主要由微量元素和蛋白质组成。

(4) 昆明奶牛场试验：试验组采用我们设计的 1% 微量元素预混料代替对照组中的 1% 微量元素添加剂。

## 5.2 采食量的测定

进入正式试验期后，每个月作一次采食量测定。第一天称取一定数量的各种饲料放置在安全的地方，第二天按常规饲喂，喂完后再称量余量，并作准确记录和饲料样品的采集。高水分饲料饲料样品晒干后再装入塑料袋中，同时就地测定粗水分。同村相同种类和质量的饲料一次采集 1 个样品。

## 5.3 血样、毛发样和乳样的采集

试验结束后，早饲前空腹禁食，每头牛颈静脉采血 30ml，其中 10ml 加肝素抗凝剂制备全血样，10ml 制备血清，10ml 制备血浆，现场用全血进行 Hb 的测定。全血、血清和血浆放入液氮罐中保存，送回实验室放在  $-80^{\circ}\text{C}$  的超低温冰箱中保存备用。在牛头顶处采集毛发样装入信封中带回实验室分析。奶牛并在早晨采集新鲜奶样 100ml。

## 5.4 微量元素的分析

### 5.4.1 毛发的洗涤方法

称取 0.5~1g 被毛，置于 300ml 硬质玻璃烧杯中，加入 1% 中性洗涤剂超纯水 (MILLIPORE 纯水系统，MILLIPORE Corporation) 溶液 250ml，超声处理 10min，倾去洗液，再用 1L 超纯水漂洗 4 次， $105^{\circ}\text{C}$  干燥箱中烘烤 10min，取出，保存于放有干燥剂的干燥箱内备用。

### 5.4.2 毛发和血液的消化

准确称取毛发 0.2~0.3g、血液（血浆或血清）1ml 于聚四氟乙烯坩埚中，加 5ml 光谱纯浓  $\text{HNO}_3$ 、1ml 浓  $\text{HClO}_4$  加盖， $120^{\circ}\text{C}$  加热分解有机物，冒烟近干，若分解不完全或碳化，补加 1ml 浓  $\text{HNO}_3$ ，继续加热蒸至近干，冷却后加 2ml  $\text{HCl}$ ，加热微沸 1min，小心用超纯水定容至 10ml (张小林，1992)。

### 5.4.3 土壤的消化

用石墨坩埚熔融试样，试样 0.2g 与 2ml  $\text{NaOH}$  一起熔融。加 5ml 浓  $\text{HCl}$  溶解熔块，然后用去离子水稀释到 40ml 左右。硅含量高的试样可能产生絮状沉淀，应离心除去。最后试液转移到 100ml 聚丙烯容量瓶中，并用超纯水稀释到刻度 (辛仁轩，1984)。