

陈清霞,陆晓辉,赵文轩,等. 不同地形条件下贵州省主要土壤类型的空间分异[J]. 江苏农业科学,2022,50(7):205-213.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.07.032

不同地形条件下贵州省主要土壤类型的空间分异

陈清霞^{1,2}, 陆晓辉^{1,2}, 赵文轩^{1,2}, 刘玉晶^{1,2}, 牟叶果^{1,2}

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院/喀斯特研究院, 贵州贵阳 550025;

2. 贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培训基地, 贵州贵阳 550025)

摘要:不同地形部位发育的土壤属性及其类型差异明显,探究山区不同地形条件下土壤类型的空间分异规律,对土壤资源的合理利用和定向培育具有重要意义。研究运用地理信息系统(GIS)技术和周长-面积法,分析探讨了不同海拔和坡度条件下贵州省主要土壤类型的空间分异与山地复杂地形条件的关系。结果表明:不同海拔和坡度条件下土壤类型空间分布差异明显。黄壤和紫色土在海拔 $>900\sim1\,400\text{ m}$ 、坡度 $>6^{\circ}\sim15^{\circ}$ 之间的平均斑块面积最大、连片性最好、斑块构成最简单,而红壤则以海拔 $147\sim900\text{ m}$ 、坡度 $>15^{\circ}\sim25^{\circ}$ 间的连片性最好、稳定性指数最高;红色石灰土和水稻土连片性最好的坡度区间分别为 $>6^{\circ}\sim15^{\circ}$ 和 $0^{\circ}\sim6^{\circ}$,两者分布面积最大的海拔区间均为 $147\sim900\text{ m}$,且随海拔和坡度增加两者的分维数也逐渐增大;草甸土和黄棕壤、棕色石灰土和棕壤连片性最好的坡度区间均为 $6^{\circ}\sim15^{\circ}$ 、分维数最小的坡度区间分别为 $0^{\circ}\sim6^{\circ}$ 和 $>6^{\circ}\sim15^{\circ}$,两者均在海拔 $>1\,900\sim2\,890\text{ m}$ 间的连片性最好、斑块镶嵌结构最简单;分维数表明黄色石灰土在 $0^{\circ}\sim6^{\circ}$ 间的斑块结构最简单,而黑色石灰土则在 $>25^{\circ}$ 地区复杂度最低,但两者均在海拔 $>900\sim1\,400\text{ m}$ 、坡度 $>6^{\circ}\sim15^{\circ}$ 之间的连片性最好。在贵州山地复杂地形条件下,土壤类型的连片性和分维数在一定程度上能够反映出主要土壤类型发生发育的最佳地形条件。

关键词:海拔;坡度;连片性;分形特征;贵州省

中图分类号:S159.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)07-0205-09

土壤是分布在地球表面上具有一定肥力并能生长植物的疏松表层,其空间分布特征对区域内生

态系统结构有非常重要的影响^[1]。由于土壤在形成发育过程中同时受到自然和人文两大因素的影响,在空间分布上也具有很大的差异性^[2]。地形作为土壤形成发育的五大成土因素之一,直接影响着土壤的水热状况和地表物质能量的流动,从而在很大程度上决定了土壤的物理化学性质和生物过程,使得不同地形部位下发育的土壤属性及其类型有很大的差异^[3]。

分形理论在定量描述不规则、支离破碎、非均质但具有自相似特征的复杂自然结构等方面具有

收稿日期:2021-07-31

基金项目:国家自然科学基金(编号:41867001);贵州师范大学学术新苗培养及创新探索专项[编号:黔科合平台人才(2018)5769-23];贵州师范大学博士科研项目[编号:GZNU(2017)7号]。

作者简介:陈清霞(1995—),女,贵州遵义人,硕士研究生,从事土壤发生与分类研究。E-mail:2237481706@qq.com。

通信作者:陆晓辉,博士,教授,从事土壤发生与分类研究。E-mail:lu_xiaohui@126.com。

境的影响[J]. 园艺学报,2016,43(7):1236-1244.

[12]林清火,罗微,林钊沐,等. 砖红壤地区旱地土壤肥料养分流失研究进展[J]. 热带农业科学,2003,23(1):61-66.

[13]王景华. 海南岛土壤和植物中的化学元素[M]. 北京:科学出版社,1987:21-30.

[14]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000:25-38.

[15]全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术[M]. 北京:农业出版社,1992:107-119.

[16]侯宪文,符瑞益,李兆君,等. 土壤调理剂对砖红壤性质及空心菜的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2020,40(1):110-115.

[17]Bäckman J S K, Hermansson A, Tebbe C C, et al. Liming induces

growth of a diverse flora of ammonia-oxidising bacteria in acid spruce forest soil as determined by SSCP and DGGE[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(10):1337-1347.

[18]王世强,胡长玉,程东华,等. 调节茶园土壤pH对其土著微生物区系及生理群的影响[J]. 土壤,2011,43(1):76-80.

[19]贝美容,雷菲,刘海林,等. 缓释氮肥在砖红壤中氮素转化研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(20):300-303.

[20]刘建玲,张凤华. 土壤磷素化学行为及影响因素研究进展[J]. 河北农业大学学报,2000,23(3):36-45.

[21]刘琳,李伟,张吴平,等. 钙镁泥对不同土壤pH及部分元素有效性的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(6):287-291.

[22]单德鑫,李淑芹,许景钢. 好氧堆肥对难溶性磷转化的影响[J]. 环境科学学报,2009,29(1):146-150.

其独特的优势,利用分形维数和稳定性指数可以直观地描述土壤空间形态分布与成土环境条件之间的定量关系^[4]。目前,基于分形理论研究土壤结构特征和土壤类型空间分异的研究已有较多成果,朱晓华等采用分形方法对中国土壤的空间分形特征研究发现,我国土壤类型在空间分布上表现出从华南至东北至西北分维数逐渐增大的趋势^[5];王艳艳等研究表明,分形结构方法能够指示土壤水力性质,并能通过建立分形模型反演土壤结构^[6];白一茹等采用分形方法对土壤粒径分布单重的分形结构特征进行研究发现,土壤粒径分布分形维数可以体现土壤粒径的分布情况,并可利用土壤粒径分形维数估算土壤孔隙分形维数^[7-8]。综上可知,以往研究多集中于对单一土壤属性或土壤类型空间分形特征的研究,对于不同地形条件下土壤类型空间分形特征的研究还相对较少,因此探究地形因子与土壤类型空间分异的关系,对于了解土壤的空间分布特征及其形成演化规律等方面均具有重要意义。

贵州省地处云贵高原东部斜坡地带,地势由西向东梯级下降,最大高差可达 2 743 m。同时该区又是我国西南岩溶地区的中心,在喀斯特地貌与非喀斯特地貌的双重作用下,区内地形复杂,山地丘陵与洼地谷地交错分布^[9]。独特的地形地貌为土壤的形成发育提供了复杂多变的自然环境条件,这必

将引起贵州省土壤属性和类型呈现出一定的空间变异特征。基于此,本研究采用分形理论中的周长-面积法,对贵州省不同海拔和坡度条件下土壤类型的空间分异特征进行定量研究,探究山地环境复杂地形因子下土壤类型的空间分异规律,以期对贵州省土壤资源的合理利用和定向培育提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

贵州省位于云贵高原东部,地理位置 $24^{\circ}37' \sim 29^{\circ}13'N$ 、 $103^{\circ}36' \sim 109^{\circ}35'E$,是内陆山地省份。贵州省土地总面积 17.62 km^2 ,其中山地和丘陵就占了 92.5%。区内地势总体西北高、东南低,地形连绵起伏、山脉纵横交错,平均海拔在 1 100 m 左右^[10]。在大陆性气候和海洋性气候的交替作用下,年平均气温在 $14 \sim 16^{\circ}\text{C}$ 之间,年降水量为 $1\,100 \sim 1\,300 \text{ mm}$,具有湿润亚热带气候的特点^[11]。贵州省土壤在复杂的地质地貌和特殊的气候条件下,形成了多样的土壤类型,其中以红壤、黄壤和黄棕壤等地带性土壤为主(图 1),占了土壤总面积的 60.29%,受母岩特性制约的岩性土壤石灰土和紫色土占土壤总面积的 23.14%,人工耕种熟化的水稻土及其他约占 16.57%^[12]。

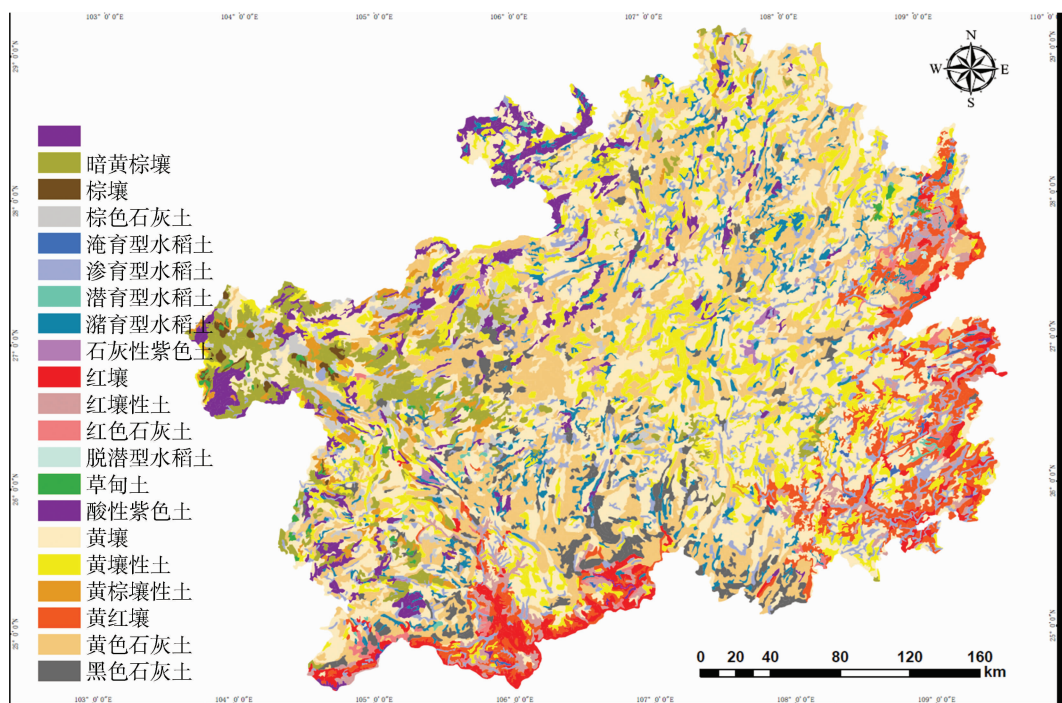


图1 研究区位置及土壤类型空间分布

1.2 数据来源及研究方法

1.2.1 海拔和坡度因子提取 2021 年 3 月在地理空间数据云平台下载贵州省 GDEM V2 30M 的高程数据,通过 ArcGIS 10.6 软件提取坡度数据,并对坡度和高程数据进行重分类、栅格转矢量、消除碎斑以及融合同类项等处理,最后得到高程和坡度分级的矢量图。

1.2.2 不同海拔和坡度类型下土壤空间分异信息提取 在 ArcGIS 10.6 中分别将提取的海拔分级图和坡度分级图与土壤类型图(来源于贵州省自然资源厅,其比例尺为 1:2 500 000)进行叠加分析得到土壤类型在不同海拔或坡度分级下的分布信息以及面积和周长数据,最后通过分形理论的周长-面积法对不同海拔和坡度等级下土壤类型的分形维数和稳定性指数进行计算^[13],其表达式为

$$\ln A_r = \frac{2}{D} (\ln P_r) + \ln C_0 \quad (1)$$

式中: A_r 表示某类不规则面状图形的面积; P_r 表示该类图形的周长; C_0 为待定常数; D 则为该类图形的

分维数,分维数 D 可以通过求取各土壤类型的周长-面积对数拟合直线的斜率($2/D$)来得到。分维数 D 的取值范围在 1~2 之间,其大小能够定量描述土壤边界的曲折性, D 值越大表明土壤斑块边界越破碎、空间结构特征越复杂,反之亦然。土壤斑块空间镶嵌结构的稳定性可以通过 $|1.5 - D|$ 来计算,其值越大,斑块构成越简单。

2 结果与分析

2.1 不同海拔条件下土壤类型的空间分形特征

根据《贵州省农业地貌区划》^[14] 高程分级标准并结合实际地势情况,将贵州省高程分为 4 个级别,其中 147~900 m 占研究区总面积的 35.98%、>900~1 400 m 占总面积的 42.75%、>1 400~1 900 m 占总面积的 14.79%、>1 900~2 890 m 占总面积的 6.47%。由图 2 可知,贵州省海拔高度呈现出由西北向东南逐渐递减的规律,并以中部高原区的分布范围最大,斑块连片性最好。

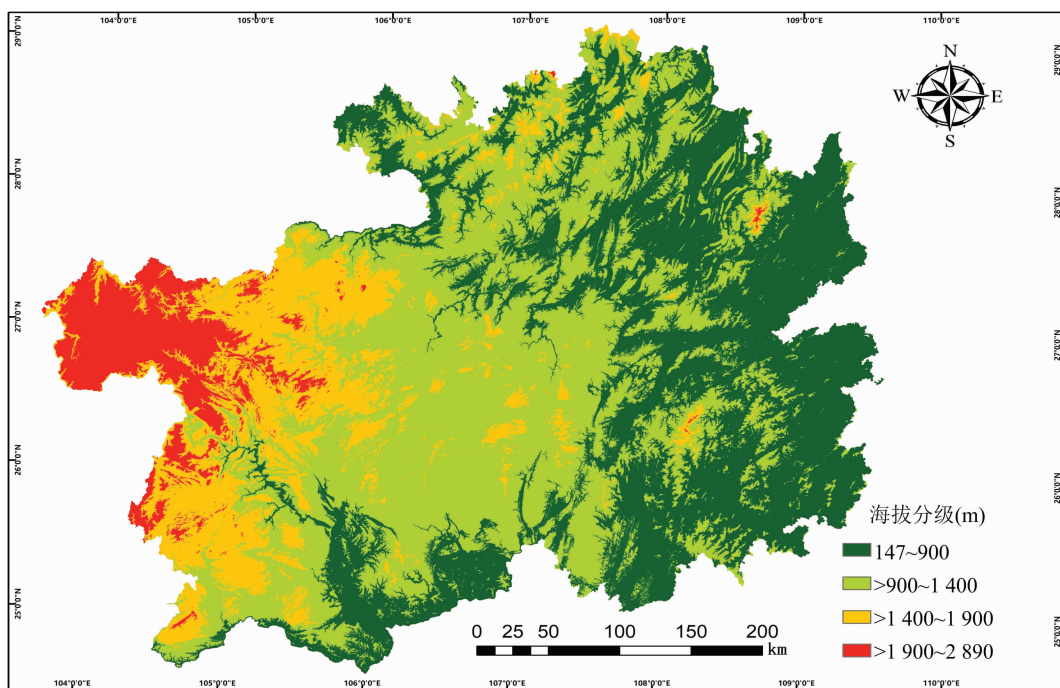


图2 贵州省海拔分级

2.1.1 不同海拔区优势土壤类型及连片性 由表 1 可看出,贵州省优势土壤类型在海拔 147~1 900 m 之间均为黄壤(黄壤亚类、黄壤性土),而在 >1 900~2 890 m 则以黄棕壤(暗黄棕壤、黄棕壤性土)为主,不同海拔区间下各土壤类型分布连片性(平均斑块面积越大、连片性越好)具有明显差异。

草甸土、黄棕壤、棕壤和棕色石灰土仅分布于海拔 1 400 m 以上的地区,且分布面积和平均斑块面积均在 >1 900~2 890 m 间最大、连片性最好,而红壤(红壤亚类、黄红壤、红壤性土)和红色石灰土则仅分布于海拔 1 400 m 以下地区,且平均斑块面积和分布面积均在 147~900 m 之间出现最大值。黄壤

(黄壤亚类、黄壤性土)、黑色石灰土、黄色石灰土和紫色土(石灰性紫色土、酸性紫色土)均在 > 900 ~ 1 400 m 间的分布面积最大,连片性最好,而水稻土(潜育型水稻土、潴育型水稻土、渗育型水稻土、脱潜型水稻土、育型水稻土)则在 147 ~ 900 m 之间的面积分布最大、连片性最好。

表 1 不同海拔条件下土壤类型的空间分布差异

土壤类型	147 ~ 900 m			> 900 ~ 1 400 m			> 1 400 ~ 1 900 m			> 1 900 ~ 2 890 m		
	斑块数量 (个)	总面积 (km ²)	平均斑块 面积(km ²)	斑块数量 (个)	总面积 (km ²)	平均斑块 面积(km ²)	斑块数量 (个)	总面积 (km ²)	平均斑块 面积(km ²)	斑块数量 (个)	总面积 (km ²)	平均斑块 面积(km ²)
草甸土	—	—	—	—	—	—	41	194.35	4.74	45	445.78	9.9
暗黄棕壤	—	—	—	—	—	—	348	3 592.20	10.32	309	4 422.27	14.31
黄棕壤性土	—	—	—	—	—	—	178	1 272.38	7.14	130	1 675.27	12.89
红壤	176	3 821.14	21.71	69	461.44	6.69	—	—	—	—	—	—
黄红壤	384	9 084.12	23.66	175	746.06	4.26	—	—	—	—	—	—
红壤性土	129	3 232.41	25.06	80	319.94	4.00	—	—	—	—	—	—
黄壤亚类	1 631	15 182.72	9.31	2 213	25 274.86	11.42	826	6 042.72	7.32	214	1 468.76	6.86
黄壤性土	826	6 931.79	8.39	1 050	11 882.56	11.32	399	2 855.14	7.16	129	519.81	4.03
黑色石灰土	140	1 312.85	9.38	359	4 171.00	11.62	126	938.14	7.45	5	34.72	6.94
黄色石灰土	809	9 159.98	11.32	1 472	19 295.17	13.11	665	5 159.29	7.76	106	388.95	3.67
红色石灰土	59	853.54	14.47	27	296.47	10.98	—	—	—	—	—	—
棕色石灰土	—	—	—	—	—	—	132	1 606.33	12.17	134	1 994.06	14.88
石灰性紫色土	12	155.24	12.94	12	189.04	15.75	9	78.16	8.68	3	2.76	0.92
酸性紫色土	224	1 946.13	8.69	230	2 568.67	11.17	242	2 271.94	9.39	141	1 186.58	8.42
棕壤	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32	538.37	16.82
潜育型水稻土	5	131.12	26.22	16	120.39	7.52	6	36.05	6.01	—	—	—
潴育型水稻土	249	3 489.57	12.41	409	3 055.29	7.47	102	493.30	4.84	7	18.35	2.62
渗育型水稻土	528	7 139.45	14.01	601	4 042.28	6.73	153	893.88	5.84	29	135.34	4.67
脱潜型水稻土	12	118.68	9.89	7	60.69	8.67	3	9.95	3.32	—	—	—
淹育型水稻土	11	190.54	17.32	11	37.58	3.42	—	—	—	—	—	—

注:“—”代表在相应海拔段内没有该类型的土壤发育。

2.1.2 不同海拔高度下土壤类型的分维数和稳定性指数 分形分析为土壤空间分异提供了定量的表达方法,通过表 2 中 r^2 对不同海拔高度下土壤斑块的周长—面积关系式进行显著性检验表明,除了个别土壤类型在相应海拔区间内由于斑块数量太少无法建立周长—面积关系式外,不同海拔区间内各土壤类型斑块的周长—面积双对数关系显著,表明不同海拔高度下各土壤类型的空间分形结构特征客观存在。

由图 3 可知,不同海拔条件下,各土壤类型的分维数和稳定性指数具有明显差异。随海拔高度增加,草甸土、黄棕壤、棕色石灰土和棕壤的分维数逐渐减小、斑块镶嵌结构越来越简单,而红壤、红色石灰土和水稻土的分维数则逐渐增大、斑块镶嵌结构越复杂。黄壤、黑色石灰土、黄色石灰土和紫色土的分维数随海拔高度增加表现出先减小再增加的趋势,且均在 > 900 ~ 1 400 m 之间呈现最小值,说明这几种土壤在

该海拔区间的斑块破碎度最低、稳定性最好。

2.2 不同坡度条件下土壤类型的空间分形特征

参照汤国安等对坡度分级方法的比较研究^[15],本研究将贵州省坡度分为 0° ~ 6°、> 6° ~ 15°、> 15° ~ 25°和 > 25°等 4 个级别,各坡度等级面积分别占研究区总面积的 7.66%、50.72%、29.74%、11.88%。结合图 4 可知,> 6° ~ 15°占了研究区土地总面积的一半,且集中分布在中部地区,贵州省地形呈现出中部平坦而四周起伏较大的特点。

2.2.1 不同坡度条件下优势土壤类型及连片性

由表 3 可知,各坡度区间的优势土壤类型均为黄壤,各土壤类型在不同坡度区间下的连片性具有明显差异。草甸土、黄棕壤、黄壤、石灰土、紫色土和棕壤在 > 6° ~ 15°间的分布面积和平均斑块面积最大、分布连片性最好,而红壤则在 > 15° ~ 25°间的分布面积最大、斑块连片性最好。水稻土在 > 6° ~ 15°之间的分布面积最大,但以 0° ~ 6°间的斑块连片性最

表 2 不同海拔高度下各类型土壤斑块的周长-面积关系

土壤类型	147 ~ 900 m		> 900 ~ 1 400 m		> 1 400 ~ 1 900 m		> 1 900 ~ 2 890 m	
	周长-面积关系	r^2	周长-面积关系	r^2	周长-面积关系	r^2	周长-面积关系	r^2
草甸土	-	-	-	-	$y = 1.529\ 5x + 0.669\ 5$	0.88	$y = 1.821\ 4x - 1.860\ 8$	0.86
暗黄棕壤	-	-	-	-	$y = 1.653\ 7x - 0.424\ 9$	0.88	$y = 1.740\ 4x - 1.301\ 1$	0.91
黄棕壤性土	-	-	-	-	$y = 1.618\ 4x - 0.231\ 2$	0.89	$y = 1.780\ 7x - 1.672\ 6$	0.88
红壤	$y = 1.627\ 6x - 0.140\ 8$	0.89	$y = 1.514\ 2x + 0.732\ 9$	0.94	-	-	-	-
黄红壤	$y = 1.641\ 9x - 0.241\ 9$	0.86	$y = 1.397\ 7x + 1.620\ 8$	0.92	-	-	-	-
红壤性土	$y = 1.587\ 3x + 0.235\ 5$	0.84	$y = 1.410\ 1x + 1.508\ 2$	0.90	-	-	-	-
黄壤亚类	$y = 1.549\ 4x + 0.267\ 3$	0.87	$y = 1.574\ 6x + 0.224\ 9$	0.88	$y = 1.545\ 4x + 0.412\ 6$	0.89	$y = 1.495\ 9x + 0.802\ 3$	0.91
黄壤性土	$y = 1.484\ 5x + 0.885\ 6$	0.87	$y = 1.567\ 4x + 0.243\ 9$	0.92	$y = 1.514\ 6x + 0.612\ 1$	0.91	$y = 1.429\ 1x + 2.263\ 1$	0.91
黑色石灰土	$y = 1.528\ 1x + 0.380\ 9$	0.85	$y = 1.687\ 5x - 0.767\ 9$	0.86	$y = 1.581\ 8x + 0.076\ 4$	0.88	-	-
黄色石灰土	$y = 1.639\ 6x - 0.265\ 4$	0.86	$y = 1.650\ 8x - 0.176\ 6$	0.89	$y = 1.624\ 7x - 0.409\ 9$	0.90	$y = 1.523\ 3x - 0.367\ 1$	0.86
红色石灰土	$y = 1.645\ 6x - 0.041\ 9$	0.88	$y = 1.611\ 5x - 0.187\ 6$	0.86	-	-	-	-
棕色石灰土	-	-	-	-	$y = 1.631\ 2x - 0.519\ 9$	0.89	$y = 1.655\ 9x - 0.202\ 0$	0.90
石灰性紫色土	$y = 1.578\ 3x + 0.151\ 6$	0.81	$y = 1.583\ 5x + 0.319\ 1$	0.89	$y = 1.383\ 4x + 2.001\ 5$	0.95	-	-
酸性紫色土	$y = 1.529\ 4x + 0.587\ 6$	0.82	$y = 1.599\ 1x - 0.022\ 6$	0.89	$y = 1.576\ 9x + 0.222\ 5$	0.87	$y = 1.468\ 1x + 0.129\ 1$	0.90
棕壤	-	-	-	-	-	-	$y = 1.586\ 6x + 0.403\ 3$	0.74
潜育型水稻土	-	-	$y = 1.745\ 6x - 1.254\ 3$	0.73	-	-	-	-
潜育型水稻土	$y = 1.605\ 4x + 0.986\ 0$	0.82	$y = 1.529\ 3x - 0.180\ 4$	0.87	$y = 1.514\ 2x - 0.076\ 9$	0.76	-	-
渗育型水稻土	$y = 1.645\ 0x + 1.583\ 6$	0.86	$y = 1.537\ 4x - 0.313\ 2$	0.88	$y = 1.474\ 7x + 0.311\ 8$	0.82	$y = 1.453\ 6x + 0.372\ 6$	0.92
脱潜型水稻土	$y = 1.578\ 9x + 2.511\ 9$	0.86	-	-	-	-	-	-
淹育型水稻土	$y = 1.583\ 3x + 8.102\ 1$	0.90	$y = 1.533\ 7x - 4.967\ 7$	0.89	-	-	-	-

注：“-”表示该类型土壤在相应海拔区间内由于斑块数量太少而无法建立周长-面积关系式。表 4 同。

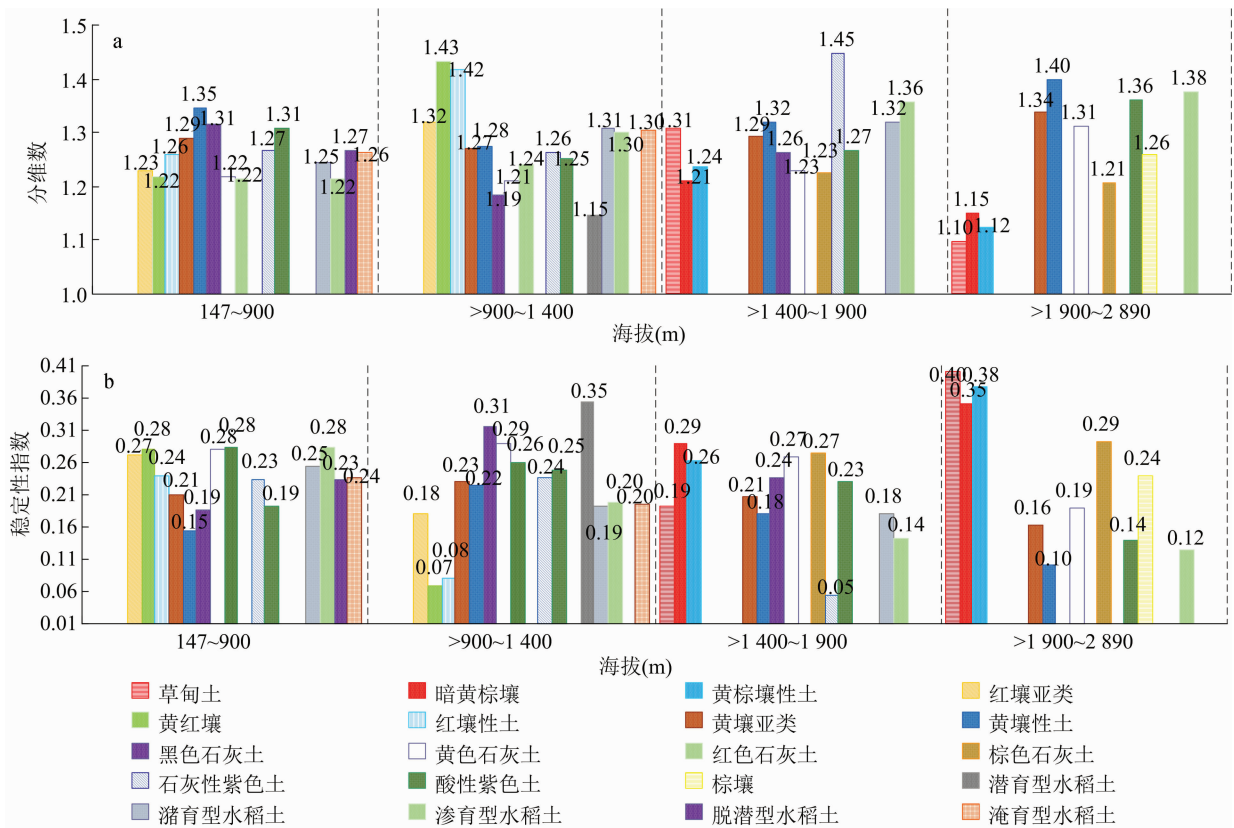


图3 不同海拔高度下各土壤类型的分维数和稳定性指数

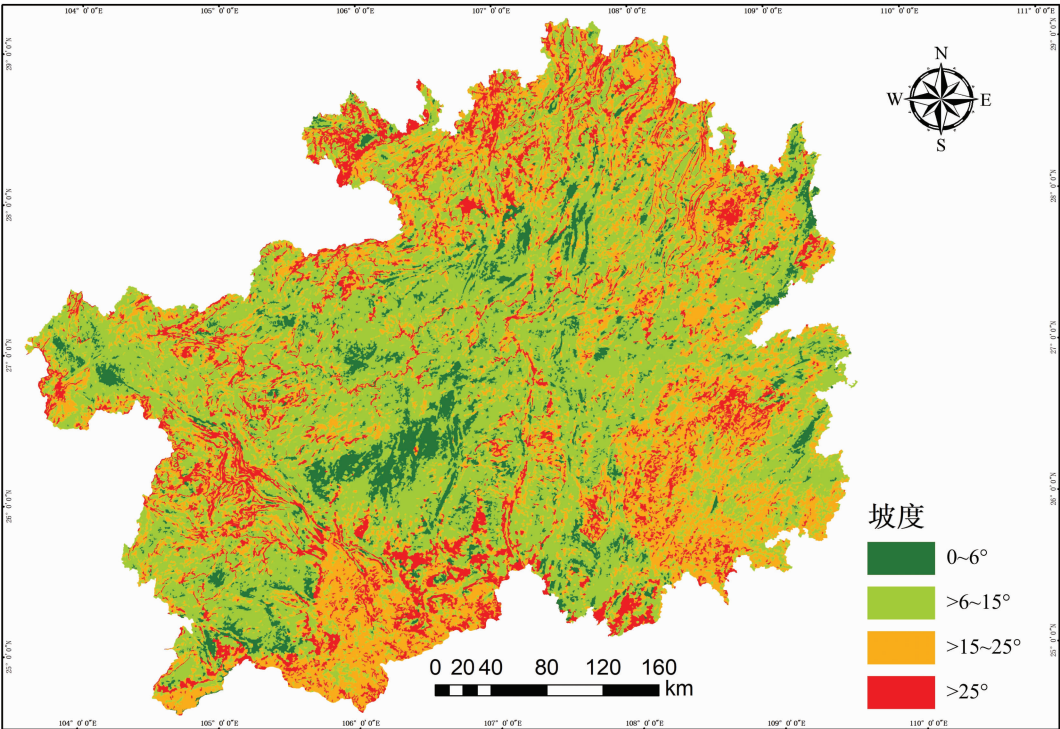


图4 贵州省坡度分级

表 3 不同坡度条件下各类型土壤的空间分布差异

土壤类型	0° ~6°			>6° ~15°			>15° ~25°			>25°		
	斑块数量 (个)	总面积 (km ²)	平均斑块 面积(km ²)	斑块数量 (个)	总面积 (km ²)	平均斑块 面积(km ²)	斑块数量 (个)	总面积 (km ²)	平均斑块 面积(km ²)	斑块数量 (个)	总面积 (km ²)	平均斑块 面积(km ²)
草甸土	10	23.01	2.30	63	335.03	5.32	56	182.96	3.27	28	106.04	3.79
暗黄棕壤	130	428.50	3.30	429	4 507.41	10.51	512	1 841.97	3.60	267	737.37	2.76
黄棕壤性土	29	37.88	1.31	315	1 815.03	5.76	343	1 274.11	3.71	190	614.32	3.23
红壤	45	285.59	6.35	249	1 267.03	5.09	242	2 321.14	9.59	171	426.64	2.49
黄红壤	113	394.71	3.49	627	4 058.04	6.47	678	4 737.54	6.99	315	708.85	2.25
红壤性土	32	67.35	2.10	212	894.89	4.22	236	2 013.60	8.53	168	602.69	3.59
黄壤亚类	911	3 776.18	4.15	2 520	24 665.89	9.79	2 749	15 177.58	5.52	1 455	4 889.36	3.36
黄壤性土	232	542.42	2.34	1 518	9 377.80	6.18	1 718	8 477.37	4.93	981	4 051.71	4.13
黑色石灰土	138	510.93	3.70	390	3 304.19	8.47	377	1 171.59	3.11	205	1 520.22	7.42
黄色石灰土	837	2 455.03	2.93	1 482	21 156.42	14.28	1 990	6 656.25	3.34	830	4 068.71	4.90
红色石灰土	34	64.12	1.89	69	627.07	9.09	86	260.01	3.02	28	206.38	7.37
棕色石灰土	74	130.47	1.76	178	2 594.84	14.58	222	616.70	2.78	102	300.71	2.95
石灰性紫色土	10	59.10	5.91	28	266.94	9.53	15	71.63	4.78	23	33.78	1.47
酸性紫色土	139	369.33	2.66	542	4 099.15	7.56	602	2 413.78	4.01	283	1 189.11	4.20
棕壤	13	24.41	1.88	47	277.16	5.90	35	95.51	2.73	16	31.64	1.98
潜育型水稻土	15	87.43	5.82	36	170.06	4.72	10	21.40	2.14	7	10.23	1.46
潜育型水稻土	255	1 768.28	6.93	796	3 839.06	4.83	517	1 184.53	2.29	179	332.03	1.85
渗育型水稻土	310	2 048.34	6.61	1 350	6 065.16	4.49	1 101	3 422.81	3.11	385	780.72	2.03
脱潜型水稻土	10	58.52	5.85	24	105.23	4.38	12	23.92	1.99	3	3.57	1.19
淹育型水稻土	11	90.36	8.21	25	94.99	3.80	19	42.54	2.24	2	2.32	1.16

好、分布最为集中。

2.2.2 不同坡度下土壤类型的分维数和稳定性指

数 由不同坡度条件下各土壤类型斑块的周长－面积关系式(表4)中的 r^2 可知,除了个别水稻土在

表 4 不同坡度区间下各类型土壤斑块的周长-面积关系

土壤类型	0°~6°		>6°~15°		>15°~25°		>25°	
	周长-面积关系	r^2	周长-面积关系	r^2	周长-面积关系	r^2	周长-面积关系	r^2
草甸土	$y=1.5805x+0.1386$	0.82	$y=1.5297x+0.8011$	0.88	$y=1.3744x+1.9938$	0.91	$y=1.4272x+1.4718$	0.94
暗黄棕壤	$y=1.4832x+0.9804$	0.93	$y=1.4315x+1.5990$	0.94	$y=1.3601x+2.1070$	0.89	$y=1.3533x+2.0055$	0.87
黄棕壤性土	$y=1.5593x+2.9662$	0.70	$y=1.4506x+1.3947$	0.93	$y=1.3899x+1.8635$	0.90	$y=1.3869x+2.1811$	0.90
红壤	$y=1.3728x+1.1681$	0.97	$y=1.4416x+1.4374$	0.93	$y=1.4695x+2.0509$	0.95	$y=1.3238x+2.4603$	0.89
黄红壤	$y=1.3988x+0.6092$	0.93	$y=1.4236x+1.5813$	0.93	$y=1.5342x+1.8117$	0.94	$y=1.3641x+2.0760$	0.88
红壤性土	$y=1.4307x+3.3706$	0.83	$y=1.4659x+1.2292$	0.91	$y=1.5148x+1.6844$	0.94	$y=1.4199x+1.5285$	0.92
黄壤亚类	$y=1.4111x+1.4671$	0.92	$y=1.4359x+1.7412$	0.95	$y=1.3564x+2.1540$	0.92	$y=1.3259x+2.3594$	0.90
黄壤性土	$y=1.4314x+1.4964$	0.86	$y=1.4405x+1.4644$	0.93	$y=1.3667x+2.0927$	0.92	$y=1.3695x+1.9981$	0.91
黑色石灰土	$y=1.4817x+1.1557$	0.91	$y=1.4836x+1.1837$	0.92	$y=1.4252x+1.6683$	0.89	$y=1.5672x+0.3762$	0.94
黄色石灰土	$y=1.4549x+1.3037$	0.89	$y=1.4237x+1.6955$	0.95	$y=1.3543x+2.1782$	0.88	$y=1.3664x+2.0433$	0.91
红色石灰土	$y=1.5059x+0.8551$	0.82	$y=1.3914x+1.9952$	0.96	$y=1.3510x+2.3315$	0.87	$y=1.3901x+1.9817$	0.93
棕色石灰土	$y=1.4758x+1.0791$	0.86	$y=1.4951x+1.0624$	0.94	$y=1.3365x+2.3201$	0.88	$y=1.4068x+1.6463$	0.85
石灰性紫色土	$y=1.4694x+0.3342$	0.95	$y=1.5727x+1.2567$	0.97	$y=1.3858x+3.4669$	0.85	$y=1.3692x+0.9490$	0.89
酸性紫色土	$y=1.3980x+0.9438$	0.91	$y=1.4978x+1.8707$	0.93	$y=1.3555x+2.1422$	0.91	$y=1.3355x+2.2897$	0.90
棕壤	$y=1.3884x+1.7756$	0.92	$y=1.4475x+1.4599$	0.94	$y=1.3265x+2.2417$	0.89	$y=1.3402x+2.2575$	0.88
潜育型水稻土	$y=1.5428x+0.6610$	0.88	$y=1.4361x+2.4843$	0.95	$y=1.3848x+3.5879$	0.90	-	-
潜育型水稻土	$y=1.4875x+1.9085$	0.87	$y=1.4485x+1.4476$	0.90	$y=1.3599x+2.0948$	0.83	$y=1.3460x+2.9630$	0.82
渗育型水稻土	$y=1.4989x+1.7942$	0.88	$y=1.4374x+1.5316$	0.90	$y=1.4082x+1.7046$	0.89	$y=1.3662x+2.0311$	0.84
脱潜型水稻土	$y=1.3932x+3.2042$	0.85	$y=1.3748x+2.1160$	0.86	$y=1.3566x+0.9439$	0.88	-	-
淹育型水稻土	$y=1.4122x+0.1213$	0.95	$y=1.4016x+3.3039$	0.91	$y=1.3976x+1.5141$	0.90	-	-

>25°区域由于数量太少无法建立周长-面积关系外,不同坡度条件下各类型土壤均存在不同程度的分形特征。

由图 5 可知,红壤(红壤亚类、黄红壤、红壤性土)、黄壤(黄壤亚类、黄壤性土)、紫色土(石灰性紫色土和酸性紫色土)、棕色石灰土和棕壤的分维数均随坡度增加表现出先减小再增加的趋势,其中红壤在坡度>15°~25°间的稳定性指数最高、斑块镶嵌结构最简单,而黄壤、紫色土、棕色石灰土和棕壤则以>6°~15°间的分维数最小,稳定性程度最好;随坡度增加,黄棕壤(暗黄棕壤和黄棕壤性土)和水稻土(潜育型水稻土、潜育型水稻土、渗育型水稻土、脱潜型水稻土、淹育型水稻土)表现出分维数逐渐增大而稳定性指数逐渐减小的趋势,而草甸土、黑色石灰土、黄色石灰土和红色石灰土的分维数则表现出先增加再减小的特点,且均以坡度>15°~25°间的分维数最大、斑块破碎程度最高。

3 讨论与结论

土壤在地理上的分布,既受生物气候条件的影响,在大尺度上表现出水平分布规律和垂直分异规

律,又与区域性成土因素相适应表现出中域或微域分布规律。贵州自然地理环境具有过渡性、复杂性和特殊性的特点,因而反映在土壤类型和分布上也具有区域性^[16]。

本研究表明,贵州省土壤在不同海拔和坡度条件下,其空间分布具有明显的差异性。其中红壤在海拔147~900 m、坡度>15°~25°间的分布面积最大、稳定性指数最高,这是由于红壤是在长期高温和干湿季交替条件下形成的土壤,而贵州省在海拔900 m以下、坡度>15°~25°地区水热组合条件好,冬季短、夏季炎热且长,属于亚热带,因此有利于红壤的形成^[17]。黄壤作为贵州省面积最大的地带性土壤,其发育的地形地貌多样^[18],从黔西北1900 m的中山到黔中1000 m的高原面再到东南部海拔500 m左右的丘陵均有分布,但本研究发现黄壤分布最集中连片的属中海拔(>900~1400 m)、地势较缓(>6°~15°)的高原的主体部分,原因在于中部高原区地势较平缓,在温和湿润和常绿阔叶林生物气候条件下,土壤有机质含量较为丰富、铁铝含量高,多演化为黄壤^[12]。草甸土、黄棕壤和棕壤均在海拔>1900~2890 m的分布面积最大、连片性

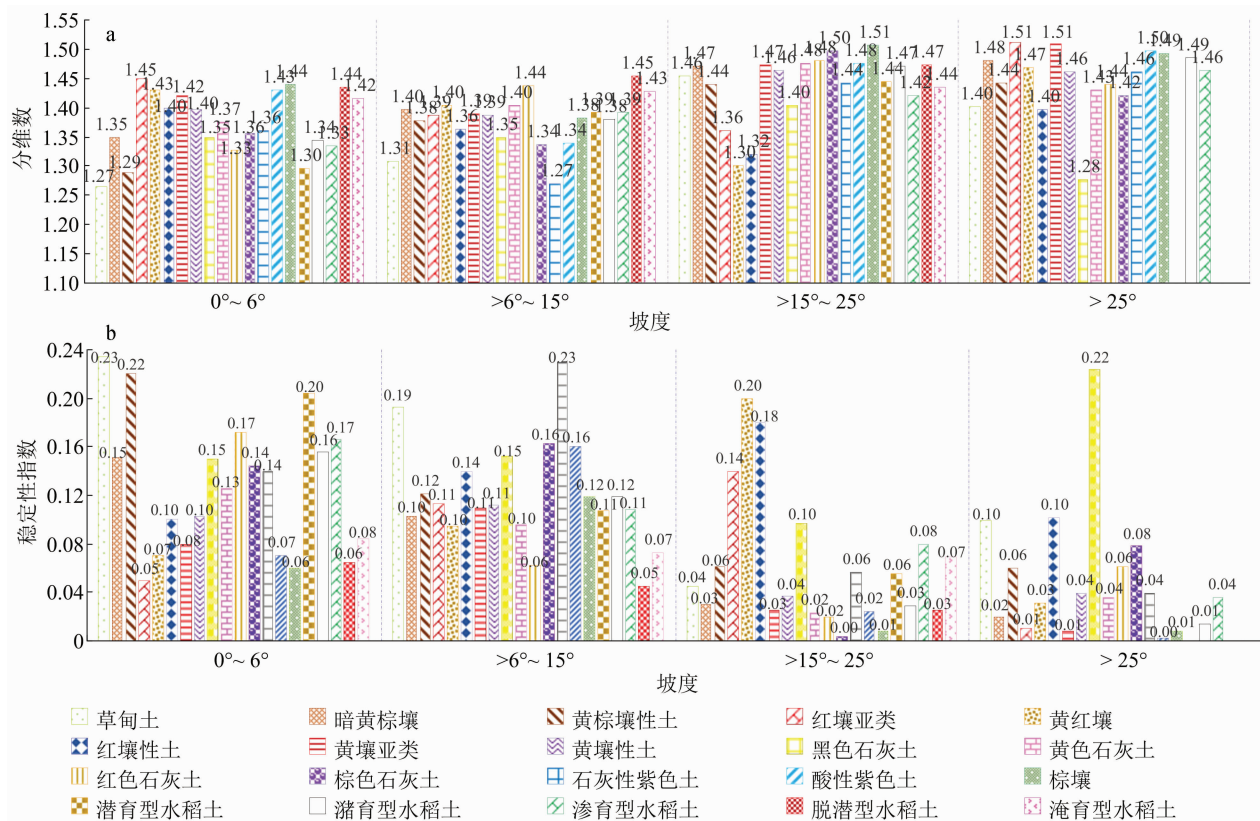


图5 不同坡度条件下各类型土壤的分维数和稳定性指数

最好、斑块结构最简单,这是由于 $>1\,900 \sim 2\,890\text{ m}$ 为贵州海拔最高地区,该区冬季受西南暖流的影响,气候干燥降水少,夏季降水多,具有干湿季节明显的特点,由于海拔高而气温低,有利于黄棕壤的累积黏化过程,因此大面积发育的地带性土壤为黄棕壤^[16,19]。棕壤和草甸土是贵州省土壤垂直带中位于黄棕壤之上的地带性土壤,其中草甸土多分布在气候冷凉、风大雾多,海拔在 $1\,900\text{ m}$ 以上的山地垂直带的上部,而棕壤仅分布于黔西北海拔 $2\,400\text{ m}$ 以上的地段^[20];由于黄棕壤发育程度较差、分布地形部位陡峭,而草甸土多位于地形较平坦的山顶^[16],所以在 $0^\circ \sim 6^\circ$ 之间草甸土和黄棕壤的分维数最小、斑块破碎度最低,而棕壤则在 $>6^\circ \sim 15^\circ$ 间的分维数最小,斑块镶嵌结构最简单。

除地带性土壤外,贵州省还广泛分布着石灰土、紫色土和水稻土等非地带性土壤。其中红色石灰土以海拔 $147 \sim 900\text{ m}$ 、坡度 $>6^\circ \sim 15^\circ$ 间的分布面积最大、连片性最好,且随海拔和坡度增加其分维数也逐渐增大,原因在于红色石灰土发育程度较好,其分布片区与红壤类似,多分布于海拔较低、地势较缓的河谷地带^[16];分维数表明黄色石灰土在 $0^\circ \sim 6^\circ$ 间的斑块结构最简单,而黑色石灰土则在 $>25^\circ$ 地

区复杂度更低,但两者均在海拔 $>900 \sim 1\,400\text{ m}$ 、坡度 $>6^\circ \sim 15^\circ$ 之间的分布面积最大、连片性最好,这主要是由于 $>900 \sim 1\,400\text{ m}$ 属于贵州中部的高原季风温和湿润气候,有利于黑色石灰土和黄色石灰土形成,其中黑色石灰土较黄色石灰土的发育程度差、土层薄,零星而又广泛地分布于植被盖度较好的山体中部区域^[16],所以其在 $>25^\circ$ 区域稳定性程度均高于其他亚类土壤;棕色石灰土在海拔 $1\,900\text{ m}$ 以上的平均斑块面积最大、分维数最小、斑块连片性好,而在不同度区间其分维数变化较大,其原因是在贵州省 $1\,900\text{ m}$ 以上北亚热带温良湿润气候环境里的矮化落叶阔叶林植被作用下,有利于棕色石灰土的形成发育,但由于岩溶山区地势起伏大,且棕色石灰土在地域上多呈斑块状镶嵌于其他地带性土壤之中^[16],因而其分维数变化较大。紫色土在海拔 $>900 \sim 1\,400\text{ m}$ 、坡度 $>6^\circ \sim 15^\circ$ 之间的分布面积最大、连片性最好、斑块构成较为简单,原因在于紫色土母岩疏松、具有快速物理崩解和频繁的侵蚀过程,在海拔较高、坡度陡的地区,由于土层浅薄、水土流失快风化也快,紫色土易向下滑落,因而多分布于地势较缓的丘陵地貌区^[16]。水稻土是水耕熟化过程作用下形成的一类耕作土壤^[21],由于低海

拔地势较缓地区水热条件较为丰富、有利于人类开发利用,因此贵州省水稻土大部分分布在海拔 147 ~ 900 m、坡度 $\leq 25^\circ$ 的地区,仅在西部地区最高可分布于 2 300 m 以上。但由于贵州岩溶地貌发育典型、且整体水热条件较好,适于水稻土发育,所以在不同坡度区间均有水稻土分布,如在 $> 25^\circ$ 的坡耕地地区,由于水土冲刷强烈、水源缺乏加之运肥困难,也会形成淹育型水稻土;在低洼槽谷区由于积水难排,易形成潜育性水稻土;在山谷或山冲地段,稻田由于岩溶地下水的入侵或者山坡裂隙水的影响,常形成冷烂田。

4 展望

在贵州省不同海拔和坡度条件下,主要土壤类型分形结构特征差异明显,土壤类型的连片性和分维数在一定程度上能够反映出贵州山区主要土壤类型发生发育的最佳地形条件。在不同海拔和坡度条件下,贵州主要土壤类型呈现一定的空间分布规律。

贵州省低海拔(147 ~ 900 m)地区有利于红壤、红色石灰土和水稻土的发育,但红壤所处坡度较水稻土和红色石灰土要高,因此在低海拔地势平坦地区可种植水稻及其他对水热条件要求较高的农作物,而在坡度较陡地区则可因地制宜发展旱粮牛马果及防护林等产业。

中海拔($> 900 \sim 1\ 400$ m)地区水热条件较好,多以黄壤、黄色石灰土、紫色土和黑色石灰土发育最为典型,其中发育程度最差的黑色石灰土所处坡度较其他 3 种土壤要陡,因此地势较缓的黄壤和酸性紫色土地区可发展茶、马铃薯、花生和天麻等喜酸作物,而在地势较陡的碱性土壤地区则可规模化种植辣椒、烤烟、油菜以及油桐等作物,在坡度大于 25° 、水土流失和石漠化严重地区则可发展以生态保护为主的旅游产业。

草甸土、黄棕壤、棕色石灰土和棕壤在贵州省土壤总面积中只占了一小部分,且多发育于贵州省海拔在 1 900 m 以上的西北地区,该地区气候冷凉,所以产业升级可向猪牛羊等畜牧业方向发展。

贵州作为典型山地省份,在今后土壤资源利用和定向培育中,应充分考虑不同海拔与坡度条件下土壤类型的空间分布特征,秉承新发展理念,结合贵州省 12 个农业特色优势产业(茶叶、食用菌、蔬

菜、牛羊、特色林业、水果、生猪、中药材、刺梨、生态渔业、辣椒、生态家禽),因地制宜合理利用土壤资源,发挥区域优势,形成区域特色,让宝贵的土壤资源更好服务于实际需求。

参考文献:

- [1]禹朴家,徐海量,乔木,等.玛纳斯河流域土壤类型空间分布格局分析[J].土壤学报,2010,47(6):1050-1059.
- [2]赵其国,史学正.土壤资源概论[M].北京:科学出版社,2007.
- [3]张淑杰,朱阿兴,刘京,等.基于样点的数字土壤属性制图方法及样点设计综述[J].土壤,2012,44(6):917-923.
- [4]张佳瑞,王金满,祝宇成,等.分形理论在土壤学应用中的研究进展[J].土壤通报,2017,48(1):221-228.
- [5]朱晓华,杨秀春,蔡运龙.中国土壤空间分布的分形与分维[J].土壤学报,2005,42(6):881-888.
- [6]王艳艳,何雨江.土壤分形结构对其水力性质的指示作用[J].地学前缘,2019,26(6):66-74.
- [7]白一茹,汪有科.黄土丘陵区土壤粒径分布单重分形和多重分形特征[J].农业机械学报,2012,43(5):43-48,42.
- [8]王卫华,龙小军.土壤粒径分布单重分形与孔隙单重分形[J].中国土壤与肥料,2018(4):55-59.
- [9]任红玉,赵宇鸾,葛玉娟.喀斯特山区耕地细碎化与地貌类型的空间关联性——以贵州修文县为例[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2020,38(04):1-9.
- [10]江新荣.贵州不同海拔高度地形台面及其地貌组合特征[J].贵州师范大学学报(自然科学版),1990,8(2):12-16.
- [11]谢静,何冠谛,何腾兵.贵州气候因素对土壤类型及分布的影响[J].浙江农业科学,2015,56(4):510-514.
- [12]陈默涵,何腾兵,黄会前.贵州地形地貌对土壤类型及分布的影响[J].贵州大学学报(自然科学版),2016,33(5):14-16,35.
- [13]王宏志,潘方杰,周勇,等.异质景观条件下江汉平原土壤的空间分异[J].生态学报,2016,36(18):5682-5690.
- [14]《贵州省农业地貌区划》编写组.贵州省农业地貌区划[M].贵阳:贵州人民出版社,1989.
- [15]汤国安,宋佳.基于DEM坡度图制图中坡度分级方法的比较研究[J].水土保持学报,2006,20(2):157-160,192.
- [16]贵州省土壤普查办公室.贵州省土壤[M].贵阳:贵州科技出版社,1994.
- [17]邹国础.贵州土壤的发生特性及分布规律[J].土壤学报,1981,18(1):11-23.
- [18]秦松,范成五,孙锐锋.贵州土壤资源的特点、问题及利用对策[J].贵州农业科学,2009,37(5):94-98.
- [19]苏金成,王小兵,汪晓丽,等.不同钝化剂对镉污染黄壤和棕壤的钝化效果[J].江苏农业科学,2021,49(3):192-198.
- [20]《贵州省综合农业区划》编委会.贵州土壤资源及其利用[J].贵州农业科学,1980(6):1-5.
- [21]汪汾,汪远品,何腾兵,等.贵州省潜育型水稻土主要发生性态的初步研究[J].土壤通报,1985(4):169-174.