

# 中国戈壁综合自然区划研究

申元村<sup>1</sup>, 王秀红<sup>1\*</sup>, 程维明<sup>2</sup>, 吴金凤<sup>1,3</sup>, 卢琦<sup>4</sup>, 冯益明<sup>4</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101;

2. 资源与环境信息系统国家重点实验室, 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 中国林业科学院荒漠化研究所, 北京 100091)

**摘要:**中国戈壁广泛分布于北方的干旱与极干旱区域, 直至目前尚未系统地开展戈壁分区研究。本文在综合分析戈壁特征与形成发生机制关系后认为, 我国戈壁的最主要特征是地表砾质覆盖; 表层具孔状漆漠结皮, 其下具棕红色紧实层及石膏层; 植物覆盖度极低, 生长旱生极旱生灌木—半灌木。戈壁形成发生的区域仅限于干燥度4以上的干旱、极干旱区域。根据戈壁特征及发生条件的区域分异, 选取干温指标、区域地质地貌建造指标、地表物质成因形态指标, 将中国戈壁分布区划分为温性干旱极干旱戈壁区、暖性干旱极干旱戈壁区和青藏高原北部亚寒干旱极干旱戈壁区3个一级区(区), 其下按区域地质地貌建造特征划分出9个二级区(地区), 再按戈壁地表物质成因与形态差异划分出19个三级区(亚地区)。还可根据土壤和植被的地域分异进一步划分出若干个四级区(小区)。

**关键词:**戈壁; 干旱与极干旱区域; 综合自然区划

## 1 引言

从区域角度观察和研究地域综合体, 依据环境与资源的区域差异进行区域单元的划分, 被称为地理区划(郑度等, 2005)。中国区划研究从1929年竺可桢发表《中国气候区域论》, 黄秉维1940年开展中国植被区划, 李旭旦1947年发表《中国地理区域之划分》为先导, 经20世纪50年代中国科学院组织全国开展综合自然区划, 区划工作便进入全面发展时期。目前, 全国性区划方案、部门区划方案、区域区划方案已较完备, 成果显著, 在促进地理学科发展, 服务国家社会经济建设作出了重要贡献(郑度等, 2005)。中国干旱区研究以沙漠与沙地形成及防治、水资源特征与合理利用为核心, 成果更为突出, 但以戈壁为独特对象进行的区划研究, 虽也有极少量涉及, 却仍未见系统分区研究成果, 本文试图就此进行探讨(赵松乔, 1985; 赵松乔等, 1990; 朱俊凤等, 1999; 卢琦, 2000; 吴正, 2009; 申元村等, 2013)。

## 2 戈壁基本特征及形成发生条件

### 2.1 戈壁基本特征

戈壁, 又称砾漠, 源自蒙古语“难生草木的土地”, 特指具有独特地理景观的土地(王伯恭, 1999)。基本特征主要为: 地面由砾石、砂砾覆盖; 土壤发育微弱, 石膏化过程和积盐过程突出, 表层具极不稳定的孔状结皮, 其下为棕红色紧实层及石膏层; 植被覆盖稀疏, 盖度通常不足10%, 生长旱生、极旱生灌木—半灌木植物。

### 2.2 形成发生条件

戈壁上述特征是在特定地理条件下形成的: 它形成发生于中国西北内陆腹地、太阳辐射强烈、年降水量通常不足200 mm、蒸发量高于2000 mm、干燥度大于4的区域, 干旱、极干旱为其发生的前提条件; 地表砾质覆盖体源于高原面剥蚀残积或山麓坡积—洪积侵蚀堆积; 土壤发育微弱, 具有独特的戈壁土壤发生特征: 表层砾面为铁锰风化而形成的膜

收稿日期: 2015-10; 修订日期: 2015-12。

基金项目: 林业行业公益项目(201404304); 测绘地理信息公益性行业科研专项(201512033) [Foundation: Forestry Nonprofit Specific Project, No.201404304; Surveying and Mapping Geoinformation Nonprofit Specific Project, No.201512033]。

作者简介: 申元村(1941-), 男, 广东兴宁市人, 研究员, 主要从事自然地理综合研究, E-mail: shenyc@igsnr.ac.cn。

通讯作者: 王秀红(1964-), 男, 山西昔阳人, 博士, 副研究员, 主要从事土地资源研究, E-mail: wangxh@igsnr.ac.cn。

引用格式: 申元村, 王秀红, 程维明, 等. 2016. 中国戈壁综合自然区划研究[J]. 地理科学进展, 35(1): 57-66. [Shen Y C, Wang X H, Cheng W M, et al. 2016. Integrated physical regionalization of stony deserts in China[J]. Progress in Geography, 35(1): 57-66.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2016.01.007

状漆皮层,亚表层为铁质氧化并被染色而形成的褐棕色或红棕色紧实层,其下为石膏化和盐积化形成的石膏积聚层或石膏盐盘层,石膏积聚层的形成也是戈壁土壤的主要特征之一(熊毅等, 1990);植物生境严酷,只能生长稀疏旱生、超旱生灌木、半灌木和草本,覆盖度极低,生态环境十分脆弱,一旦破坏极难恢复。

### 3 中国戈壁分区原则、指标与戈壁综合自然区划

#### 3.1 分区原则

依据区划必须反映戈壁地域分异规律,服务区域社会经济发展和生态建设的目标要求,中国戈壁区划遵循如下原则:

##### 3.1.1 地带性与非地带性分异相结合的原则

戈壁形成发生仅限于地球表层的特定地域,在大尺度地域分异格局上其分布受纬度地带与距海远近的制约,因而在分区原则上首先必须考虑地带性因素。然而,戈壁本身又是非地带性景观,反映的是地方(局地)地域特征,因此,对戈壁进行区域单元划分时,必须采用地带性与非地带性相结合的原则。在具体进行区域单元划分时,首先应把地带性温度和水分差异放在第一位,建造地面砾质覆盖的地质地貌等非地带性因素次之。

##### 3.1.2 戈壁地理区发生的同一性与区内特征相对一致性原则

戈壁形成发生有其相应的区域特征,划分出的区划单位,其内部应具有发生学上的统一性,地貌过程、气候过程、水文、土壤、植被等过程具有同一性,区内自然特征应是相对一致的区域。

##### 3.1.3 综合性与主导因素相结合的原则

任何区划单位,不论高级单位还是低级单位,都是各地理要素相互作用形成的区域统一体,但在构建地域单元特征过程中,各地理要素所起的作用又是不相同的,往往其中一二个因子起着突出主导作用。划分地域单元时,应该在全面分析各要素相互作用基础上,找出起主导作用的要素,这样才能揭示区域分异的本质。不同级的区划单位,主导因素会有所不同。在戈壁形成与发育过程中,高级区划单位的要素中,干、温气候因素通常起着主导作用;中低级区划单位形成中,地质地貌建造单元与砾质覆盖体特征往往起主导作用。因此,主导因素便成为区划分级的主要指标。突出主导因素,亦有

利于区划单位的命名。

##### 3.1.4 为生态建设提供科学依据的原则

戈壁分布区域广阔,不同戈壁区域间均有自身的环境问题,治理对策和恢复技术亦应分区而异。戈壁区划将能有针对性地为制定区域生态防治技术和实施途径提供科学依据。

##### 3.1.5 为戈壁资源综合开发和戈壁区经济发展提供服务的原则

戈壁区虽然生态环境十分脆弱,生态资源较为贫乏,但仍蕴藏着十分丰富的自然资源。在保护戈壁生态前提下,合理和适度利用这些自然资源,不仅不会破坏戈壁生态,反而会有利于促进戈壁区生态环境与社会经济协调发展。戈壁区域矿产资源丰富,也有一定数量的特色生物资源,具有广阔的开发前景。特色生物资源如梭梭可发展成为梭梭—肉丛蓉产业,药用植物资源如麻黄、锁阳、黄芪、霸王,食饮植物资源如沙棘、白刺、泡泡刺,绿化美化观赏盆栽资源如补血草、兔唇花、神香草、慢黄罂粟、多花怪柳、枸杞、疏花蔷薇、金丝桃叶绣线菊、郁金香、鸢尾等都具有开发价值,可形成产业,开发潜力巨大(潘晓玲等, 2001)。

#### 3.2 区划指标

戈壁的发生与地域分异的必要条件是干旱和地表砾质覆盖,以及与之相匹配耦合的漠境土壤与植被。由此确定的区划指标如下:

##### 3.2.1 气候干湿系统指标

戈壁仅发生分布与中国西北干旱区和青藏高原北部干旱、特干旱区域。依据郑度等(2007)的研究成果,本文采用的温度指标与干湿状况指标如表1所示。经过温度与干燥指数的区域耦合,中国戈壁区域可划分为温性干旱极干旱戈壁区、暖性干旱极干旱戈壁区、青藏高原北部亚寒性干旱极干旱戈壁区。

##### 3.2.2 地貌建造指标

戈壁地面砾质覆盖体只发育在干旱、极干旱区高原剥蚀残原和山体洪积冲积扇粗砾质堆积体上,地貌形势归属于7大地貌单元和19个区域地貌基本形态区。大地貌单元是戈壁形成发生的基本框架,区域地貌基本形态区是戈壁分区的基本单元。地貌建造指标如表2。

##### 3.2.3 戈壁砾质覆盖体成因类型指标

戈壁砾质覆盖体的成因界定对于揭示戈壁的地域分区有特殊意义,对划分戈壁基本地域单元有重要指示作用,并成为划分第三级区划单元的主要

表1 戈壁分布区域温度带与干湿状况划分指标

Tab.1 Temperature zone and aridity-humidity conditions in the stony desert regions in China

温度带	主要指标		干湿状况	干燥度K值
	≥10℃ 积温日数/d	≥10℃ 积温数值/℃		
寒温带	<100	<1600	湿润环境	<1.00
中温带	100~170	1600~3200(3400)	半湿润环境	1.00~1.50
暖温带	170~220	3200(3400)~4500(4800)	半干旱	1.50~4.00
高原温带	50~180	1600~3200	干旱	>4.00
高原亚寒带	<50	<1100	极干旱*	>8.00

\*极干旱,戈壁内部分异确立的指标。

指标。根据砾质覆盖体的成因,可将戈壁砾质覆盖体划分为剥蚀残积和侵蚀堆积两大成因类型(赵松乔,1985)。剥蚀残积砾质覆盖体的主导成因是风蚀作用,它将高原细粒物质吹走后,残留下粗砾状物质而成为戈壁,规模宽广,坦荡无垠为其重要特征。侵蚀堆积砾质覆盖体主要成因是水蚀作用,它将粗砾物质积聚于山麓坡积—洪积扇上,成带状分布于山前,条带状分布为其重要特征。在主导成因下,其它成因也往往会互相叠加,如在剥蚀高原面上,由于小地貌临时水流侵蚀作用,会伴随洪积堆积作用的发生,在山麓山洪侵蚀堆积体上,伴随着残积坡积的发生。不同的成因过程,往往有相应的砾质类型体,如碎石、砾质、砂砾质等。砾质覆盖体的成因类型如表3。

4 区划系统

根据以上区划原则、指标体系及地域系统,可将中国戈壁区域划分为3级。第1级以气候干湿系统为依据划分出3个区;第2级以区域地貌基本形态单元为依据划分出9个地区;第3级以戈壁砾质覆盖体成因及砾型划分出19个亚地区。分区系统如表4、图1。

5 戈壁区基本特征

I 温性干旱极干旱戈壁区

该区指中温带干燥度大于4区域内的戈壁分布区,含内蒙古高原西部干旱戈壁地区、阿拉善高原干旱极干旱戈壁地区、河西走廊东中部干旱极干旱戈壁地区、北疆盆地干旱极干旱戈壁地区(郑度,2015)。

I 1 内蒙古高原西部干旱戈壁地区

该地区位居内蒙古高原西部的干旱区域,位于

表2 中国戈壁分布区大地貌单元与地貌基本形态分区

Tab.2 Geomorphologic units and basic geomorphologic forms in the stony desert regions in China

大地貌单元	区域地貌基本形态区
1.内蒙古高原	1.1内蒙古高原西部高原
2.鄂尔多斯高原	2.1鄂尔多斯西部贺兰山东麓山前平原
3.阿拉善高原	3.1乌兰布和高地
	3.2腾格里高地
	3.3巴丹吉林高地
	3.4雅玛雷克高原
	3.5居延盆地台地
4.河西走廊凹陷平原	4.1石羊河流域中下游平原
	4.2黑河流域中下游平原
	4.3疏勒河流域中下游平原
5.北疆凹陷平原	5.1古尔班通古特(准噶尔)盆地
	5.2乌苏—精河盆地
	5.3布尔津—哈巴河—吉木乃盆地
6.南疆凹陷平原与吐哈盆地	6.1塔里木河冲积平原(塔克拉玛干盆地)
	6.2托克拉克—布古里高地
	6.3库鲁克—克孜勒苏高地
	6.4吐哈盆地
7.青藏高原北部凹陷平原与山原区	7.1柴达木盆地
	7.2昆仑山高山与羌塘高原

表3 砾质覆盖体的成因类型

Tab.3 Formation types of gravel covers

主导成因	侵蚀/堆积类型与砾型
1.高原风蚀剥蚀残积堆积型(高原残积堆积型)	1.1剥蚀残积粗砾质堆积
	1.2剥蚀残积—坡积砾石、粗砾质堆积
	1.3剥蚀残积—坡积—洪积砾质堆积
	1.4剥蚀残积—洪积砂砾质堆积
2.山麓山洪侵蚀堆积型(山麓侵蚀堆积型)	2.1坡积—洪积砾石、粗砾质堆积
	2.2洪积粗砾质堆积
	2.3洪积—冲积砂砾质堆积

大青山以北、狼山以东、北至蒙古人民共和国国界。该区远离海洋,在干旱与风力吹蚀作用下,地面残留砾质覆盖体,发育为剥蚀残积砾质戈壁。

I 1<sub>1</sub> 二连浩特—苏尼特右旗剥蚀残积砾质戈壁亚地区

该亚地区戈壁大片分布于高原剥蚀面上,集中分布在二连浩特—苏尼特右旗—朱日和连线以西,

表4 中国戈壁分区系统  
Tab.4 Regionalization of stony deserts in China

第一级(区)	第二级(地区)	第三级(亚地区)
I. 温性干旱极干旱戈壁区	I 1 内蒙古高原西部干旱戈壁地区	I 1 <sub>1</sub> 二连浩特—苏尼特右旗剥蚀残积砾质戈壁亚地区
	I 2 阿拉善高原干旱极干旱戈壁地区	I 2 <sub>1</sub> 乌兰布和高地残积—洪积砾质戈壁亚地区
		I 2 <sub>2</sub> 雅玛雷克高原残积—洪积砂砾质戈壁亚地区
		I 2 <sub>3</sub> 腾格里高地残积—洪积砂砾质戈壁亚地区
		I 2 <sub>4</sub> 巴丹吉林高地残积粗砾质戈壁亚地区
		I 2 <sub>5</sub> 居延盆地台地剥蚀—洪积砾质戈壁亚地区
	I 3 河西走廊东中部干旱极干旱戈壁地区	I 3 <sub>1</sub> 石羊河流域中下游平原洪积冲积砂砾质戈壁亚地区
		I 3 <sub>2</sub> 黑河流域中下游平原洪积粗砾质戈壁亚地区
	I 4 北疆盆地干旱极干旱戈壁地区	I 4 <sub>1</sub> 准噶尔盆地东部剥蚀—洪积砾质戈壁亚地区
		I 4 <sub>2</sub> 乌苏—精河盆地山前洪积—冲积砂砾质戈壁亚地区
		I 4 <sub>3</sub> 布尔津—哈巴河—吉木乃盆地洪积—冲积砂砾质戈壁亚地区
		I 4 <sub>4</sub> 贺兰山东麓冲积—洪积砂砾质戈壁亚地区
II. 暖性干旱极干旱戈壁区	II 1 鄂尔多斯高原西部干旱戈壁地区	II 1 <sub>1</sub> 贺兰山东麓冲积—洪积砂砾质戈壁亚地区
	II 2 河西走廊西部极干旱戈壁地区	II 2 <sub>1</sub> 敦煌—库姆塔格残积—洪积砾质砂砾质戈壁亚地区
	II 3 南疆盆地极干旱戈壁地区	II 3 <sub>1</sub> 塔克拉玛干盆地洪积坡积砾质砂砾质戈壁亚地区
		II 3 <sub>2</sub> 喀什山前平原洪积坡积砾质戈壁亚地区
		II 3 <sub>3</sub> 天山南麓与库鲁克库木洪积坡积砾质戈壁亚地区
		II 3 <sub>4</sub> 吐哈盆地剥蚀—残积粗砾质戈壁亚地区
III. 青藏高原北部高原亚寒性干旱极干旱戈壁区	III 1 柴达木盆地极干旱戈壁地区	III 1 <sub>1</sub> 柴达木盆地剥蚀—坡积—洪积砾质砂砾质戈壁亚地区
	III 2 昆仑山—羌塘高原高山高原戈壁地区	III 2 <sub>1</sub> 昆仑山—羌塘高原高寒残积—坡积碎石、砾质戈壁亚地区

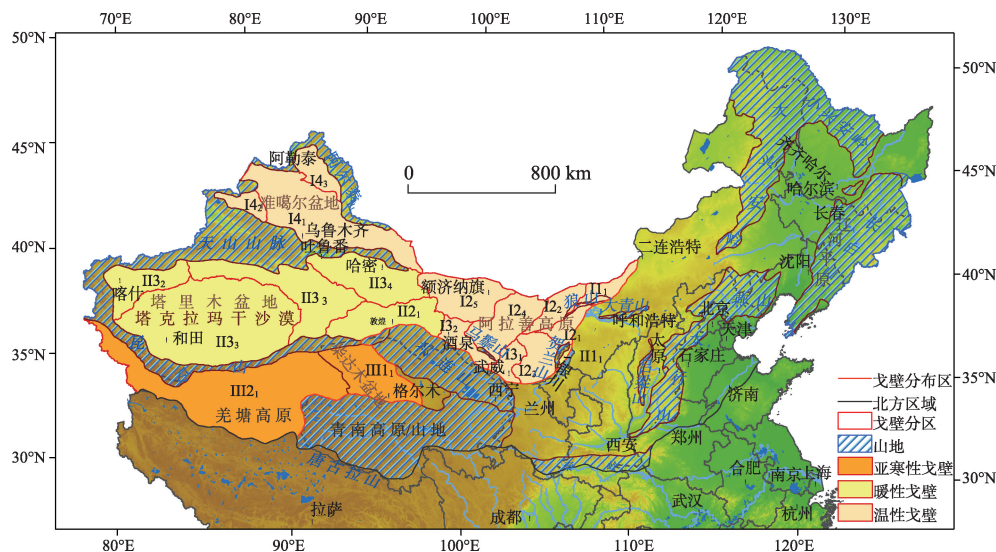


图1 中国北部区域戈壁分区与山地分布图

Fig.1 Division of stony deserts and distribution of mountainous areas in northern China

狼山脉以东、白乃庙—白云鄂博—海流图连线以北至蒙古国界区域,地形主体为乌兰察布高原,海拔 1000~1500 m。气候干旱,年降水量 120~250 mm,年均蒸发量 2500 mm 以上, $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温 2200~2700 $^{\circ}\text{C}$ ,干燥度  $K$  值 4.0 以上。年大风(8 级)日数超过 50 天,高原面上呈现大面积戈壁景观,覆盖体以砾质为主。植被为早生的戈壁针茅(*Stipa gobi-ca*)、荒漠锦鸡儿(*Caragana przewalskii*)、戈壁短舌菊(*Brachanthemum gobicum*)、半日花(*Helianthemum soogoricum*)、刺旋花(*Convolvulus tragacan-*

*thoides Turcz*)、木麻黄(*Ephedra eguissetina*)等,盖度不足 10%。土壤发育成荒漠淡棕钙土,整个剖面含有多量粗砂与砾石,砾面具不明显灰色漆漠,石膏化、积盐化过程明显,积累层位高,与荒漠灰棕漠土相比,其荒漠化程度相对较轻,土体内未形成盐盘淀积。

#### I 2 阿拉善高原干旱极干旱戈壁地区

该地区大地构造属阿拉善地台,为基底稳定的剥蚀干燥高平原。戈壁集中连片分布于贺兰山以西、河西走廊北山以北、玉门北部残山马鬃山以东、

北抵中—蒙国界地区。高平原上分布着如雅布赖山等若干老年期干燥剥蚀低山与丘陵,气候温性干旱极干旱,受局地挠曲差异升降作用影响,可进一步分异出5个亚地区。

### I 2<sub>1</sub> 乌兰布和高地残积—洪积砾质戈壁亚地区

该亚地区范围南依贺兰山,北西依狼山,东傍河套平原,为一半封闭式高原。海拔高程1000~1200 m,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温2700~3500 $^{\circ}\text{C}$ , 年均降水量 $<150\text{ mm}$ , 干燥度 $K$ 值5.0以上,属温性干旱气候。戈壁主要发育在山前洪积倾斜平原上,主要类型为洪积砾质戈壁和冲积洪积砂砾质戈壁。自然景观为草原化荒漠,土壤发育为荒漠灰漠土,具有薄浅棕灰结皮层、褐棕色紧实层和石膏化积聚层(熊毅等, 1990)。植被盖度低,通常不足10%,群落主要为琵琶柴(*Reaumuria soogorica*)、戈壁针茅、驼绒藜(*Ceratoides latens*)、珍珠猪毛菜(*Salsola passerina*)、假木贼(*Anabasis brevifolia*)、红砂(*Reaumuria soongorica*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)等灌木、半灌木群落。

### I 2<sub>2</sub> 雅玛雷克高原残积—洪积砂砾质戈壁亚地区

该亚地区位于狼山西北、北至蒙古国界。高原波状起伏,海拔1000~1300 m,大风日数40~50天,广泛分布残积砾质戈壁和洪积砂砾质戈壁,是巴音戈壁主要分布区域。年均气温5~8 $^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温2100~2500 $^{\circ}\text{C}$ , 年均降水量 $<100\text{ mm}$ , 干燥度 $K$ 值5.0以上,是中国干旱至极干旱区的过渡区域。生长膜果麻黄(*Ephedra przewalskii*)、合头草(*Sympegma regelii*)、梭梭、霸王(*Zygophyllum xanthoxylon*)、红砂、驼绒藜等旱生极旱生群落,总覆盖度5%~10%。土壤荒漠化成土过程突出,发育荒漠灰漠土与荒漠灰棕漠土。地表呈黑色砾幕,表土层具多孔状结皮,亚表层为铁质化褐棕色或浅红棕色的紧实层,有弱粘化现象,淋溶作用微弱,上层石灰淀积现象明显,下层石膏淀积加强,形成石膏积聚层。

### I 2<sub>3</sub> 腾格里高地残积—洪积砂砾质戈壁地区

该亚地区位处贺兰山以西,西北临雅布赖山、北临巴音乌拉山和民勤北山、南临宁夏中卫县黄河。戈壁广泛发育在剥蚀高原与低山、丘陵山麓洪积堆积体上。海拔1400~1600 m,年大风日数20~30天。区域东南部年均气温6.5~7.5 $^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温2800~3000 $^{\circ}\text{C}$ , 年降水量 $<200\text{ mm}$ , 戈壁体上干燥度 $K$ 值5.0以上。自然景观为草原化荒漠,主要植被类型为旱生小乔木梭梭,灌木甘蒙锦鸡儿(*Caragana opulens*)、四合木(*Tetraena mongolica*)、驼绒

藜、骆驼蓬(*Peganum harmala*)等。成土过程荒漠化明显,土壤发育为荒漠淡棕钙土。西北部极干旱化突出,生长超旱生灌木和半灌木,建群植物有霸王、琵琶柴、裸果木(*Gymnocarpus przewalskii*)、四合木、白梭梭(*Haloxylon persicum*)、短叶假木贼等,土壤发育为荒漠灰棕漠土,具深厚砾质化堆积体,砾表黑漆化,亚表层铁质化作用明显,形成灰棕色坚实层。下层石膏积聚强烈,形成石膏积聚层。石膏积累是荒漠化成土过程的重要标志和戈壁的重要生态特征。

### 12<sub>4</sub> 巴丹吉林高地残积粗砾质戈壁亚地区

该亚地区位于雅布赖山以西、弱水东岸古鲁乃湖以东、河西走廊北山北大山以北、拐子湖—古日乃湖连线以南的广阔地域。行政区域位于阿拉善右旗与额济纳旗境内。地势高亢,海拔高度1300~1800 m。多大风,年8级大风日数40~50天以上。气候极干旱,年均气温8.0~9.0 $^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温3200~3600 $^{\circ}\text{C}$ , 年降水量100~40 mm, 干燥度 $K$ 值7~12。戈壁主要发生于高原剥蚀残积砾质堆积体上,砾表漆漠化特征明显,亚表层灰棕与红棕色铁质化作用强烈,构成坚硬紧实层。淋溶作用极弱,表层常见钙的淀积,心土层石膏积聚强烈,生境严酷,植被为超旱生灌木与半灌木,主要类型为沙拐枣(*Calligonum alaschanicum*)、霸王、梭梭、短叶假木贼等,覆盖度不足10%,生态景观为温性荒漠景观。

### I 2<sub>5</sub> 居延盆地台地剥蚀—洪积砾质戈壁亚地区

该亚地区北与蒙古人民共和国接壤,东为拐子湖—查干乌拉山连线以西,南至拐子湖—古日乃湖—马鬃山连线以北,西界为马鬃山—明水—芦苇沟连线。海拔1000~2500 m,年大风日数50~75天,高原面上残丘残山交错分布,黑河由南而北注入居延海。盆地气温较高,年均气温高于7.5 $^{\circ}\text{C}$ ,无霜期高于220天,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温大于3500 $^{\circ}\text{C}$ ,属暖温型气候。高原残山面上温度较低,属温性型气候。降水稀少,年降水量不足50 mm,干燥度 $K$ 值 $>12$ ,自然景观为极干旱荒漠,为典型的黑戈壁景观,主要有嘎顺戈壁、中央戈壁、吉格德查干戈壁。以洪积粗砾戈壁面积居广,与剥蚀石质戈壁与冲积—洪积戈壁呈复合分布。砾面黑漆漠发亮,多为裸体戈壁,植被极少,盖度不足5%,散生植被有荒漠锦鸡儿、合头草、霸王、膜果麻黄等。土壤发育为棕漠土和灰棕漠土,通体粗骨质结构,钙化、石膏化、盐盘化特征明显。

### I 3 河西走廊东中部干旱极干旱戈壁地区

该地区位于河西走廊东中部,东起乌鞘岭、南

以祁连山、北以河西走廊北山(龙首山—合黎山—马鬃山)为界、西止于嘉峪关—黑青山—黑山头之间地区,含石羊河流域中下游和黑河流域中游区域。大地构造南为北祁连褶皱带,北为阿拉善—河西走廊北山台块隆起带,河西走廊则为上述二带之间的凹陷带。凹陷始于二叠纪与三叠纪,其后堆积了侏罗纪至第四纪的巨厚山前粗质洪积体与河流冲积物(中国科学院自然区划工作委员会,1959),在干旱、洪积、残积堆积体上,广泛发育了戈壁景观。根据戈壁形成的区域生态处境,以大黄山—东大山为界,可划分为东部与中部二个亚地区。

### I 3<sub>1</sub> 石羊河流域中下游平原洪积冲积砂砾戈壁亚地区

该亚地区位于河西走廊东部,受石羊河及其流水系控制,地貌呈河谷盆地展现。石羊河发源于祁连山,河流出口后,在山麓形成巨大洪积扇,而在缓平地段形成宽广冲积平原。有水源灌溉处形成连片绿洲,如古浪绿洲、武威绿洲、永昌绿洲、民勤绿洲。在洪积扇与隆升台块上,广泛发育了山前洪积砂砾戈壁与高原剥蚀砾质戈壁。戈壁一般分布于海拔1300~1700 m高原上,年大风日数20~30天,降水稀少,极为干旱。以民勤为例,年均降水量116.9 mm,年均蒸发量3700 mm,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温3149.4 $^{\circ}\text{C}$ ,干燥度 $K$ 值5.05,自然景观为中温带荒漠。零星生长旱生超旱生植物,主要物种有梭梭、霸王、琵琶柴、木本猪毛菜(*Salsola arbuscula*)、膜果麻黄、戈壁针茅等。土壤发育为灰棕漠土。全剖面呈强碱性反应,石灰表聚作用明显,随深度向下减少,而石膏与硫酸盐向下层增加,心土形成石膏积聚层,较为坚实(甘肃省土壤普查办公室,1993)。

### I 3<sub>2</sub> 黑河流域中下游平原洪积粗砾质戈壁亚地区

该亚地区位于河西走廊中部,东以大黄山—东大山为界,西以黑青山—黑山头一线为界,大致为黑河水系中游区域。区内名城有张掖、酒泉、嘉峪关。黑河从南而北呈带状向北伸展至居延海,河谷两侧为山前洪积扇与高原,海拔1200~1700 m。多北风和西北风,年大风日数20~30天。气候温性极干旱,以酒泉为例,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温2954.4 $^{\circ}\text{C}$ ,年降水量85.3 mm,干燥度 $K$ 值11.18。戈壁广泛发育,高原面上发育了剥蚀残积砾质戈壁。砾石面上“沙漠漆”乌黑发亮,当地称“黑戈壁”,祁连山山前侵蚀洪积戈壁体上,发育了砂砾质戈壁,当地称“白戈壁”,戈壁体表层为灰棕色铁质化形成的紧实层,心土层石膏化积聚常形成石膏淀积层。自然景观为温性

荒漠,生长超旱生植被,主要群落有泡泡刺(*Nitraria sphaerocarpa*)、裸果木、沙拐枣等,植被覆盖度不足5%。

### I 4 北疆盆地干旱极干旱戈壁地区

该地区东与阿拉善高原相连,南邻天山山脉,北为阿尔泰山,西至哈萨克斯坦国界。大地构造为古陆台,基底为古生代加里东褶皱,后经稳定成古陆。受局部沉降作用、地堑作用以及外营力作用区域差异影响,可划分为3个亚地区。

### I 4<sub>1</sub> 准噶尔盆地剥蚀—洪积砾质戈壁亚地区

该亚地区戈壁分布在阿尔泰山北塔山山麓洪积扇、盆地西缘山麓洪积扇、天山北麓山麓洪积扇以及准噶尔盆地东部陆台上。山麓洪积扇上物质为山洪侵蚀堆积体,戈壁发育为坡积—洪积砾石、粗砾质戈壁。陆台上的物质为风蚀残积堆积体,戈壁发育为剥蚀—残积粗砾质戈壁,著名戈壁有诺敏戈壁、将军戈壁、二百四戈壁、淖毛湖戈壁。戈壁区气候温性干旱极干旱,年大风日数20~50天。年均气温3.5~7.5 $^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温3000~3500 $^{\circ}\text{C}$ ,年降水量70~140 mm,温度从盆地东南向西北降低,降水则从东南向西北增多。干燥度 $K$ 值4~10,东部陆台最为干旱。山体侵蚀洪积扇上部地下水位深,干旱、极干旱作用下,发育成荒漠灰漠土,具有砾表漆漠化,亚表层灰棕色铁质化,心土层石膏淀积等特征,而在洪积扇下部堆积体上,盐积化形成的盐盘积聚明显,形成石膏盐盘戈壁。陆台残积堆积体上发育成荒漠灰棕漠土(中国科学院新疆综合考察队等,1965)。植被由旱生超旱生灌木、半灌木植物构成,主要种群有梭梭、白梭梭、驼绒藜、麻黄、沙拐枣、假木贼等,覆盖度不足10%。

### I 4<sub>2</sub> 乌苏—精河盆地山前洪积—冲积砂砾质戈壁亚地区

该亚地区戈壁分布于奎屯河以西、阿拉套山以南,沿艾比湖呈环状分布于山前洪积扇上,所辖县市有奎屯、乌苏、精河、博乐等。海拔300~600 m,大风日数40~50天,气候温性极干旱。以精河为例,年均气温6.0 $^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温3582 $^{\circ}\text{C}$ ,年均降水量91 mm,干燥度 $K$ 值9.72。在干旱、大风与山前洪积粗砾质堆积体上,发育了冲积—洪积砂砾戈壁。土壤为灰棕荒漠土,砾表具不明显漆膜,亚表层铁质化染色显著,石膏与盐分在心土层淀积明显,常形成石膏盐盘积聚层,强碱性反应。生长旱生超旱生植物,主要种群有白梭梭、沙拐枣、苦艾蒿(*Artemisia lavandulaefolia*)等,盖度不足10%,生产潜力低下。

#### I 4<sub>3</sub> 布尔津—哈巴河—吉木乃盆地洪积—冲积砂砾质戈壁亚地区

该亚地区范围位于准噶尔盆地西北的萨乌尔山与阿尔泰山之间,西止于中—哈国界。戈壁分布于山麓冲积—洪积扇上,海拔500~800 m。区域气候温性干旱,以哈巴河县为代表,年均气温 $4.0^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $2678.6^{\circ}\text{C}$ ,年均降水量86.6 mm,干燥度 $K$ 值4.95。山前冲积—洪积扇形地广泛发育,从上部至下部,堆积体由粗砾堆积逐渐过渡至砂砾堆积。土壤由灰棕荒漠土和荒漠淡棕钙土构成,具有砾表孔状结皮、褐棕色坚实层、石膏聚积层等基本剖面发生层(中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所,1991)。植被为旱生超旱生种群,主要有假木贼、梭梭、麻黄、霸王等,盖度不足10%,生态环境脆弱,植被破坏后,难于恢复。

#### II. 暖温性干旱极干旱戈壁区

该区指发育于暖温带干旱极干旱区的戈壁,含宁夏贺兰山东麓冲积—洪积戈壁、河西走廊敦煌—库姆塔格残积—洪积戈壁、塔克拉玛干盆地洪积坡积戈壁、喀什山前平原洪积坡积戈壁、天山南麓与库鲁克库木洪积坡积戈壁、吐—哈盆地剥蚀—残积戈壁。

##### II 1 鄂尔多斯高原西部干旱戈壁地区

鄂尔多斯高原位于内蒙古黄河中游后套以南、黄土高原以北、贺兰山以东的区域,构造上属稳定陆台,受挠曲差异升降影响,地面波状起伏,平均海拔1000~1200 m。受降水由东向西减少制约,气候由东部半干旱区向西部干旱区分异,西部贺兰山东麓出现干旱冲积—洪积砂砾质戈壁。

##### II 1<sub>1</sub> 贺兰山东麓冲积—洪积砂砾质戈壁亚地区

该亚地区戈壁发育在贺兰山东麓山前冲积—洪积扇形地上,北抵石咀山,南止于青铜峡。贺兰山为一强烈隆升褶皱断块山,其东侧为断陷作用形成的宁夏冲积平原,平原与山体间发育了宽广的冲积—洪积扇,扇坡较陡,有巨厚的砾质—砂砾质堆积体,在气候干旱、大风频繁状态下,洪积扇上部发育了砾质戈壁,下部发育了砂砾质戈壁。戈壁属暖性戈壁,以银川为例,年均气温 $8.5^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $3296.8^{\circ}\text{C}$ ,年均降水量189.9 mm,干燥度 $K$ 值4.05。戈壁通体为粗骨质,表层具片状结皮,亚表层及心土层石膏和盐分积聚明显,石灰反立强烈,但未形成盐盘。植被稀疏,生长草原化荒漠群落植被,主要种群有戈壁针茅、红砂、阿拉善锦鸡儿、驼绒藜等,盖度不足10%,生态脆弱,生产潜力低下。

##### II 2 河西走廊西部极干旱戈壁地区

该地区位于河西走廊西部,由于戈壁形成发生条件与河西走廊东、中部显著不同,气候属暖温性极干旱类型,单独划分为一个独立的亚地区。

##### II 2<sub>1</sub> 敦煌—库姆塔格残积—洪积砾质砂砾质戈壁亚地区

该亚地区范围界于西祁连—阿尔金山以北,甘新交界(罗布泊)以东,嘉峪关黑青山以西,马鬃山以南。区内著名城镇有敦煌、安西、玉门。暖温性极干旱气候,以敦煌为代表,年日照3247.1小时, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $3611.3^{\circ}\text{C}$ ,年均降水量36.8 mm,年均蒸发量2490.6 mm,干燥度 $K$ 值31.14。水系主要为疏勒河内流水系,亦有众多短小季节性小河。戈壁集中分布于马鬃山—北山一带高原残山及祁连—阿尔金山麓冲积—洪积体上。马鬃山一带高原剥蚀残山海拔1100~1400 m,强辐射、高蒸发下发育了剥蚀残积粗砾质戈壁,土壤为石膏棕漠土,砾面铁锰黑幕漆发亮,呈现“黑戈壁”景观,为中国黑戈壁称谓的起源区。戈壁通体为粗骨质残积体,亚表层呈棕红色,为铁氧化聚积层,坚实;其下为石膏积聚层,石膏呈块状体淀积,坚实,再下为粗砾母质层。祁连—阿尔金山麓洪积堆积体上发育了冲积—洪积粗砾—砂砾堆积,洪积扇上部发育为石膏棕漠土,洪积扇中下部发育为石膏盐盘棕漠土,是最干旱条件与可溶盐丰富母质下形成的戈壁。植被覆盖度低,一般低于10%,主要种群有合头草、霸王、膜果麻黄、红砂、琵琶柴等。

##### II 3 南疆盆地极干旱戈壁地区

该地区处于天山山脉以南,昆仑山—阿尔金山以北、帕米尔高原以东,东接II 2<sub>1</sub>亚地区,含塔里木盆地和吐—哈盆地,整个区域为暖温带极干旱区。塔里木盆地的地质基础是寒武纪地台,吐—哈盆地为中天山东段南缘的凹陷盆地,二者虽在构造成因上有别,但都深居内陆,平均海拔、干旱程度、生态背景、戈壁成因与特征相似,故将其归为一个地区。

##### II 3<sub>1</sub> 塔克拉玛干盆地洪积坡积砾质砂砾质戈壁亚地区

该亚地区范围为:塔里木河以南、昆仑山中东段以北、塔河下游—阿尔金山连线以西,叶尔羌河以东区域。戈壁集中连片发育在昆仑山北麓若羌—和田—叶城海拔800~1200 m的山前洪积—冲积堆积体上。气候暖温极干旱,年日照3000小时以上, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $4000\sim 5000^{\circ}\text{C}$ ,年均降水量30~70 mm,年均蒸发量3000 mm以上,干燥度 $K$ 值15~50。以

和田为例,年均降水量 27.3 mm,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温  $4360.9^{\circ}\text{C}$ , 干燥度  $K$  值 25.5; 若羌年均降水量 13.8 mm,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温  $4353.9^{\circ}\text{C}$ , 干燥度  $K$  值 50.48。区内年大风日数 20~30 天。在极端干旱与强日照、多大风条件下,洪积扇砾质堆积体上发育了石膏棕漠土戈壁,洪积—冲积砂砾质堆积体上,发育了石膏盐盘棕漠土戈壁,剖面构型主要由砾幕与薄多孔状结皮层、浅红棕色铁质化染色紧实层、石膏淀积层或石膏盐盘积聚层,最下为粗砾质母质层构成。植被覆盖度极低,通常低于 5%,主要为超旱生灌木和半灌木,建群植物有霸王、琵琶柴、短叶假木贼、麻黄、梭梭等。

### II 3<sub>2</sub> 喀什山前平原洪积坡积砾质戈壁亚地区

该亚地区戈壁主要分布于叶尔羌河以西、托什干河以南,西至帕米尔高原东麓的山前坡积—洪积—冲积平原上海拔 900~1300 m,气候暖温极干旱。以喀什为例,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温  $4250.5^{\circ}\text{C}$ , 年均降水量 44.5 mm, 干燥度  $K$  值 15.28, 年大风日数 20~30 天。堆积体以砾质为主,植物以假木贼、麻黄、琵琶柴等超旱生灌木半灌木为主,覆盖度极低,不足 5%。土壤为砾质石膏棕色荒漠土,具有 1 cm 左右褐色结皮层, 1~5 cm 乳黄色染色紧实层, 10~15 cm 的过渡层,其下为约 30 cm 的石膏淀积层,石膏呈粗纤维状结晶附于砾体中间。土壤淋溶作用弱,碳酸钙等可溶盐在表层积聚明显,向心土逐渐减少。生态环境十分脆弱,植被破坏后,极难恢复。

### II 3<sub>3</sub> 天山南麓与库鲁克库木洪积坡积砾质戈壁亚地区

该亚地区戈壁主要分布于塔里木河干流以北、阿克苏河以东、吐鲁番盆地南界觉罗塔格山以南地区,沿天山山脉冲积—洪积扇与库鲁克塔格高地发育,海拔 800~1400 m,气候暖温极干旱。以库尔勒为例,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温  $4273.8^{\circ}\text{C}$ , 年均降水量 44.6 mm, 干燥度  $K$  值 16.87, 年大风日数 30~35 天,自然地带为暖温带荒漠棕漠土地带。植被为超旱生膜果麻黄、泡泡刺、沙拐枣、霸王等群落,覆盖度不足 5%。戈壁可分为两大类:一是发育于天山南麓洪积扇上的戈壁为砾质与砂砾质戈壁,在干热与风力作用下,淋溶弱,石膏积聚于亚表层,形成石膏棕漠土戈壁,可溶盐表聚性较纯,向下有减少;二是发育于库鲁克塔格高地的戈壁,主要为风蚀剥蚀残积砾质戈壁,通体物质组成较粗,干热与高辐射条件下,形成石膏盐盘棕漠土戈壁,表层为黑褐色铁锰结皮层,厚不超过 1 cm,淋溶作用极弱,石膏与可溶盐于心

土层胶结为石膏盐盘层,坚实,向下即为风化砾质母质层。

### II 3<sub>4</sub> 吐—哈盆地残积—洪积粗砾质戈壁亚地区

该亚地区由哈密盆地与吐鲁番盆地戈壁群组成。区域范围北为东天山,东界哈密盆地东侧的星星峡—明水—马莲井连线,南为吐鲁番盆地南界的觉罗塔格山,西南与 II 3<sub>3</sub> 亚地区相连。气候暖温极干旱。以哈密为例,年均温  $9.8^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温  $4038.3^{\circ}\text{C}$ , 年均降水量 34.6 mm, 干燥度  $K$  值 28.14; 吐鲁番,年均温  $13.4^{\circ}\text{C}$ , 日照 3000 小时以上,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温  $5391.3^{\circ}\text{C}$ , 年均降水量 16.4 mm, 干燥度  $K$  值 74.36, 被称为中国的旱极。自然地带为暖温性极干旱荒漠地带,生长超旱生植物,主要类型有琵琶柴、裸果木、泡泡刺、霸王等群落,盖度不足 5%。戈壁广泛发育于盆地周边洪积扇及风蚀残丘上,以残积—洪积粗砾质堆积体为主,著名戈壁有南湖戈壁、嘎顺戈壁、三间房戈壁。通体由砂砾质组成,表层具荒漠结皮,结皮层下为棕红色染色层,其下的心土层为石膏结晶层,土壤发育为石膏棕色荒漠土。

### III 青藏高原北部高原干旱极干旱戈壁区

青藏高原作为区域整体,是第三纪才从古地中海(特提斯海)退出而成陆,并持续隆升,目前为 4500~5000 m 以上的年轻高原,山峰多在 6500 m 以上。在隆升背景下,还伴随着区域性差异断块运动,形成盆地,如柴达木盆地。由于地域广阔而高耸,自然环境从东南向西北呈现亚热带湿润(森林)—高原半湿润(森林灌丛草原)—高原半干旱(高寒草原)—高原干旱(高寒荒漠)的分异(中国科学院青藏高原综合考察队,1982;申元村等,1991)。戈壁出现于青藏高原北部高寒干旱区。依据戈壁分布的地域区位,可划分出两个地区。

#### III 1 柴达木盆地极干旱戈壁地区

柴达木盆地位于青藏高原东北部,海拔 2680~3300 m,周围山体海拔 3300~5500 m,是封闭式内陆盆地,具有亚寒干旱气候特征。盆地基座东西长约 850 km,南北宽约 250 km,自然地域分异出东南部半干旱荒漠草原和西部干旱荒漠两个自然地带。戈壁广泛分布于盆地西部干旱荒漠自然地带内。

#### III 1<sub>1</sub> 柴达木盆地剥蚀—坡积—洪积砾质砂砾质戈壁亚地区

该亚地区戈壁分布于盆地香日德脱土山—怀头他拉连线以西,沿南部布尔汗布达山北麓洪积倾斜平原,北部阿尔金山—西祁连山山前洪积倾斜平原连绵分布。戈壁分布区年均温  $1.1\sim 4.4^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$

年积温 900~2100°C, 年相对湿度小于 35%, 年均降水量 17.8~84.6 mm, 年蒸发量 2100~3300 mm, 年大风日数 25~70 天, 干燥度  $K$  值大于 10, 属亚寒极干旱类型(申元村, 1987)。生长超旱生植被群落, 主要种群有梭梭、红砂、沙拐枣、优若藜、木紫苑(*Asterothamus centrali-asiaticus*)等, 盖度不足 5%。土壤发育为灰棕荒漠土, 地表砾石具黑色漆膜, 其下为受铁质化染色的紧实层。依据石膏积聚与可溶盐积累地段差异, 洪积扇上部粗砾质戈壁发育为普通灰棕漠土戈壁, 洪积扇中部与高阶地砾质戈壁发育成石膏灰棕漠土戈壁, 洪积扇下部洪积—冲积砂砾质堆积体上, 发育成石膏盐盘灰棕漠土戈壁(青海省农业资源区划办公室, 1997)。

### III 2 昆仑山—羌塘高原高山高原戈壁地区

该地区处于西藏的最北缘, 北部是昆仑山脉, 海拔 6000 m 以上, 现代冰川广泛发育。南部是羌塘高原, 海拔 4900 m(北部)~4500 m(南部)。高原波状起伏, 残丘孤山众多, 湖泊星罗棋布, 多为咸水湖, 河流短小, 均为季节性内陆河流。气候高寒干旱, 年均气温 0~3°C, 1 月均温 -10°C 以下, 7 月均温 10~12°C, 无真正夏季。降水稀少, 自然地带有发育成高寒荒漠草原与高寒荒漠(中国科学院青藏高原综合科学考察队, 1982)。戈壁广泛分布于昆仑山—羌塘高原高山高原区内。

#### III 2.1 昆仑山—羌塘高原高寒残积—坡积碎石、砾质戈壁亚地区

该亚地区戈壁广泛发育于昆仑山麓冰碛洪积裙中下部与羌塘高原剥蚀残积体上, 通体几乎为石砾质堆积, 土壤发育为高寒漠土, 地表具孔状荒漠结皮, 石膏和易溶盐含量较低, 且富集于上部, 形成非典型的石膏积聚层, 其下即迅速过渡到母岩层。植被覆盖度极低, 不足 5%, 以低矮匍生草本为特征, 主要种群有垫状驼绒藜(*Ceratoides compacta*)、垫状无茎芥(*Pegaeophyton scapiflorum*)、山蚤缀(*Arenaria monticola*)、西藏亚菊(*Ajania tibetica*)等(熊毅等, 1990)。

## 6 结论

戈壁是中国北方广泛分布的一种独特地理景观, 直至目前还没有开展过系统的分区研究。本文根据戈壁基本特征与形成过程, 将戈壁定义为: 地表由砾石、砂砾覆盖, 土壤发育微弱、石膏化过程和积盐过程突出, 表层具极不稳定孔状结皮、其下为

棕红色紧实层及石膏层, 植被覆盖稀疏、盖度通常不足 10%, 生长旱生、极旱生灌木—半灌木植物的一种地理景观。其形成发生的学术界定是: 戈壁仅形成发生于干旱—特干旱气候类型, 地貌条件为干旱高原面、残丘与山体洪—冲积扇中上部, 洪积扇以上的山体不会出现戈壁; 砾质覆盖体的成因主要为剥蚀残积与侵蚀堆积两种类型。依据戈壁发生的地理分异规律, 选择层次不同区划指标, 构建级别不同的区划体系。采用  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温与干燥度  $K \geq 4$  为指标, 将中国戈壁分布区域划分为温性干旱极干旱戈壁区、暖温性干旱极干旱戈壁区、青藏高原北部高寒干旱极干旱戈壁区(一级区); 以区域地貌单元为依据划分出 9 个地区(二级区); 以砾质覆盖体成因类型划分出 19 个亚地区(三级区); 今后, 还可根据土壤和植被的地域分异进一步划分出若干小区(四级区)。

## 参考文献(References)

- 甘肃省土壤普查办公室. 1993. 甘肃土壤[M]. 北京: 农业出版社. [Gansusheng turang pucha bangongshi. 1993. Gansu turang[M]. Beijing, China: Agriculture Press.]
- 卢琦. 2000. 中国沙情[M]. 北京: 开明出版社. [Lu Q. 2000. Zhongguo shaqing[M]. Beijing, China: Kaiming Press.]
- 潘晓玲, 党荣理, 伍光和. 2001. 西北干旱荒漠区植物区系地理与资源利用[M]. 北京: 科学出版社. [Pan X L, Dang R L, Wu G H. 2001. Xibei ganhan huangmoqu zhiwuquxi dili yu ziyuan liyong[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 青海省农业资源区划办公室. 1997. 青海土壤[M]. 北京: 中国农业出版社. [Qinghaisheng nongye ziyuan quhua bangongshi. 1997. Qinghai turang[M]. Beijing, China: China Agricultural Press.]
- 申元村. 1987. 柴达木盆地自然环境与自然资源开发利用的初步研究[J]. 自然资源学报, 2(2): 133-140. [Shen Y C. 1987. The natural environment of Chai Da Mu Basin and the research of resources exploitation[J]. Journal of Natural Resources, 2(2): 133-140.]
- 申元村, 王秀红, 丛日春, 等. 2013. 中国沙漠、戈壁生态地理区划研究[J]. 干旱区资源与环境, 27(1): 1-13. [Shen Y C, Wang X H, Cong R C, et al. 2013. Eco-geographical zoning of deserts and Gobi in China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 27(1): 1-13.]
- 申元村, 向理平. 1991. 青海省自然地理[M]. 北京: 海洋出版. [Shen Y C, Xiang L P. 1991. Qinghai ziran dili[M]. Beijing, China: Ocean Press.]
- 王伯恭. 1999. 中国百科大辞典[M]. 北京: 中国大百科全书出版社. [Wang B G. 1999. Zhongguo baike dacidian[M]. Beijing, China: Encyclopedia of China Publishing House.]
- 吴正. 2009. 中国沙漠及其治理[M]. 北京: 科学出版社. [Wu

- Z. 2009. Zhongguo shamo jiqi zhili[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 熊毅, 李庆逵. 1990. 中国土壤[M]. 2版. 北京: 科学出版社. [Xiong Y, Li Q K. 1990. Zhongguo turang[M]. 2nd ed. Beijing, China: Science Press.]
- 赵松乔. 1985. 中国干旱地区自然地理[M]. 北京: 科学出版社. [Zhao S Q. 1985. Zhongguo ganhanqu ziran dili[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 赵松乔, 杨利普, 杨勤业. 1990. 中国的干旱区[M]. 北京: 科学出版社. [Zhao S Q, Yang L P, Yang Q Y. 1990. Zhongguo de ganhanqu[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 郑度, 等. 2007. 中国生态地理区域系统研究[M]. 北京: 商务印书馆. [Zheng D, et al. 2007. Zhongguo shengtai dili quyu xitong yanjiu[M]. Beijing, China: The Commercial Press.]
- 郑度, 葛全胜, 张雪芹, 等. 2005. 中国区划工作的回顾与展望[J]. 地理研究, 24(3): 330-344. [Zheng D, Ge Q S, Zhang X Q, et al. 2005. Regionalization in China: retrospect and prospect[J]. Geographical Research, 24(3): 330-344.]
- 郑度, 杨勤业, 吴绍洪. 2015. 中国自然地理总论[M]. 北京: 科学出版社. [Zheng D, Yang Q Y, Wu S H. 2015. Zhongguo ziran dili zonglun[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 1982. 西藏自然地理[M]. 北京: 科学出版社. [Zhongguo kexueyuan Qingzang gaoyuan zonghe kexue kaochadui. 1982. Xizang ziran dili[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所. 1991. 新疆土壤及土地资源研究[M]. 北京: 科学出版社. [Xinjiang Institute of Biological Soil Desert of Chinese Academy of Sciences. 1991. Xinjiang turang ji tudi ziyuan yanjiu[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 中国科学院新疆综合考察队, 等. 1965. 新疆土壤地理[M]. 北京: 科学出版社. [Zhongguo kexueyuan Xinjiang zonghe kaochadui, et al. 1965. Xinjiang turang dili[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 中国科学院自然区划工作委员会. 1959. 中国地貌区划(初稿)[M]. 北京: 科学出版社. [Work Committee of Physical Regionalization of the Chinese Academy of Sciences. 1959. Zhongguo dimao quhua (chugao)[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 朱俊凤, 朱震达, 等. 1999. 中国沙漠化防治[M]. 北京: 中国林业出版社. [Zhu J F, Zhu Z D, et al. 1999. Zhongguo shamohua fangzhi[M]. Beijing, China: China Forestry Press.]

## Integrated physical regionalization of stony deserts in China

SHEN Yuancun<sup>1</sup>, WANG Xiuhong<sup>1\*</sup>, CHENG Weiming<sup>2</sup>, WU Jinfeng<sup>1,3</sup>, LU Qi<sup>4</sup>, FENG Yiming<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Institute of Desertification, China Academy of Forestry Sciences, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Stony deserts are widely distributed in the arid and extremely arid regions in China. However, an integrated physical regionalization of these stony deserts has not been carried out. Based on a comprehensive analysis of the relationship between the characteristics and formation mechanism of stony deserts, the main features of stony deserts can be summarized as follows: land surface is covered with gravels; surface layer has porous thin desert crust, below which red brown compact and gypsum layers are found. Vegetation mainly includes arid and extremely arid shrubs and semi-shrubs with low coverage. Stony deserts only exist in arid and extremely arid regions with aridity index greater than 4. Based on the regional differentiation of characteristics and formation conditions of stony deserts, this study selected indicators reflecting aridity and temperature, regional geology and geomorphology, and formation conditions and types of surface materials to classify the stony deserts into three first-level regions (temperate arid and extremely arid region, warm temperate arid and extremely arid region, and arid and extremely arid region in northern Tibetan Plateau); nine second-level regions (according to regional geological and topographical features), and 19 third-level regions (based on regional formation conditions and types of surface materials). Further division can be made based on regional differentiation of soils and vegetation.

**Key words:** stony desert; arid and extremely arid region; integrated physical regionalization