

# 基于 Meta 分析贵州喀斯特森林植物叶片营养元素特征

张习敏<sup>1,2,3</sup>, 苏志孟<sup>1,2,3</sup>, 唐明<sup>1,2,3</sup>, 龚记熠<sup>1,2,3</sup>

(1. 贵州师范大学, 植物生理与发育调控重点实验室, 贵州贵阳 550001; 2. 国家林业局西南喀斯特山地生物多样性保护重点实验室, 贵州贵阳 550001; 3. 贵州师范大学, 生命科学学院, 贵州贵阳 550001)

**摘要** [目的]全面分析喀斯特森林植物叶片营养元素特征,为喀斯特生境植被恢复和石漠化治理提供理论依据。[方法]以现有文献为基础,采用 Meta 分析方法分析贵州喀斯特森林植物叶片营养元素含量特征。[结果]在贵州喀斯特植物中,营养元素的变化从 Cu (0.018 g/kg)到 Ca(28.28 g/kg),黄色石灰土生境中植物叶片的 N、K 显著高于黑色石灰土;低坡位生境下的植物叶片 Ca、K 含量显著高于高坡位,原生林的植物叶片 N、K 含量显著低于次生林和人工林;相反,原生林中植物叶片的 P 含量显著高于次生林。[结论]贵州喀斯特地区森林植物叶片营养元素含量存在多样性,相关研究主要集中在树木等功能群中,今后需要加大对苔藓、蕨类和草本植物营养元素的相关研究。

**关键词** 喀斯特;营养元素;功能群;Meta 分析;生态系统

**中图分类号** S718.5 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2019)09-0075-04

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.09.022



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Characteristics of Nutrient Elements in Plant Leaves at Karst Forest of Guizhou Province Based on Meta-analysis

ZHANG Xi-min<sup>1,2,3</sup>, SU Zhi-meng<sup>1,2,3</sup>, TANG Ming<sup>1,2,3</sup> et al (1. Key Laboratory of Plant Physiology and Development Regulation, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001; 2. Key Laboratory of State Forestry Administration on Biodiversity Conservation in Karst Area of Southwest, Guiyang, Guizhou 550001; 3. School of Life Science, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001)

**Abstract** [Objective]The characteristics of nutrient elements in plant leaves at Karst forest were comprehensively analyzed to provide theoretical basis for vegetation restoration and rocky desertification management in Karst habitat. [Method]The contents of nutrient elements in plant leaves at karst forest were analyzed by Meta-analysis based on the published articles with Karst forest. [Result]The contents of nutrients ranged from copper(0.018 g/kg) to calcium(28.28 g/kg), and contents of nitrogen and potassium in plants leaves grown in yellow lime soil were significantly higher than those grown in black lime soil. The contents of calcium and potassium in plants leaves grown lower slopes were significantly higher than that grown higher slopes, and the contents of nitrogen and potassium in plants leaves grown in old-forests were significantly lower than that grown in secondary-forests and plantations. In contrast, the contents of phosphorus in plants leaves grown in primary-forests were significantly higher than that grown in secondary-forests. [Conclusion]The contents of nutrient elements in the leaves at Guizhou Karst area were variation. Most research mainly focused on the tree functional groups. In the future, more research should be conducted on the mosses, ferns and herbs.

**Key words** Karst; Nutrient elements; Functional group; Meta-analysis; Ecosystem

喀斯特(Karst)即岩溶,是指水对可溶性岩石(碳酸盐岩、石膏、岩盐等)进行以化学溶蚀作用为主,流水的冲蚀、潜蚀和崩塌等机械作用为辅的地质作用,以及由这些作用所产生的现象的总称<sup>[1]</sup>。喀斯特是陆地表层生态系统中的重要组成部分,在世界各地均有分布,总面积达  $5.1 \times 10^7 \text{ km}^2$ , 约占陆地总面积的 10%<sup>[2]</sup>。其中,我国以广西、贵州和云南为中心所形成的西南喀斯特山区面积高达  $5.4 \times 10^5 \text{ km}^2$ <sup>[2]</sup>, 同时,该地区也是全球石漠化分布面积最大、最集中和最严重的区域。在可溶性碳酸盐地貌上所发育而形成以木本植物为主体的生物群落,包括乔木与其他植物、动物、微生物和土壤之间的复杂的生态系统称为喀斯特森林<sup>[3]</sup>。喀斯特森林是喀斯特生态系统中的重要组成部分,对该地区生态系统的稳定性和石漠化恢复具有重要的功能。在生态退化成为全球面临的主要生态问题的背景下,开展喀斯特森林植物营养元素的特征研究,对于了解植物对该地区的适应性具有重要的意义。

贵州是我国西南喀斯特中喀斯特发育最典型、最复杂、

分布面积最大的片区,全省约 95% 的县(市)分布有喀斯特区域<sup>[4]</sup>。贵州喀斯特森林属于亚热带喀斯特森林生态系统,该生态系统的生境主要特点为岩石裸露率高,土壤富含钙、镁离子,偏碱性,土层浅薄并伴随地下溶洞漏斗,土壤持水率低,土壤与植被不连续但物种多样性丰富。由于喀斯特山地富钙镁离子和干旱等限制植物的生长发育,因而该地区植物生长缓慢,生态系统抵抗外来干扰弱,一旦遭受破坏很难恢复,因此该生态系统为脆弱的生态系统<sup>[5]</sup>。

植物生长对维持生态系统的稳定性具有重要的作用。长期以来,认为该喀斯特地区的水资源是一个十分重要的限制植物生长和植被恢复的因子<sup>[6-7]</sup>,然而最近的研究表明,该地区土壤矿质营养元素短缺也是限制植物生长和森林生成的关键因子<sup>[8-9]</sup>。营养元素缺乏和过量都会对植物生长发育产生影响,从而严重威胁到森林健康和生态系统的稳定。植物叶片中的矿质元素化学计量分析可以作为衡量植物生长的指标<sup>[10-11]</sup>。虽然在贵州喀斯特森林植物叶片营养方面已有相关的研究<sup>[3,9,11-12]</sup>,但是这些研究主要针对区域范围或者小尺度范围,缺少对贵州喀斯特森林植物营养元素的整体分析。为了全面评估贵州喀斯特森林植物的营养特征,笔者通过收集前期相关的研究文献,采用整合分析(Meta-analysis)的方法,全面总结了贵州喀斯特森林植物叶片的营养元素特征,为喀斯特石漠化地区脆弱生态系统中的植被恢复及

**基金项目** 贵州省重点实验室项目(黔科合计 Z 字[2011]4005); 贵州师范大学与贵州省科技厅联合基金项目(黔科合 LH 字[2016]7209 号); 贵州师范大学与贵州省科技厅联合基金项目(黔科合 J 字 LKS[2010]19 号)。

**作者简介** 张习敏(1980—),男,贵州水城人,高级实验师,博士,从事分子生态学研究。

**收稿日期** 2018-10-16

喀斯特森林植物健康评估提供基础数据。

## 1 材料与方法

**1.1 数据获取** 通过 Web of science、维普和知网等数据库,以“喀斯特”和“营养元素”为主题词共搜索到相关的文献 92 篇,经过筛选,最终确定以 13 篇文献为数据获取文献(表 1)。原始文献图中的数据通过 GetData 软件读取,表格中的数据直接读取。

**1.2 数据处理** 在上述文献中,只选取绿色叶片的营养元素含量数据作为生理元素含量标准。由于草本植物的种类繁多,且包括禾本科草本和非禾本科草本植物,因此将禾本科草本和非禾本科草本共同归为草本植物。叶片营养元素含量单位均为 g/kg,对于不同文献中营养元素含量单位不同时,全部将文献中的单位转化为 g/kg。当比较不同土壤类型、不同坡位、不同坡向和不同植被演替类型时,不对植物功能型进行分类。

**1.3 统计分析** 图表中的数据如果小于或等于 2 个重复,因原始文献图表中的平均值无法获取原始数据,则视为 1 个重复;如果数据大于 3 个重复时,对数据进行平均值±标准差分析,并对其均值进行统计检验(单因素方差分析:Student-Newman-Keuls,  $P < 0.05$ )。对于只有 2 个功能组的植物,进行独立样本  $t$  检验( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

**2.1 不同功能群植物营养元素含量特征** 对 11 个矿质营养元素的整合分析表明,研究主要集中在森林生态系统的乔木中(包括常绿乔木和落叶乔木);而对于灌木、藤本、草本、蕨类植物而言,关于营养元素的研究主要集中在大量元素

(如 N、P、K、Ca 和 Mg);针对苔藓植物,研究只有 P、K、Ca 和 Mg。在贵州喀斯特植物中,营养元素的变化从 Cu 的 0.018 g/kg 到 Ca 的 28.28 g/kg(表 2)。

不同功能群植物的营养元素显示了不同的差异,藤本植物含有最高的 N 和 K,常绿乔木含有最高的 P;草本中 Ca 含量最高,蕨类最低;苔藓植物含有最低的 P、K 和 Mg;Mn 表现出在落叶乔木、常绿乔木和藤本植物中较高,在其余植物中较低。不同功能群植物的 Fe、B、Zn 和 Cu 含量差异不显著(表 2)。

表 1 被引用参考文献

Table 1 References cited in the paper

序号 No.	第一作者 First author	文章类型 Article type	发表时间 Published time	发表期刊 Published journals	参考文献 References
1	Du Youxin	期刊论文	2011	Environ. Earth Sci.	[9]
2	Liu Changcheng	期刊论文	2014	Ann. Bot.	[11]
3	郑厚义	期刊论文	2008	北京林业大学学报	[13]
4	杨成	期刊论文	2007	生态环境	[12]
5	周运超	期刊论文	1997	山地农业生物学报	[14]
6	旷远文	期刊论文	2010	应用与环境生物学报	[3]
7	杜鹃	期刊论文	2011	种子	[15]
8	俞月凤	期刊论文	2015	生态学报	[16]
9	张忠华	博士论文	2011	华东师范大学	[17]
10	刘占民	硕士论文	2006	中国科学院	[18]
11	罗绪强	期刊论文	2014	生态环境学报	[19]
12	卢晓强	期刊论文	2008	南京林业大学学报	[20]
13	张显强	硕士论文	2005	贵州师范大学	[21]

表 2 贵州喀斯特山地不同功能群植物叶片营养元素含量

Table 2 Leaf nutrient elements contents of different functional groups in Karst area in Guizhou Province

g/kg

功能群 Functional group	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	B	Zn	Cu
苔藓 Moss	—	0.66± 0.11(6)c	1.70± 0.57(6)c	15.85± 0.52(6)ab	2.78 ± 0.29(6)b	—	—	—	—	—	—
蕨类 Fern	15.40(1)	2.71± 0.50(11)a	12.92± 1.88(13)a	13.94± 2.57(13)b	4.87± 1.04(13)a	2.07(1)	0.11(1)	0.03(1)	0.024(1)	0.021(1)	0.012(1)
草本 Herb	9.65(2)	1.56(2)	11.98± 5.01(5)a	28.28± 22.15(7)a	3.91± 2.92(7)ab	2.48(2)	0.17(2)	0.05(2)	0.026(2)	0.03(2)	0.014(2)
藤本 Liana	22.72(2)	1.68± 0.43(12)b	12.14± 5.81(12)a	22.00± 6.49(12)ab	3.61± 0.69(12)ab	3.98(1)	0.13(1)	0.128(1)	0.035(1)	0.016(1)	0.014(1)
常绿灌木 Evergreen shrub	18.95± 4.04(11)a	1.19± 0.43(26)bc	9.39± 3.39(21)a	18.98± 5.27(25)ab	3.96± 0.99(25)ab	2.01(1)	0.12(1)	0.053(1)	0.032(1)	0.019(1)	0.012(1)
常绿乔木 Evergreen arbor	11.06± 3.47(20)b	2.92± 1.01(20)a	5.59± 3.27(20)b	20.57± 11.03(26)ab	3.30± 1.60(26)b	8.04± 4.81(18)a	0.18± 0.33(18)a	0.14± 0.08(19)a	0.025(1)	0.032± 0.011(19)a	0.018± 0.010(19)a
落叶灌木 Deciduous shrub	18.74± 4.31(6)a	1.43± 0.51(21)b	6.57± 2.35(21)b	19.38± 3.87(21)ab	4.33± 1.14(21)ab	2.13(1)	0.15(1)	0.083(1)	0.038(1)	0.017(1)	0.012(1)
落叶乔木 Deciduous arbor	15.40± 7.42(18)a	2.39± 1.18(24)a	5.91± 2.69(21)b	24.94± 11.57(23)ab	3.46± 1.10(22)ab	6.49± 3.12(14)a	0.19± 0.04(14)a	0.13± 0.08(16)a	0.035(1)	0.023± 0.006(16)a	0.018± 0.011(16)a

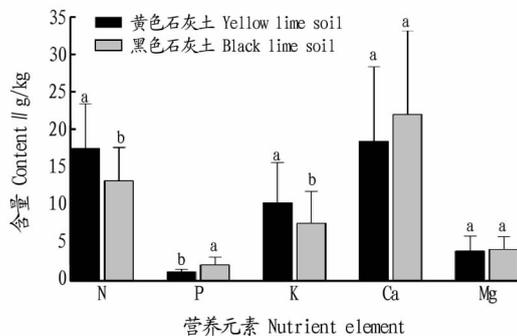
注:括号中的数据为样本总数,“—”表示无数据,同一列中的不同小写字母表示不同功能群植物叶片营养元素之间的差异显著( $P < 0.05$ )

Note:The data in bracket is the total number of samples. “—” represents no data. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences in leaf nutrient elements in leaves of different functional groups

**2.2 不同土壤生境下植物叶片营养元素含量变化特征** 在黄色石灰土和黑色石灰土生境中,森林植物(包括苔藓、蕨

类、草本、藤本、常绿灌木、常绿乔木、落叶灌木和落叶乔木)叶片营养元素存在较大差异。黄色石灰土生境中植物叶片

的 N 和 K 含量显著高于黑色石灰土生境;与之相反,黄色石灰土生境中植物叶片的 P 含量显著低于黑色石灰土生境;2 种土壤生境中叶片的 Ca、Mg 含量没有显著差异(图 1)。表明生长在 2 种土壤生境中的植物叶片 N、P 和 K 含量存在差异,而 Ca、Mg 含量没有显著差异。



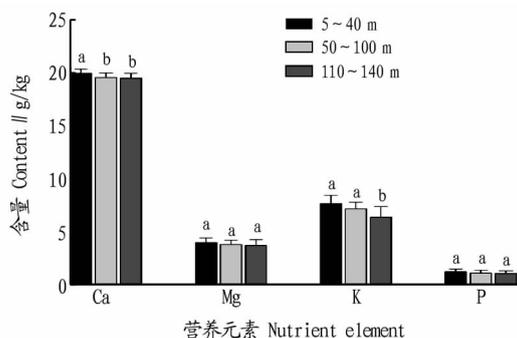
注:同一营养元素下不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters under the same element indicate significant differences ( $P < 0.05$ )

图 1 不同土壤生境下植物叶片营养元素含量

Fig. 1 Contents of nutrient elements in plant leaves under different soil

**2.3 不同坡位植物叶片营养元素含量变化特征** 喀斯特地貌为峰丛洼地型,地势陡峭,森林分布在山坡面的不同位置,为了比较生长在峰丛不同坡位的植物叶片营养元素含量,选择生长在上不同坡位(5~40、50~100 和 110~140 m)的灌木叶片,研究其营养元素积累情况(图 2)。结果表明,不同坡位下植物叶片中 P、Mg 含量没有显著差异,然而,低坡位(5~40 m)生境下的植物叶片 Ca、K 含量显著高于高坡位(50~100、110~140 m),表明喀斯特地貌上生长的植物叶片中 Ca、K 含量与其生长坡位有关。



注:同一营养元素下不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

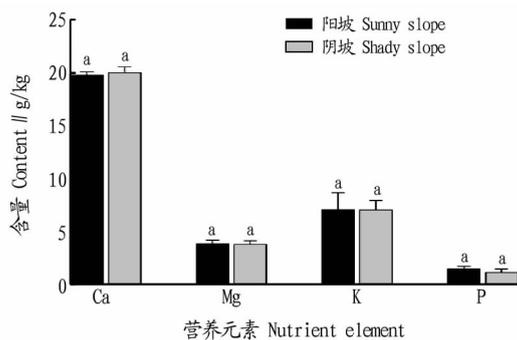
Note: Different lowercase letters under the same element indicate significant differences ( $P < 0.05$ )

图 2 不同坡位植物叶片营养元素含量

Fig. 2 Contents of nutrient elements in plant leaves at different slope positions

**2.4 不同坡向植物叶片营养元素含量变化特征** 阴坡是指背向太阳的山坡,北半球阳光主要从南方照向北方,所以北坡为阴坡,南坡为阳坡,阳坡和阴坡可反映出植物对光的需求。对喀斯特山地不同坡向的植物叶片营养元素含量进行分析(图 3),结果表明,阳坡和阴坡生长的植物叶片中,Ca、

Mg、K 和 P 这 4 种矿质元素均未表现出显著差异。



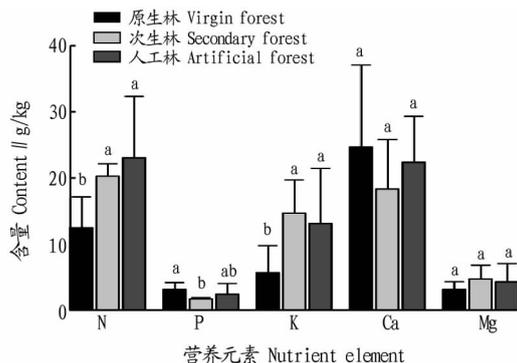
注:同一营养元素下不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters under the same element indicate significant differences ( $P < 0.05$ )

图 3 不同坡向植物叶片营养元素含量

Fig. 3 Contents of nutrient elements in plant leaves at different aspects

**2.5 不同演替类型下植物叶片营养元素含量变化特征** 在植被演替过程中,植物叶片营养元素含量呈现出不同的差异(图 4)。在原生林中,植物叶片 N、K 含量显著低于次生林和人工林( $P < 0.05$ );相反,原生林中植物叶片的 P 含量显著高于次生林;3 种类型的森林中,Ca 和 Mg 含量没有显著差异。结果表明,植被在不同的演替阶段,对 N、P 和 K 的营养需求量不同。



注:同一营养元素下不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters under the same element indicate significant differences ( $P < 0.05$ )

图 4 不同演替过程中植物叶片营养元素含量

Fig. 4 Contents of nutrient elements in plant leaves at different succession stages

### 3 结论与讨论

贵州喀斯特山地是典型的植被生态脆弱区,一旦遭受人为或自然破坏,植被恢复十分困难。在喀斯特生境中,土壤富含 Ca、Mg,土壤肥力低,植被生长易受到土壤中矿质营养的限制。因此,研究喀斯特地区植物营养元素特征对于分析该地区植被生长状况以及森林资源管理具有重要的意义。

在所分析的文献中,发现大部分研究均处于 2014 年前,近期关于喀斯特植物叶片营养元素的研究相对较少;同时,对植物营养元素方面的研究力度也小于植物凋落物和土壤<sup>[22-23]</sup>。在喀斯特森林生态系统中,物种十分丰富,这对于

喀斯特森林功能的稳定和健康发展具有重要的优势,然而前期的研究主要集中在树木(乔木和灌木)功能群叶片中的营养元素,对苔藓、蕨类和草本等功能群植物的研究相对较少,同时,这些功能群植物的营养元素也主要集中在大量元素中,微量元素的研究也相对较少,后期应该增加对这些功能群植物的研究,从而揭示该生态系统的健康和完整性。在不同功能群植物中,植物叶片营养元素的变化从Cu(0.018 g/kg)到Ca(28.28 g/kg),这表明了喀斯特地区植物叶片能够富集大量的Ca从而适应富钙的生境<sup>[24]</sup>。另外,不同功能群植物叶片中的矿质元素含量也存在显著差异,这可能是物种共存需要利用不同的土壤资源。

生长在不同喀斯特土壤生境中的植物,其叶片N、P、K含量存在差异,而Ca、Mg含量没有显著变化,这可能与生长在不同土壤类型背景下的土壤元素有关<sup>[18]</sup>。喀斯特生境为典型的峰丛洼地,土壤中的离子含量可能与土壤水分存在耦合关联,这些元素存在空间高度异质性<sup>[17]</sup>,从而导致高坡位地区生长的植物叶片中Ca、K含量下降。而在不同坡向生长的植物,其叶片含量无明显变化,其原因可能是坡向不影响土壤矿质元素的分布。在不同的群落演替过程中,植物生长速率可能不同,相对次生林和人工林,原生林的植物生长速率相对较慢<sup>[25]</sup>,因此次生林和人工林需要吸收更多的N、K满足植物生长,另外,生长速率假说认为,植物快速生长需要消耗P用于核酸的合成<sup>[26]</sup>,因此次生林中P含量显著低于原生林。

## 参考文献

- [1] 杨明德. 喀斯特研究: 杨明德论文选集[M]. 贵阳: 贵州民族出版社, 2003.
- [2] 刘子琦. 人类对喀斯特洞穴的利用分类与分析[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2005.
- [3] 旷远文, 温达志, 闫俊华, 等. 贵州普定喀斯特森林3种优势树种叶片元素含量特征[J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(2): 158-163.
- [4] 朱守谦. 喀斯特森林生态研究(III)[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2003.
- [5] 彭晓霞, 王克林, 宋同清, 等. 喀斯特脆弱生态系统复合退化控制与重建模式[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 811-820.
- [6] 刘从强. 生物地球化学过程与地表物质循环[M]. 北京: 科学出版社,

2009.

- [7] 朱守谦. 喀斯特森林生态研究(II)[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1997.
- [8] ZHANG X B, WANG K L. Ponderation on the shortage of mineral nutrients in the soil-vegetation ecosystem in carbonate rock-distributed mountain regions in southwest China[J]. Earth and environment, 2009, 37(4): 337-341.
- [9] DU Y X, PAN G X, LI L Q, et al. Leaf N/P ratio and nutrient reuse between dominant species and stands: Predicting phosphorus deficiencies in Karst ecosystems, southwestern China[J]. Environmental earth sciences 2011, 64(2): 299-309.
- [10] KNECHT M F, GÖRANSSON A. Terrestrial plants require nutrients in similar proportions[J]. Tree physiology, 2004, 24(4): 447-460.
- [11] LIU C C, LIU Y G, GUO K, et al. Concentrations and desorption patterns of 13 nutrients in different plant functional types in the karst region of south-western China[J]. Annals of botany, 2014, 113(5): 873-885.
- [12] 杨成, 刘从强, 宋照亮, 等. 贵州喀斯特山区植物营养元素含量特征[J]. 生态环境, 2007, 16(2): 503-508.
- [13] 郑厚义, 刘从强, 王中良, 等. 贵州黄壤地区植物营养元素来源的Sr同位素示踪[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(4): 72-76.
- [14] 周运超. 贵州喀斯特植被主要营养元素含量分析[J]. 贵州农学院学报, 1997, 16(1): 11-16.
- [15] 杜娟, 刘海燕, 邹天才. 贵州槭种子和叶片主要化学成分分析[J]. 种子, 2011, 30(4): 94-96.
- [16] 俞月凤, 何铁光, 彭晓霞, 等. 喀斯特峰丛洼地不同类型森林养分循环特征[J]. 生态学报, 2015, 35(22): 7531-7542.
- [17] 张忠华. 喀斯特森林植被种群生态学及群落稳定性分析[D]. 上海: 华东师范大学, 2011.
- [18] 刘占民. 喀斯特石灰土一灌丛系统主要养分含量分布特征研究[D]. 贵阳: 中国科学院研究生院(地球化学研究所), 2006.
- [19] 罗绪强, 张桂玲, 杜雪莲, 等. 茂兰喀斯特森林常见钙生植物叶片元素含量及其化学计量学特征[J]. 生态环境学报, 2014, 23(7): 1121-1129.
- [20] 卢晓强, 方升佐. 黔中喀斯特山地8种树种早期生长和叶片养分动态的研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2008, 32(1): 38-42.
- [21] 张显强. 喜钙和嫌钙植物对环境Ca<sup>2+</sup>响应特征的比较研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2005.
- [22] 赵畅, 龙健, 李娟, 等. 茂兰喀斯特原生林不同坡向及分解层的凋落物现存量与养分特征[J]. 生态学杂志, 2018, 37(2): 295-303.
- [23] 柳满. 中国西南喀斯特关键带土壤有机碳分布特征及其控制机理[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.
- [24] 姬飞腾, 李楠, 邓馨. 喀斯特地区植物钙含量特征与高钙适应方式分析[J]. 植物生态学报, 2009, 33(5): 926-935.
- [25] 曾昭霞, 王克林, 刘孝利, 等. 桂西北喀斯特区原生林与次生林鲜叶和凋落叶化学计量学特征[J]. 生态学报, 2016, 36(7): 1907-1914.
- [26] ELSER J J, ACHARYA K, KYLE M, et al. Growth rate-stoichiometry couplings in diverse biota[J]. Ecology letters, 2003, 6(10): 936-943.

(上接第70页)

土地利用现状调查的实有耕地面积为基数划定基本农田保护区,并加大基本农田保护区防护;建立健全完整的基本农田保护档案资料,将基本农田的保护责任落实到人;严格贯彻执行《基本农田保护条例》,实施最严格的耕地地力保护和环境保护制度,特别是对生产条件好、产量高的基本农田资源要实施永久保护;积极利用新技术、新方法,如大数据、遥感技术、无人机技术、物联网技术等等对绥化市基本农田实施网格化立体监测、监控,将监测的实时数据与基本农田安全标准进行比对,及时反馈,实现有效的基本农田保护与利用。

## 参考文献

- [1] GONCHAROVA N, BAIKASHEUSKAYA D, PUTYRSKAYA V. Pollutant uptake on agricultural land: Practical modeling[M]//HULL R N, BARBU C H, GONCHAROVA N. Strategies to enhance environmental security in transition countries. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2007: 387-398.

- [2] LOCKWOOD J A. Agriculture and biodiversity: Finding our place in this world[J]. Agriculture and human values, 1999, 16(4): 365-379.
- [3] HAQUE C E. Risk assessment, emergency preparedness and response to hazards: The case of the 1997 Red River Valley flood, Canada[J]. Natural hazards, 2000, 21(2/3): 225-245.
- [4] MSANGI J P. Land degradation management in Southern Africa[M]//SIVAKUMAR M V K, NDIANG'UI N. Climate and land degradation. Berlin Heidelberg: Springer, 2007: 487-499.
- [5] 张士功, 纪纯, 邱建军, 等. 中国耕地资源安全问题及其对策研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(12): 372-375.
- [6] 赵其国, 周炳中, 杨浩, 等. 中国耕地资源安全问题及相关对策思考[J]. 土壤, 2002, 34(6): 293-302.
- [7] 绥化市[EB/OL]. [2018-12-20]. <http://baike.so.com/doc/2266774-2398097.html>.
- [8] 刘红艳. 河北省畜禽粪便负荷与警报分级[J]. 农业环境与发展, 2007, 24(1): 75-77.
- [9] 李春华, 李宁, 石岳, 等. 两型社会建设背景下长株潭城市群耕地安全性评价[J]. 中国农学通报, 2010, 26(16): 301-308.
- [10] 邓立, 廖平, 魏晋, 等. 耕地资源警情综合评价: 以成都市为例[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(34): 16868-16870, 16932.
- [11] 叶建成, 迅锋. 加强规划实施管理[J]. 中国土地, 2000(6): 15-16.