



赵娜,罗绪强,张桂玲,等.喀斯特高原退化植物群落常见灌木叶片 SPAD 值变异特征[J].黑龙江农业科学,2019(12):36-44.

喀斯特高原退化植物群落常见灌木叶片 SPAD 值变异特征

赵娜¹,罗绪强^{1,2,3},张桂玲^{2,3},王绍英¹,马浪¹,赵超超¹,阮英慧¹,刘兴^{1,2,3}

(1. 贵州师范学院 地理与资源学院,贵州 贵阳 550018;2. 中国科学院 普定喀斯特生态系统观测研究站,贵州 普定 562100;3. 贵州师范学院 贵州省流域地理国情监测重点实验室,贵州 贵阳 550018)

摘要:为促进喀斯特高原地区生态环境保护及植被恢复,以贵州清镇王家寨小流域内不同演替阶段植物群落中的 6 种常见灌木为研究对象,分别对这 6 种灌木叶片的 SPAD 值进行了测定分析。结果表明:研究区植物叶片 SPAD 值变化范围在 14.43~47.70,平均值为 23.84。各演替阶段植物群落常见灌木叶片 SPAD 值的平均值表现为灌木林(29.04)>灌草丛(25.96)>灌草丛(25.92)>乔灌木林(19.90)>乔木林(18.36)。植物叶片 SPAD 值在不同演替阶段植物群落之间差异显著($P=0.000$),但在各群落内部均较稳定,表明研究区植物叶片 SPAD 值的改变在一定程度上是对生境条件变化的响应。6 种灌木叶片的 SPAD 值在种内的变化均不明显,但在种间的差异却比较显著($P<0.05$),说明树种是影响研究区植物叶片 SPAD 值大小的重要因子。植物种、群落类型对研究区植物叶片 SPAD 值均有显著影响($P=0.000$)并产生了强烈的交互作用($P=0.000$)。研究区灌木林群落中的植物光合能力最强、生境条件最好,灌木林群落是喀斯特退化生态系统植被恢复演替的关键阶段。

关键词:喀斯特高原;退化植物群落;灌木;叶绿素含量;SPAD 值;变异特征

叶片是植物进行光合作用的最主要器官^[1]。叶片中的叶绿素是绿色植物最重要的光合色素,它是植物吸收光能进行光合作用的物质基础^[2-4],不仅能衡量植物的光合能力、生理代谢水平及营养状况,也是反映植株健康状态和植物生境条件的重要指标^[5-9]。

叶绿素含量测定的传统方法是分光光度法,该方法测定的是叶绿素的绝对含量值,可以准确地测量叶绿素的含量,但需要野外采样后在室内进行,操作繁杂,成本较高,费时费力,时效性差,且会损伤植物叶片破坏植株生长,尤其是在样品需求量较大的生理生态学研究,不利于数据的获取和研究工作的顺利开展^[9-12]。SPAD 值也称作绿色度,是一个无量纲的比值,数值范围为 0~99.9,可用 SPAD 叶绿素仪测得^[13-16]。采用

SPAD 叶绿素仪测定叶绿素相对含量具有不破坏植物叶片,不受时间、气候等条件的限制,可进行连续追踪测量,能达到适时实地测定和长期监测的目的^[2,17-21]。

SPAD 值与叶绿素含量显著相关^[8,17,22-23],是反映植物叶绿素相对含量的指标^[24-25]。已有大量研究表明,一定条件下,可以用 SPAD 值代替叶绿素的绝对含量值进行植株光合能力、健康状态及其生境条件等方面的分析评估^[26-32]。近年来,SPAD 值已被科研工作者广泛用作植物功能性状特性的重要指标,但大多侧重于作物上,在林业上的研究报道并不常见^[27,33-36],在喀斯特植物群落演替方面的研究更是鲜见报道^[37]。本研究选取喀斯特高原贵州省清镇市王家寨峰丛洼地小流域内不同演替阶段植物群落中的 6 种常见灌木为研究对象,分别对其叶片 SPAD 值进行了测定分析,探讨了影响植物叶片 SPAD 值的主要因素及其对环境变化的响应,以期为喀斯特退化生态系统的生态环境保护 and 植被恢复提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

研究对象位于喀斯特高原区的贵州省清镇市

收稿日期:2019-07-20

基金项目:国家自然科学基金(41563007);国家级大学生创新训练项目(201814223003);贵州省高等院校大学生创新训练项目(2018520459);贵州省优秀青年科技人才培养对象专项资金项目(黔科合人字[2015]21 号);贵州省高层次创新型人才资金项目(黔人领发[2015]3 号)。

第一作者简介:赵娜(1998-),女,在读学士,专业为农业资源与环境。E-mail: 3082054232@qq.com。

通讯作者:罗绪强(1976-),男,博士,教授,从事生态环境地球化学研究。E-mail: xuqiangluo@163.com。

红枫湖镇簸箕村王家寨小流域^[38-42]。在流域内选取乔木林、乔灌林、灌木林、草灌丛和灌草丛各个演替阶段植物群落中均比较常见的火棘(*Pyracantha fortuneana*)、竹叶椒(*Zanthoxylum planispinum*)、鼠李(*Rhamnus davurica*)、烟管荚蒾(*Viburnum utile*)、粉枝莓(*Rubus biflorus*)和小果蔷薇(*Rosa cymosa*)共 6 种灌木植物作为具体的研究对象。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 参照文献[37],在灌草丛、草灌丛和灌木林群落中分别选取 200 m²的样方作为试验样地,在乔灌林和乔木林群落中分别选取 300 m²的样方作为试验样地,各试验样地均设置在群落中部位位置。同种植物在不同演替阶段植物群落内均选取树龄相当、高度相当且同一朝向(正南方向)的当年生的成熟、健康叶片进行 SPAD 值测定。

1.2.2 测定项目及方法 采用 TYS-3N 型植株养分速测仪(浙江托普仪器有限公司)测定植物叶片 SPAD 值^[37]。测定前,先用 5337 型高压喷雾器(上海沃施园艺股份有限公司)直接喷射待测植株叶片,将叶片上的尘土或其他杂质去除,再用海绵轻拭叶片后取叶中部且无叶脉集中部位进行测量。同一群落中每种植物测量 3 株,每株植物测量 5 片叶(同一叶片重复测量 3 次)后取平均值代表该植株测定结果。测定工作于 2018 年 9 月 15 日当天全部完成。

1.2.3 数据分析 数据采用 Excel 2010 进行初步整理,用 IBM SPSS Statistics 19 完成统计分析。统计分析包括描述性分析和方差分析。

2 结果与分析

2.1 植物叶片 SPAD 值的总体分布特征

由表 1 可知,研究区 6 种灌木叶片的 SPAD 值主要分布在 14.43~47.70,平均值为 23.84,均值的标准误差为 0.82,标准偏差为 7.81,全距为 33.27,变异系数为 32.78%,有 67.8%的数据分布在 15.0~25.0,频数分布曲线的偏度值和峰度值分别为 1.16 和 0.48,表明研究区常见灌木叶片的 SPAD 值分布较集中,呈正偏态分布。

2.2 植物叶片 SPAD 值的群落变异特征

表 1 列出了不同群落植物叶片的 SPAD 值,从表中可以看出,研究区各演替阶段植物群落常见灌木叶片 SPAD 值的平均值表现为灌木林(29.04)>草灌丛(25.96)>灌草丛(25.92)>乔灌林(19.90)>乔木林(18.36),差异显著($P=0.000$,表 2)。多重比较分析结果表明,该流域内各群落中的常见灌木叶片 SPAD 值在灌草丛与乔灌林、灌草丛与乔木林、草灌丛与乔灌林、草灌丛与乔木林、灌木林与乔灌林、灌木林与乔木林之间均存在显著性差异($P<0.05$,表 1),按同类子集可将其分为乔木林—乔灌林群落($P=0.502$)、灌草丛—草灌丛—灌木林群落($P=0.200$)共 2 类。从偏度值和峰度值可以看出,流域内的草灌丛、灌木林、乔灌林和乔木林群落植物叶片的 SPAD 值均呈正偏态分布,灌草丛群落中的植物叶片 SPAD 值呈负偏态分布,植物叶片 SPAD 值最接近正态分布的是灌草丛群落和乔木林群落。从表 1 还可以看出,研究区各群落内部灌木叶片 SPAD 值的最大值与最小值之比和变异系数均较小,说明各演替阶段植物叶片的 SPAD 值均较稳定^[37]。

表 1 不同群落植物叶片 SPAD 值
Table 1 Leaf SPAD values of different plant communities

群落 Community	样本数 Number of samples	平均值 Average	最大值 Max	最小值 Min	中值 Mid-value	标准偏差 Standard deviation	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	最大值/ 最小值 Max/Min	变异系数 CV/%
灌草丛	18	25.92 a	35.15	16.63	26.19	4.97	-0.06	-0.40	2.11	19.17
草灌丛	18	25.96 a	39.45	15.55	20.58	9.28	0.41	-1.74	2.54	35.75
灌木林	18	29.04 a	47.70	14.43	26.68	10.48	0.34	-1.27	3.31	36.09
乔灌林	18	19.90 b	24.83	15.87	19.77	2.34	0.68	0.35	1.56	11.76
乔木林	18	18.36 b	22.20	14.55	18.34	2.65	0.08	-1.54	1.53	14.43

注:表中同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著($P<0.05$),下同。
Note: Different lowercase letters within the same column indicate statistical significant difference ($P<0.05$), the same below.

表 2 群落间植物叶片 SPAD 值的方差分析
Table 2 Variance analysis on SPAD values
of plant leaves among communities

群落 Community	离差平方和 Sum of deviation squares	自由度 <i>df</i>	均方 MS	F	P
组间	1466.72	4	366.68	7.86	0.000
组内	3965.74	85	46.66		
总数	5432.46	89			

注:表中 *P* 值小于 0.05 表示差异显著,下同。
Note: *P* < 0.05 means significant statistical difference, the same below.

2.3 植物叶片 SPAD 值的种间差异特征

2.3.1 流域层面的种间差异特征 从表 3 可以看出,研究区不同种灌木叶片 SPAD 值的平均值表现为烟管荚蒾(30.50) > 鼠李(25.57) > 小果蔷薇

表 3 不同种植物叶片 SPAD 值

Table 3 Leaf SPAD values of different plant species

植物种 Plant species	样本数 Plant species	平均值 Average value	最大值 Max	最小值 Min	中值 Mid-value	标准偏差 Standard deviation	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	最大值/ 最小值 Max/Min	变异系数 CV/%
竹叶椒	15	23.05 ab	35.15	17.58	20.65	5.34	1.49	0.95	2.00	23.19
火棘	15	21.51 ab	31.78	17.74	20.50	3.90	1.92	3.33	1.79	18.15
鼠李	15	25.57 bc	37.97	14.55	21.38	8.88	0.42	-1.66	2.61	34.75
烟管荚蒾	15	30.50 c	47.70	18.98	24.83	10.05	0.56	-1.47	2.51	32.96
粉枝莓	15	19.04 a	27.49	14.43	17.41	4.47	1.33	0.34	1.91	23.49
小果蔷薇	15	23.35 ab	35.35	15.10	18.42	7.89	0.51	-1.48	2.34	33.78

表 4 不同种植物叶片 SPAD 值的方差分析
Table 4 Variance analysis on SPAD values
of plant leaves among species

群落 Community	离差平方和 Sum of deviation squares	自由度 <i>df</i>	均方 MS	F	P
组间	1149.43	5	229.89	4.51	0.001
组内	4283.03	84	50.99		
总数	5432.46	89			

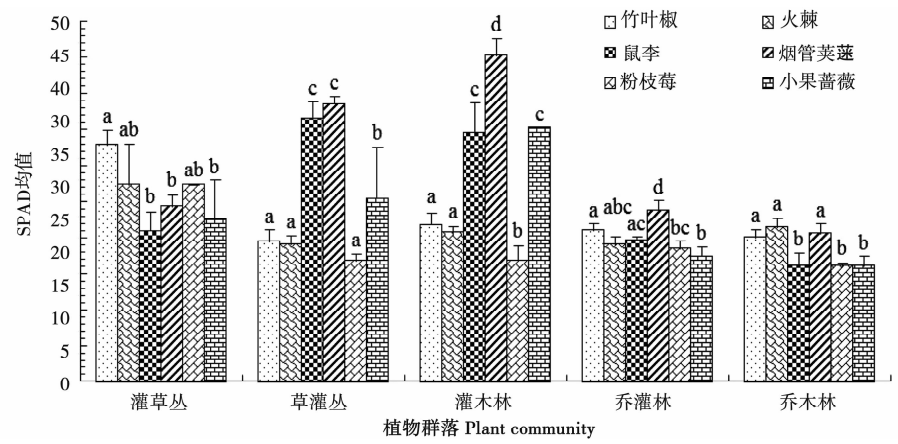
2.3.2 群落层面的种间差异特征 从图 1 可以看出,研究区灌丛群落中各灌木叶片 SPAD 值的平均值表现为竹叶椒(32.95) > 粉枝莓(27.30) > 火棘(27.29) > 烟管荚蒾(24.34) >

薇(23.35) > 竹叶椒(23.05) > 火棘(21.51) > 粉枝莓(19.04),种间差异显著(*P* = 0.001,表 4)。多重比较分析结果表明,该流域内的灌木叶片 SPAD 值在竹叶椒与烟管荚蒾、火棘与烟管荚蒾、鼠李与粉枝莓、烟管荚蒾与粉枝莓、烟管荚蒾与小果蔷薇之间均存在显著性差异(*P* < 0.05,表 3),按同类子集可将其分为粉枝莓—火棘—竹叶椒—小果蔷薇(*P* = 0.136)、火棘—竹叶椒—小果蔷薇—鼠李(*P* = 0.161)、鼠李—烟管荚蒾(*P* = 0.062)共 3 类。从偏度值和峰度值可以看出,火棘、竹叶椒、鼠李、烟管荚蒾、粉枝莓和小果蔷薇 6 种灌木叶片的 SPAD 值均呈正偏态分布。从表 3 还可以看出,研究区各种灌木叶片 SPAD 值的最大值与最小值之比和变异系数均较小,说明在流域层面上,这些植物的叶片 SPAD 值在物种内均较稳定。

小果蔷薇(22.68) > 鼠李(20.95),种间差异显著(*P* = 0.016),按同类子集可分为鼠李—小果蔷薇—烟管荚蒾—火棘—粉枝莓(*P* = 0.066)、火棘—粉枝莓—竹叶椒(*P* = 0.084)共两类。草灌丛群落中各灌木叶片 SPAD 值的平均值表现为烟管荚蒾(38.55) > 鼠李(36.55) > 小果蔷薇(25.41) > 竹叶椒(19.48) > 火棘(19.04) > 粉枝莓(16.75),种间差异显著(*P* = 0.000),按同类子集可分为粉枝莓—火棘—竹叶椒(*P* = 0.351)、小果蔷薇(*P* = 1.000)、鼠李—烟管荚蒾(*P* = 0.470)共 3 类。灌木林群落中各灌木叶片 SPAD 值的平均值表现为烟管荚蒾(45.21) > 小果蔷薇(35.21) > 鼠李(34.53) > 竹叶椒(21.81) > 火棘(20.77) > 粉枝莓(16.71),种间差异显著(*P* =

0.000),按同类子集可分为粉枝莓($P=1.000$)、火棘—竹叶椒($P=0.583$)、鼠李—小果蔷薇($P=0.719$)、烟管荚蒾($P=1.000$)共 4 类。乔灌林群落中各灌木叶片 SPAD 值的平均值表现为烟管荚蒾(23.81)>竹叶椒(21.01)>鼠李(19.69)>火棘(19.02)>粉枝莓(18.44)>小果蔷薇(17.40),种间差异显著($P=0.000$),按同类子集可分为小果蔷薇—粉枝莓—火棘($P=0.121$)、粉枝莓—火棘—鼠李($P=0.223$)、火棘—鼠李—

竹叶椒($P=0.063$)、烟管荚蒾($P=1.000$)共 4 类。乔木林群落中各灌木叶片 SPAD 值的平均值表现为火棘(21.44)>烟管荚蒾(20.57)>竹叶椒(20.01)>鼠李(16.11)>小果蔷薇(16.06)>粉枝莓(15.98),种间差异显著($P=0.000$),按同类子集可分为粉枝莓—小果蔷薇—鼠李($P=0.905$)、竹叶椒—烟管荚蒾—火棘($P=0.215$)共 2 类。



相同植物群落柱上不同小写字母表示植物叶片 SPAD 值种间差异显著($P<0.05$)

Different lowercase letters on columns within the same community mean statistical significant difference($P<0.05$)

图 1 不同群落中各植物叶片 SPAD 值(平均值±标准偏差)

Fig.1 Leaf SPAD values of different plant species in different communities (mean±SD)

3 结论与讨论

树种是影响植物叶片 SPAD 值的重要因子之一^[21,43]。研究区火棘、竹叶椒、鼠李、烟管荚蒾、粉枝莓和小果蔷薇 6 种灌木叶片 SPAD 值在种内均较稳定,但种间差异无论在群落间还是在群落内均较显著($P<0.05$),说明植物 SPAD 值与物种有关,植物叶绿素含量受其自身遗传特性的影响,这与前人的研究结果一致^[28,37]。

生境条件是影响植物叶片 SPAD 值的另一个重要因子^[28-32]。生境的变化,可能引起植物生长区元素供给状况和水热条件的改变^[44-45],从而影响植物光合作用等生理生态过程^[46-48],一定程度上,植物叶片 SPAD 值的改变是对其生境条件的响应^[28-29,37]。研究区常见灌木叶片 SPAD 值在各群落内部均较稳定,但在群落间差异显著($P=0.000$),且相对其他演替阶段群落中的植物而言,灌木林群落中的植物叶片 SPAD 值最大,表明灌木林群落植物叶片叶绿素的相对含量最

高^[8,18,22],该群落中的植物光合能力最强、生境条件最好^[21,26-30],这也从另一角度说明了灌木林群落是喀斯特退化生态系统植被恢复演替过程中的关键阶段。

影响植物叶片 SPAD 值的因子之间往往存在交互作用^[7,37]。为了解研究区物种因素和生境条件对植物叶片 SPAD 值的交互影响情况,建立以植物种和群落类型为控制变量,植物叶片 SPAD 值为观测变量的固定效应饱和模型来进行影响植物叶片 SPAD 值的多因素方差分析。结果表明,研究区常见灌木叶片 SPAD 值受植物种和群落类型的交互影响极显著($P=0.000$)。从多因素方差模型对观测变量数据的总体拟合程度来看^[37],该模型对数据的拟合程度较好($R^2=0.931$,调整的 $R^2=0.898$),说明研究区植物叶片 SPAD 值主要受物种因素和生境条件的影响。另外,研究区群落类型、物种均对植物叶片 SPAD 值有显著影响并产生交互作用,植物叶片 SPAD 值在各演替阶段群落内部均较稳定,而在不同群

落之间有显著差异($P < 0.05$),说明研究区植物叶片 SPAD 值的变异受生境条件的影响更大,这与前人的研究结果基本一致^[37]。

参考文献:

- [1] 赵明珠,白学慧,张洪波,等.云南咖啡主要种植区咖啡树 SPAD 值比较及气候相关分析[J].热带农业科技,2018,41(1):22-27.
- [2] 王冰,华佳文,李娅翔,等.不同绿化树种叶片叶绿素 SPAD 值对比研究[J].黑龙江农业科学,2015(11):111-114.
- [3] 武改红,冯美臣,杨武德,等.冬小麦叶片 SPAD 值高光谱估测的预处理方法[J].生态学杂志,2018,37(5):1589-1594.
- [4] 赵琨,王珺珂,王楚锋,等.基于高光谱成像技术的油菜 SPAD 值空间分布预测及最佳测量叶位[J].华中农业大学学报,2018,37(4):78-84.
- [5] 谭文静,王永千,赵鹏飞,等.基于反射光谱的植物群体叶绿素含量监测系统的研制[J].农业工程学报,2014,30(10):160-166.
- [6] 张伏,张亚坤,毛鹏军,等.植物叶绿素测量方法研究现状及发展[J].农机化研究,2014,36(4):238-241.
- [7] 黄润霞,贾小容,苏志尧,等.流溪河森林公园六种常见阔叶树 SPAD 值的变化与种间差异[J].生态科学,2017,36(4):101-107.
- [8] 乔润雨,刘文锋,刘泽群,等.绿色蔬菜叶片叶绿素含量与 SPAD 值相关性研究[J].国土与自然资源研究,2018(1):80-82.
- [9] 孙玉婷,王映龙,杨红云,等.RGB 与 HSI 色彩空间下预测叶绿素相对含量的研究[J].浙江农业学报,2018,30(10):1782-1788.
- [10] 张宪政.植物叶绿素含量测定——丙酮乙醇混合液法[J].辽宁农业科学,1986(3):26-28.
- [11] 周静,胡忠军,李培培,等.基于叶绿素 a 测定的分光光度法与 bbe 法比较:以千岛湖为例[J].水生生态学杂志,2013,34(2):80-84.
- [12] 刘科,陆键,高梦涛,等.施氮量对杂交水稻叶片光谱特征、SPAD 值和光能拦截率关系的影响[J].核农学报,2018,32(2):362-369.
- [13] Peng S, Garcia F V, Laza R C, et al. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration[J]. Agronomy Journal, 1993, 85(5): 987-990.
- [14] 裴正军,宋海燕,何勇,等.应用 SPAD 和光谱技术研究油菜生长期间的氮素变化规律[J].农业工程学报,2007,23(7):150-154.
- [15] Ling Q, Huang W, Jarvis P. Use of a SPAD-502 meter to measure leaf chlorophyll concentration in *Arabidopsis thaliana* [J]. Photosynthesis Research, 2011, 107(2): 209-214.
- [16] 丁希斌,刘飞,张初,等.基于高光谱成像技术的油菜叶片 SPAD 值检测[J].光谱学与光谱分析,2015,35(2):486-491.
- [17] 潘静,曹兵,万仲武.两种果树叶片 SPAD 值与叶绿素含量相关性分析[J].北方园艺,2012,36(5):9-12.
- [18] 石小虎,蔡焕杰.基于叶片 SPAD 估算不同水氮处理下温室番茄氮营养指数[J].农业工程学报,2018,34(17):116-126.
- [19] 李志宏,刘宏斌,张福锁.应用叶绿素仪诊断冬小麦氮营养状况的研究[J].植物营养与肥料学报,2003,9(4):401-405.
- [20] 张延丽,田吉林,翟丙年,等.不同施氮水平下黄瓜叶片 SPAD 值与硝态氮含量及硝酸还原酶活性的关系[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2009,37(1):189-193.
- [21] 张苇,陈粤超,尚秀华,等.5 种红树林植物叶片 SPAD 值比较[J].亚热带植物科学,2016,45(3):212-215.
- [22] 王文杰,李雪莹,王慧梅,等.便携式测定仪在测定叶片衰老过程中氮和叶绿素含量上的应用[J].林业科学,2006,42(6):20-25.
- [23] 曾建敏,姚恒,李天福,等.烤烟叶片叶绿素含量的测定及其与 SPAD 值的关系[J].分子植物育种,2009,7(1):56-62.
- [24] 吴素霞,毛任钊,李红军,等.冬小麦叶片绿度时空变异特征研究[J].中国生态农业学报,2005,13(4):82-85.
- [25] 李猛,马庆,王慧,等.基于相对叶绿素含量的玉米自交系氮敏感性鉴定与评价[J].植物遗传资源学报,2015,16(6):1264-1271.
- [26] Uddling J, Gelang-Alfredsson J, Piikki K, et al. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings[J]. Photosynthesis Research, 2007, 91(1): 37-46.
- [27] 姜丽芬,石福臣,王化田,等.叶绿素计 SPAD-502 在林业上应用[J].生态学杂志,2005,24(12):1543-1548.
- [28] 贾小容,陈春苑.不同绿化植物叶绿素 SPAD 值对环境的响应[J].江苏农业科学,2011,39(4):206-208.
- [29] 邢艳秋,黄超,陈世宏.SPAD 叶绿素仪在评价树木叶片光环境与健康水平上的应用初探[J].森林工程,2011,27(1):1-4.
- [30] 赵彝,姚霞,田永超,等.基于上部叶片 SPAD 值估算小麦氮营养指数[J].生态学报,2013,33(3):916-924.
- [31] 廖琪,刘险,张旭,等.海拔对毛竹林土壤水分物理性质及叶 SPAD 值的影响[J].西南农业学报,2017,30(5):1132-1136.
- [32] 张凤良,李小琴,毛常丽,等.橡胶树叶片不同发育时期 SPAD 值及叶色动态变化[J].西北林学院学报,2019,34(1):83-90.
- [33] Coste S, Baraloto C, Leroy C, et al. Assessing foliar chlorophyll contents with the SPAD-502 chlorophyll meter: a calibration test with thirteen tree species of tropical rainforest in French Guiana[J]. Annals of Forest Science, 2010, 67(6): 607-607.
- [34] Djumaeva D, Lamers J P A, Martius C, et al. Chlorophyll meters for monitoring foliar nitrogen in three tree species from arid Central Asia[J]. Journal of Arid Environments, 2012, 85: 41-45.

- [35] Delegido J, Van Wittenberghe S, Verrelst J, et al. Chlorophyll content mapping of urban vegetation in the city of Valencia based on the hyperspectral NAOC index[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 40: 34-42.
- [36] 李田, 韩霞, 肖龙, 等. 桃树叶片叶绿素含量与 SPAD 值的相关性分析[J]. *经济林研究*, 2018, 36(4): 99-103.
- [37] 罗绪强, 张桂玲, 王世杰, 等. 退化喀斯特森林群落常见植物叶片 SPAD 值变异特征[J]. *生态环境学报*, 2018, 27(4): 595-600.
- [38] 杜雪莲, 王世杰, 罗绪强. 黔中喀斯特石漠化区不同小生境常见木本植物水分来源特征[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(7): 1168-1176.
- [39] 罗绪强, 王世杰, 王程媛, 等. 喀斯特石漠化过程中土壤氮同位素组成及其空间分异特征[J]. *核农学报*, 2011, 25(6): 1235-1243.
- [40] 杜雪莲, 王世杰, 罗绪强. 黔中喀斯特石漠化区不同土壤类型对常见植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值的影响[J]. *环境科学*, 2014, 35(9): 3587-3594.
- [41] 罗绪强, 王世杰, 张桂玲, 等. 喀斯特石漠化过程中地表凋落物 $\delta^{15}\text{N}$ 特征[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2014, 33(2), 214-220.
- [42] 罗绪强, 张桂玲, 王世杰, 等. 喀斯特高原黄壤区退化植物群落常见植物叶片氮同位素组成[J]. *地球与环境*, 2019, 47(2): 113-120.
- [43] 张日清, 何小燕, 叶航, 等. 油茶叶片 SPAD 值差异的初步研究[J]. *中南林业科技大学学报: 自然科学版*, 2011, 31(3): 30-33.
- [44] 王德炉, 朱守谦, 黄宝龙. 贵州喀斯特区石漠化过程中植被特征的变化[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2003, 27(3): 26-30.
- [45] 罗绪强, 王世杰, 刘秀明. 陆地生态系统植物的氮源及氮素吸收[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(7): 1094-1100.
- [46] 刘泽彬, 程瑞梅, 肖文发, 等. 水淹胁迫对植物光合生理生态的影响[J]. *世界林业研究*, 2013, 26(3): 33-38.
- [47] 简敏菲, 韩乃鹏, 余厚平, 等. 不同水淹条件下河岸带优势植物类群的生理与生态响应特征[J]. *环境科学研究*, 2017, 30(4): 559-569.
- [48] 张继红, 丁雪丹, 梅雅茹, 等. 干旱胁迫对 5 种花境植物光合生理特性的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2019, 39(4): 92-98.

Variation Characteristics of SPAD Values in Leaves of Common Shrubs from Degraded Plant Communities in the Karst Plateau

ZHAO Na¹, LUO Xu-qiang^{1,2,3}, ZHANG Gui-ling^{2,3}, WANG Shao-ying¹, MA Lang¹, ZHAO Chao-chao^{1,2}, RUAN Ying-hui¹, LIU Xin^{1,2,3}

(1. School of Geography and Resources, Guizhou Education University, Guiyang 550018, China; 2. Karst Ecosystem Observation Research Station in Puding, Chinese Academy of Sciences, Puding 562100, China; 3. Guizhou Provincial Key Laboratory of Geographic State Monitoring of Watershed, Guizhou Education University, Guiyang 550018, China)

Abstract: In order to promote ecological environment protection and vegetation restoration in Karst Plateau, the SPAD values and their variation in leaves of six common shrub species collected from different succession communities in the small watershed of Wangjiazhai, Qingzhen City, Guizhou Province, were analyzed. The results showed that the SPAD values were from 14.43 to 47.70, with an average of 23.84. A trend of SPAD value among different plant communities was found as shrub (29.04) > grass-shrub (25.96) > shrub-grass (25.92) > tree-shrub (19.90) > forest-shrub (18.36); The SPAD values were stable within the same successional community and showing significantly diversity among plant communities at different succession stages ($P = 0.000$), which indicated that SPAD value and its variation had a response to plant's habitat conditions; The SPAD values were relatively stable within intra-species but significantly diversity among interspecies ($P < 0.05$), which presented that different species is related to the difference of SPAD values; Both the diversities of species, community types and their interactions in the study area influenced SPAD values evidently ($P = 0.000$); In this study, species collected from shrub community had the strongest photosynthetic capacity and best habitat condition compared to species sampled from the left four community types, which made the shrub community deserved as the key stage of vegetation restoration succession in Karst degraded ecosystem.

Keywords: Karst plateau; degraded plant community; shrub; chlorophyll content; SPAD value; variation characteristics