

地表基质在中国黑土地资源调查评价中的应用探讨

——基于黑龙江宝清地区地表基质调查

侯红星¹, 葛良胜², 孙肖¹, 孔祥斌³, 卢卫华⁴, 秦天¹,
孔繁鹏⁵, 杨华本⁶, 杨柯⁶

(1. 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 廊坊 065000; 2. 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心, 北京 100055; 3. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100000; 4. 自然资源部自然资源调查监测司, 北京 100812; 5. 中国地质调查局牡丹江自然资源综合调查中心, 牡丹江 157021;
6. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 哈尔滨 150086)

摘要: 地表基质是自然作用形成的, 正在或可以孕育支撑各类自然资源的基础物质。岩、砾、砂、土、泥等不同类型的地表基质通过自然作用同水、气、生等物质有机组合形成地表基质层, 与地表覆盖层相互孕育支撑、演替互馈, 维持着地球表层生态系统正常运转, 同时为人类提供生产、生态和生活服务。中国东北黑土地作为弥足珍贵的自然资源, 是特殊的地表基质层, 支撑孕育了大面积的耕地和林地, 发挥了不容忽视的生产、生态服务功能。黑土资源合理利用和开发越来越受到国内外重视。通过宝清地区黑土地地表基质调查, 构建黑土地地表基质调查内容、指标要素和技术要求, 开展黑土地地表基质数量、质量、结构、功能“四位一体”调查评价, 在基本查明宝清地区黑土资源现状的基础上, 提出了黑土资源合理开发的适宜性评价建议。基于地表基质的黑土地资源适宜性综合调查评价, 对科学合理利用开发黑土资源具有十分重大而深远的意义。

关键词: 地表基质; 自然资源; 黑土地; 适宜性评价

黑土地是世界公认的最肥沃的土壤, 是十分稀缺、极其珍贵的土地资源, 也是不可再生的自然资源^[1]。作为世界四大黑土区之一的中国东北黑土地, 过去60年来不仅是东北农业发展的基础, 也一直是我国粮食安全的保障和“压舱石”^[2-4]。东北黑土资源在第四纪中更新世后开始发育, 主要形成于中—全新世7400 a B.P.以来的大暖期, 经历了上万年时间^[5-7]。但20世纪60年代以来, 受全球自然气候环境变化和人类高强度开发利用等因素影响, 东北黑土地面临着地表黑土层侵蚀流失、厚度变薄、有机质含量下降、土壤酸化、贫瘠和板结等退化问题^[8-11]。黑土资源的保护和合理利用越来越受到重视与关注。多年来, 不同行业的专家、学者分别从不同的专业角度对黑土地的土壤特征、肥力状况、耕地质量等进行调查研究, 但还没有形成系统、全面、准确、一定深度范围内的黑土资源本底属性数据, 尤其缺乏黑土层成土母质本底数据, 难以全面评价黑土资源家底、质量状况和适宜性, 不能很好地支撑当前及未来黑土资源有效保护、合理开发利用

收稿日期: 2021-11-08; 修订日期: 2022-05-23

基金项目: 自然资源部中国地质调查局专项调查项目 (DD20211588, DD20211589, DD20211590)

作者简介: 侯红星 (1975-), 男, 山西翼城人, 博士, 高级工程师, 研究方向为区域地质矿产调查和自然资源调查。E-mail: wjhjhx@163.com

通讯作者: 葛良胜 (1966-), 男, 安徽潜山人, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向为自然资源科学。E-mail: geliangsheng@aliyun.com

和系统修复整治的需要^[12-15]。近年以来，特别是全球新冠疫情发生以来，面对国际粮食贸易变化的新形势，我国全面推进黑土地资源保护和开发利用的新背景，如何创新思路和方法全面准确掌握黑土地资源现状、潜力和合理利用开发等问题，为保护养护、开发利用好东北黑土地资源，保障国家粮食安全和东北地区森林生态屏障等提供系统信息资料，显得十分迫切。

自然资源调查监测体系的重塑重构，自然资源三维立体时空模型和“地表基质层”概念的提出，为开展黑土地资源的系统调查评价、有效保护和合理开发利用提供了新的工作思路和研究方向^[16-19]。运用地球系统科学理论和地表基质调查评价思路，系统全面实施东北黑土地资源现状调查和潜力评价，提出基于地表基质的黑土地资源合理利用和开发措施建议，成为当前紧迫的任务之一^[20]。围绕保障国家粮食安全战略和黑土地保护工程，支撑服务东北黑土地资源合理开发利用、系统全面修复整治，自然资源部于2021年在东北选择三个典型黑土区，启动实施黑土地地表基质数量、质量、结构、功能“四位一体”调查试点。基本查清了地表以下一定深度范围内黑土地资源地表基质本底现状特征，掌握了黑土地资源地表分布、空间结构和本底属性特征。在查明黑土地资源现状、潜力和生态退化问题的基础上，对黑土地资源进行适宜性评价，提出黑土地资源合理利用和开发以及系统保护修复措施建议，旨在为全面实施东北黑土地地表基质调查评价监测提供可复制、可推广的方法经验。

1 地表基质和地表基质调查

1.1 地表基质

1.1.1 地表基质概念的产生

为实现自然资源精细描述和系统管理，国内学者2020年首次以立体空间位置作为组织和联系所有自然资源体的基本纽带，对各类自然资源要素进行分层，将孕育和支撑森林、草原、水、湿地等各类自然资源的基础物质层叫“地表基质层”。地表基质层下部设地下资源层，上部为地表覆盖层^[16]。地表基质层与地球关键带（Earth Critical Zone）不尽相同。“地球关键带”空间范围包括植被冠顶到地下水蓄水层底部，厚度0.7~223.5 m，平均在36.8 m^[21-24]。地表基质层在平面空间上无缝覆盖地球陆域表层和水域水体底部，包括所有土地利用类型；垂向空间范围顶界为陆域地球表面或水域水体底部，底界为植物根系所能够达到的最深区域（通常不超过50 m）（图1）^[25]。地表基质更关注地球表层生态系统的本底属性、支撑孕育自然资源的生态功能以及演替、互馈、耦合关系的调查研究，为按照“宜林则林、宜草则草、宜耕则耕、宜荒则荒”原则，合理规划符合自然地理格局的地表基质利用方式提供科学依据。

1.1.2 地表基质及地表基质层定义

地表基质（Ground Substrate）指当前出露于地球陆域地表浅部或水域水体底部，主要由天然物质经自然作用形成，正在或可以孕育和支撑森林、草原、水等各类自然资源的基础物质^[17]。按照发育发展过程，地表基质包括岩石、砾质、砂质、土质和泥质等类型^[17]。不同类型的地表基质通过复杂的自然作用过程，与水、气、生等通过有机组合分布在地球陆域地表或水体底部，形成具有一定厚度、能够支撑地球表层生态系统运转的层状体就叫地表基质层（Ground Substrate Layer）。地表基质是组成地表基质层的主要物质，是各类自然资源（水、土、气、生、矿产、能源等）生成和存贮的基础。

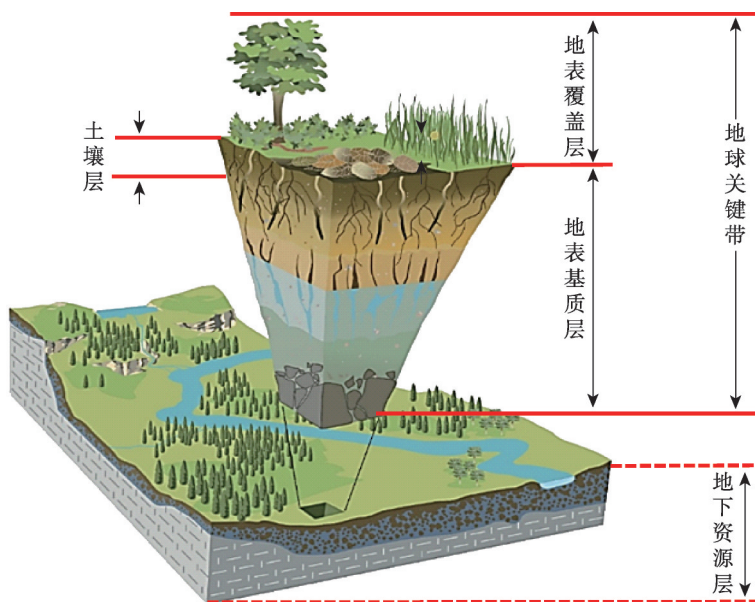


图1 地球关键带与地表基质层以及土壤层关系图 (据文献 [25])

Fig. 1 Relationship between the earth critical zone and the ground substrate layer and the soil layer

1.2 地表基质调查

1.2.1 地表基质调查的定义

地表基质调查 (Ground Substrate Survey) 是针对地表基质层开展的综合性调查工作, 指运用地球系统科学理论和现代技术方法手段, 全面、系统、准确地查明工作区内地表基质类型、空间结构、物质组成、理化性质、地表景观及生态属性, 掌握地表基质的时空分布、数量质量、利用状况和动态变化; 建设数据库, 构建科学评价模型; 研究地表基质与其他自然资源相互关系和支撑孕育机理, 评价地表基质基本状态、预测变化发展趋势、评估支撑孕育潜力和碳储碳汇能力。

1.2.2 地表基质调查的一般方法

与森林、草原、湿地、水资源等各门类自然资源调查类似, 地表基质调查属于自然资源专项调查范畴^[16]。中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心 2020 年率先组织在河北保定地区开展地表基质调查试点工作, 对地表基质调查内容、调查方法、技术标准、成果表达、应用服务等进行了探索实践, 初步形成系列成果认识^[26-32]。地表基质调查采用的一般方法包括: 对已有资料的二次开发利用 (标准化、矢量化)、遥感解译、航空摄影、综合编图、野外调查 (调查点、调查路线以及横向、垂向剖面测量; 地球物理调查, 地球化学调查等)、工程施工 (人工剖面、洛阳铲、背包钻、汽车钻等)、采样测试 (物理、化学性质测试)、数据库建设、专题研究、模拟预测、成果集成等。

2 黑土地地表基质

2.1 黑土地与黑土地地表基质

2.1.1 黑土地的概念

我国黑土地主要分布于东北地区, 包括黑龙江省、吉林省、辽宁省和内蒙古自治区

“东四盟”^[33,34]。根据《东北黑土地保护规划纲要（2017—2030年）》和前人研究成果，将拥有黑色或暗黑色腐殖质表土层、性状好、肥力高、适宜农耕的优质土地称为黑土地，主要特征是具有较深厚的暗沃表土层（大于20 cm）、良好的团粒结构、丰富的有机质含量（普遍大于15 g/kg）、较高的盐基饱和度（大于70%）、适宜的pH值（5.5~7.0）和适宜的表层土壤容重（1.0~1.3 g/cm³）^[14,15]。东北地区地貌类型多样，成土母质主要为更新世砂砾和黄土状黏土^[14]，受气候、地貌、植被、成土母质和水文五大自然因素影响和控制，形成了多种土壤类型。除黑土外，还包括黑钙土、栗钙土、白浆土、暗棕壤、棕壤、草甸土及水稻土，主要分布在辽河平原、松嫩平原和三江平原，总面积约109万 km²^[2,15]。不同的土壤分类标准关于黑土定义的侧重点不同，黑土的概念、分布范围一直存在较大争议^[34,35]。

2.1.2 黑土地地表基质

黑土地地表基质指以黑土资源为主要类型的地表基质。一级类主要类型为土质，二级类（按质地分）包括壤土、黏土及少量砂土、粗骨土。利用类型主要为耕地，其次还有林地、草地、湿地以及其他地类（如盐碱地）。黑土地地表基质的调查研究对象不仅指耕地基质，还包括林地、草地、湿地、盐碱地、沼泽地等东北地区表层系统所有地表基质，覆盖整个调查区范围。

2.2 黑土地地表基质调查现状

多年以来，自然资源部（原国土资源部）、农业农村部、水利部、生态环境部以及中国科学院、中国农业大学等陆续开展了一系列涉及黑土资源的调查监测工作，主要包括第一、二次全国土壤普查、耕地质量等级调查、耕地地力评价、东北黑土区耕地质量评价、全国土壤污染状况调查、东北黑土地水土流失及侵蚀沟调查、黑土耕地土地质量地球化学调查评价等，取得了丰富的调查成果^[36,37]。第三次全国国土调查（以下简称“三调”）全面查清了以2019年12月31日为标准时点的国土利用现状情况，同时开展了耕地资源质量分类专项调查工作，形成了东北黑土地利用现状概貌成果。地表基质概念提出后，2021年4月启动东北黑土地地表基质调查试点，形成了统一的工作方法和技术要求，目前东北地区黑土地资源地表基质调查工作已经系统部署并启动实施。

3 地表基质调查在黑龙江宝清地区黑土地资源评价中的应用

基于地表基质的宝清地区黑土地资源调查主要，运用地质学、地理学、生态学、农学、土壤学等综合学科，以基础地质、地貌和国土“三调”成果融合形成基础工作底图，充分收集利用已有资料，采用传统地质与高新技术手段，平面上无缝覆盖调查区包括土质在内的岩石、砾质、泥质等全部地表基质类型和所有的土地利用类型，垂向上涉及地下50 m以浅的空间范围内地表基基层结构与本底属性，主要查明宝清地区黑土地资源的数量（地表黑土地现状、地下黑土地资源分布情况等）、质量（物理、化学性质）、结构（平面分布情况、地表基基层空间结构）、生产和生态服务功能等现状，提出黑土地资源合理利用和开发的适宜性评价建议。

3.1 目标任务

全面收集利用宝清地区已有国土调查、基础地质调查、水工环、生态环境、农业地质调查、土壤普查及地理国情调查监测等数据资料，结合以往不同年份的高分辨率遥感影像数据，掌握地表覆盖层变化情况（即土地利用类型变化）和黑土地地表基质数量、质量、结构、功能以及碳储潜力特征，构建黑土地地表基质数据库。研究黑土地地表基

质本底性状与地表覆盖层支撑孕育、演替互馈规律和耦合关系,开展适宜性评价,提出黑土资源保护修复、自然恢复及合理利用和开发的规划建议^[38,39]。

3.2 调查深度

不同深度的地表基质层所具有的空间结构和本底属性特征,可以提供生产、生态、生活等不同的服务功能。据此可将地表基质层划分为表层基质(地表土壤层,也叫生产层,0~1 m)、中层基质(中间生态层,1~10 m)和深层基质(深部基底层,10~50 m)。0~50 m深度范围的地表基质层为地质作用形成的具有成因联系的上下层状体,大致包含了地表土壤层(含地表黑土资源层)、中间生态层和下部基底层。三个层位通过地质作用、自然作用和人类活动影响,成为一个上下联系的系统,共同孕育了地表自然资源(覆盖层),为基础层或支撑层。主要功能是服务整个黑土区的国土空间规划,指导三条红线的划定。0~10 m深度范围的地表基质层包含生产层(土壤层)和生态层(土壤母质层),即指水文地质研究的包气带范围。此层位除地质作用外,也受到自然作用和人类活动的影响。主要是受地下潜水面的上下活动和地表基质中水分、生物、气体等共同作用影响,产生物质迁移,并与表层土壤和地表水、空气、覆盖物等产生物质交换,具有生态调节、生产服务等重要功能。中层基质层的本底属性、空间结构和理化性质等直接影响制约着其上部土壤层的生态质量和生产能力。0~1 m的地表“土壤层(含耕作层)”属于地表基质层的表层部分,处于地表基质层的浅部空间,是黑土层发育和利用开发的主要层位,主要功能用于耕地,提供粮食和生产。该层位特别是耕作层,主要受人类活动与自然作用共同影响,极易发生变化。

3.3 基于地表基质的黑土地资源调查内容和评价指标

3.3.1 调查评价内容

已有学者对地表基质调查内容进行了探讨,提出了通用要素指标体系^[29,30]。本次根据自然资源部黑土地地表基质调查试点总体方案^[40],结合黑土地地表基质特色和服务功能,特别是围绕支撑服务黑土资源合理利用和开发,侧重黑土地地表基质本底属性(数量、结构)、生态状况(质量、功能)、固碳作用、数据库建设、评价预测模型等5个方面调查内容。

本底属性调查方面,重点调查黑土地地貌景观和微地貌特征、地质景观和气候气象;黑土地地表基质类型、分布及面积;一定深度范围内基质层空间结构、地表地下黑土地资源的空间分布、黑土层厚度,地下水位等;风蚀、水蚀、融蚀、重力侵蚀特征等。生态状况调查方面,重点调查黑土基质的结构、质地、容重、孔隙度、持水量等物理性质,有益、有害、有毒元素成分和有机质含量、生物和地下水水质特征,pH值、含盐量、阳离子交换量(CEC)等化学性质;黑土地利用现状、耕作模式、使用强度,黑土地地表基质利用类型历史变化情况等。固碳作用研究方面,重点调查地表基质分层有机碳含量、土壤生物特征、土壤植被特征、土壤生态景观等,加强与“三调”和地表覆盖监测成果的对比分析,延伸研究黑土地“碳库”问题。数据库建设方面,在对有关黑土地调查历史数据进行标准化整合基础上,将调查试点获得的共性信息与特性信息进行空间叠加、有机融合,形成具有统一空间基础和数据格式的黑土地地表基质数据库,直观反映黑土地地表基质的立体空间分布及变化特征,实现综合管理。构建评价预测模型方面,指基于黑土地基本属性、利用现状、地表覆盖、系统环境和各类自然资源管理信息,结合黑土地资源精细化管理、科学利用评价、保护修复、生态功能评估、固碳潜力

预测等工作的需要，充分借鉴国内外先进成熟的理论，科学构建分析评价预测模型，开展系列专题分析和综合研究。

3.3.2 要素—指标体系

要素指标重点突出黑土地特色，适合黑土地资源适宜性评价。主要包括“时空结构（基本类型、平面分布、垂向结构）、理化性质（物理特征、化学成份）、景观属性（地质景观、地理景观）、功能属性（生产功能、生态功能、环境气候）、人文属性（利用状况、人类活动、碳储碳汇）”5类要素和13项一级指标（图2）。具体指标设置如下：

时空结构。包括黑土地地表基质种类和空间分布情况。基本类型主要根据《地表基质分类方案（试行）》，利用“土壤质地+土壤发生学分类”相结合的方式，进行黑土地地表基质三级分类，较好地说明不同土质黑土地的形成环境和质地特征^[17]。空间分布包括平面分布和垂向结构。平面分布包括不同类型黑土地地表基质范围、边界、面积、形态、分布规律；垂向结构包括50 m以浅不同层位黑土层厚度、表层有效土质厚度、障碍层特征与其他不同类型基质的厚度、形态、分布以及垂向变化规律等。

理化性质。包括黑土地地表基质的物理特征和化学成份。物理特征包括颜色、结构、质地、颗粒大小与组成、容重、孔隙度、连通性、含水性等；化学成份包括有机质含量、全碳含量、酸碱度、含盐量、盐基饱和度、常量元素、微量元素和重金属污染元素含量等。

景观属性。主要包括地质景观和地理景观。地质景观：沉积环境，风化、剥蚀、搬运、沉积分布特征；地质、构造特征，形成时代和地质成因、背景和环境。地理景观：自然地理分布格局，地貌和微地貌特征，水系、植被分布特征；坡度、坡向、坡面长度；风蚀、水蚀等侵蚀沟分布、面积、密度等。功能属性包括环境气候、生产功能和生态功能。环境气候主要包括气候气象和微气候、微气象（如年降雨量与蒸发量，年平均温度、年积温以及年度风力、光照时长等及其变化）。生态功能包括不同类型黑土地地表基质对森林、草、农作物、湿地、水、生物多样性等生态系统的支撑、孕育情况。生产功能指基质层内生物（动植物）、微生物、细菌特征，重要养分元素、特殊有益元素含量，潜水面深度及其变化情况以及水质特征等。

人文属性。包括人类活动、土地利用和碳储潜力。人类活动主要指黑土地地表基质开发利用历史、利用强度、现状（如开采、退还、转型）等。土地利用指地表基质的开发利用方式、不同利用方式的面积及其历史变化情况、“三区”“三线”划定、对地表基质的利用模式等。碳储碳汇指不同类型、不同深度层次的黑土地地表基质的碳密度、碳储量、对碳源与碳汇的贡献及储碳潜力等。

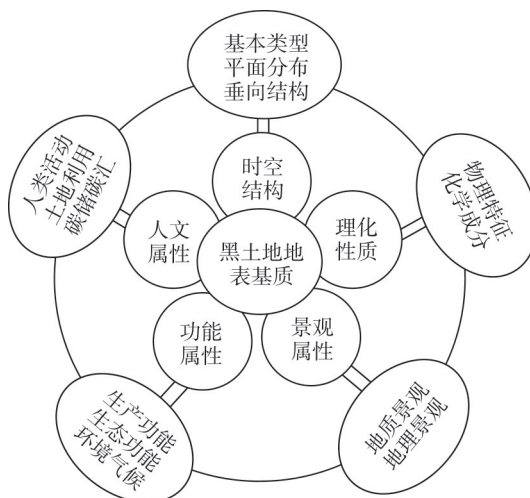


图2 黑土地地表基质调查要素—指标体系
(据文献 [30] 修改)

Fig. 2 Elements-index system for investigation of black soil ground substrate

3.4 调查评价方法

黑土地地表基质调查按照资料准备（预研究）、实地调查和综合研究三个阶段开展工作，各阶段调查方法见图3。

3.5 宝清地区黑土地资源现状及适宜性评价

3.5.1 黑土地地表基质现状

宝清地区位于黑龙江省东部，三江平原腹地的双鸭山市，县域面积10001.28 km²。平面上，岩石基质1179.27 km²、砾质基质50.13 km²、土质基质8255.48 km²、泥质基质516.40 km²。土质基质中，黑土类基质8255.48 km²，占县域面积82.55%，土壤类型以暗棕壤土、草甸土、沼泽土为主。土地利用类型主要为耕地，面积5064.04 km²，占全县面积的50.64%，全部为黑土类地表基质。其次为乔木林地，面积3614.47 km²，占全县面积的36.14%；水域和水利设施用地694.53 km²、草地256.26 km²，分别占6.94%、2.56%。耕地主要分布在中—北部平原和河流两岸阶地地区，部分在低山丘陵区。林地主要在南侧山区。全县表层黑土厚度（统一采用土壤学A+B层厚度）在0~230 cm，平均31.09 cm。不同地貌区表层黑土基质厚度差异性大，整体上表现为中南部薄、北部东西两端厚的特点。北部七星泡湿地和挠力河流域附近黑土层厚度最厚，达100 cm以上，平原区平均47.78 cm，低山丘陵区相对较薄，平均21.5 cm。按照表层黑土层厚度，分别划分了低山丘陵浅薄区、山前地带较薄区、水域发育地带较薄区及平原湿地较厚区四个区域，黑土层厚度分别介于18~25 cm、21~50 cm、25~40 cm及30~69 cm之间。表层黑土基质厚度不足10 cm的区域面积721.69 km²，其中耕地240.49 km²，主要分布在七星泡镇

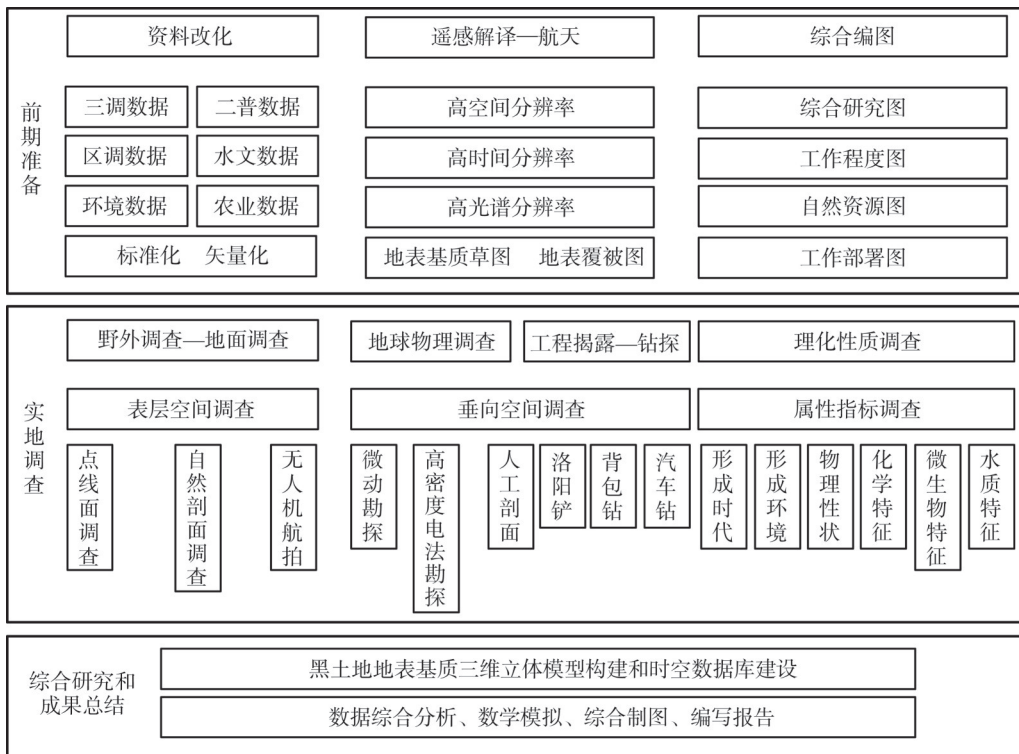


图3 黑土地地表基质全流程一体化调查工作手段示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the working means of the whole process integrated investigation of black soil ground substrate

南部和部分低山丘陵区。全县表层黑土基质有机质含量在 11.38~100.16 g/kg, 平均 45.79 g/kg; 其中湿地地区最高, 为 81.7 g/kg, 其次为林地 53.20 g/kg, 耕地 47.63 g/kg。

垂向上, 10 m 以浅, 以挠力河水系为界, 河流右岸除河漫滩外土质结构单一, 均为黏土; 河流左岸受水流冲积呈上部黏土、下部砂土的双层结构; 50 m 以浅, 主要为黏土层、粉质黏土与砂土互层夹薄层淤泥层、砂土与含砾砂土互层夹淤泥层的多层结构。南部低山丘陵区地表基质层结构主要为“下部岩石+上部土质”的简单双层结构, 局部中间夹砾质层。在挠力河流域冲洪积平原区 50 m 以浅的深部发现 2~3 层黑土基质层: 第一层黑土厚度 60~260 cm, 深度在 2.15~14.04 m, 有机质含量 23.8~43.8 g/kg; 第二层厚度 100~520 cm, 深度在 5.55~40 m, 有机质含量 38.1~67.8 g/kg。两层黑土均为黑色—灰黑色黏土, 有腐泥味, 块状结构, 切口光滑, 可塑性强, 土质细腻, 手搓成细条, 肉眼可见植物残体。第一层黑土为湖相沉积形成, 主要基质类型为黏土, 局部夹砂质黏土; 第二层黑土为河流相沉积形成, 从下部到上部可划为粗砂—砂质黏土—黑土、细砂—砂质黏土—黑土两个沉积旋回。黑土层主要发育在每个沉积旋回的顶部, 反映了早期河流沉积存在水动力环境由强变弱、河水退却、植物生长和腐烂、有机质积累、黑土层形成的沉积过程, 后期又经历较长时间的湖相沉积、湖水退却、表层现代黑土层形成的过程 (图 4)。

3.5.2 表层黑土基质利用及变化情况

宝清地区近 75 年来, 大量林地、草地和未利用地被开垦为耕地, 未利用地减少 1213.82 km², 林地减少 312.93 km², 草地、水田、旱田以及水域、建设用地等都有所增加。黑土资源开发利用强度较大, 局部存在过度开发情况, 黑土地生态系统发生了较大改变。受地形、人类活动和自然作用影响, 宝清地区表层黑土资源层存在厚度减薄、有机质含量降低、容重增加等变化。表层黑土平均厚度从“二普”的 61.94 cm 下降到 2021 年的 47.78 cm, 减薄了 14.16 cm, 年均减薄 0.34 cm。耕地表层黑土层有机质平均含量为 47.63 g/kg, 与“二普”相比, 减少 11.97 g/kg, 年均减少 0.32 g/kg。耕地黑土层上部 20 cm 的平均容重为 1.21 g/cm³, 大于 20 cm 的深部平均容重为 1.19 g/cm³。根据“二普”剖面同点重访调查, 容重最大增高了 0.3 g/cm³。根据调查结果, 宝清地区目前地表基质表层黑土重金属含量均未超标, 也不存在农药污染; 地表水和地下水水质达标; 耕地黑土层 pH 平均值为 6.00, 总体有机质平均含量高于规划纲要确定的目标值 (30 g/kg), 且耕层土质容重也在适耕范围内, 黑土地地表基质处于绿色清洁健康的状态。

3.5.3 黑土地地表基质适宜性评价和黑土资源利用开发建议

黑土地地表基质调查成果, 特别是地表基质空间结构以及理化性质等属性特征, 可以很好地用于地表基质适宜性评价工作。宝清地处中纬度欧亚大陆东岸, 属湿润半湿润大陆性季风气候, 年均气温 2.4 °C, 无霜期 143 天, 年均降雨量 551.5 mm、年均蒸发量 857.7 mm、潜水面深度 5~8 m (平均 6.4 m), 自然地理和气候条件特别适宜耕种。调查区东、西、南三面被完达山脉环抱, 平原区地势由西南向东北逐渐倾斜, 海拔多在 60~100 m。结合黑土地地表基质调查成果和地貌特征, 将宝清地区划分为低山丘陵区 (黑土资源利用类型主要为林地、草地, 其次为耕地)、山前过渡区 (黑土资源利用类型主要为林地, 其次为耕地、草地)、水域发育区 (黑土资源利用类型主要为湖泊、湿地、河流)、河流阶地区 (黑土资源利用类型主要为草地、耕地)、冲洪积平原区 (黑土资源利用类型主要为耕地) 等黑土资源利用区域。这些区域的黑土地地表基质特征, 如表层黑土资源 (厚度、有机质含量)、成土母质特征 (类型、厚度、质地、潜水面、有效含水量

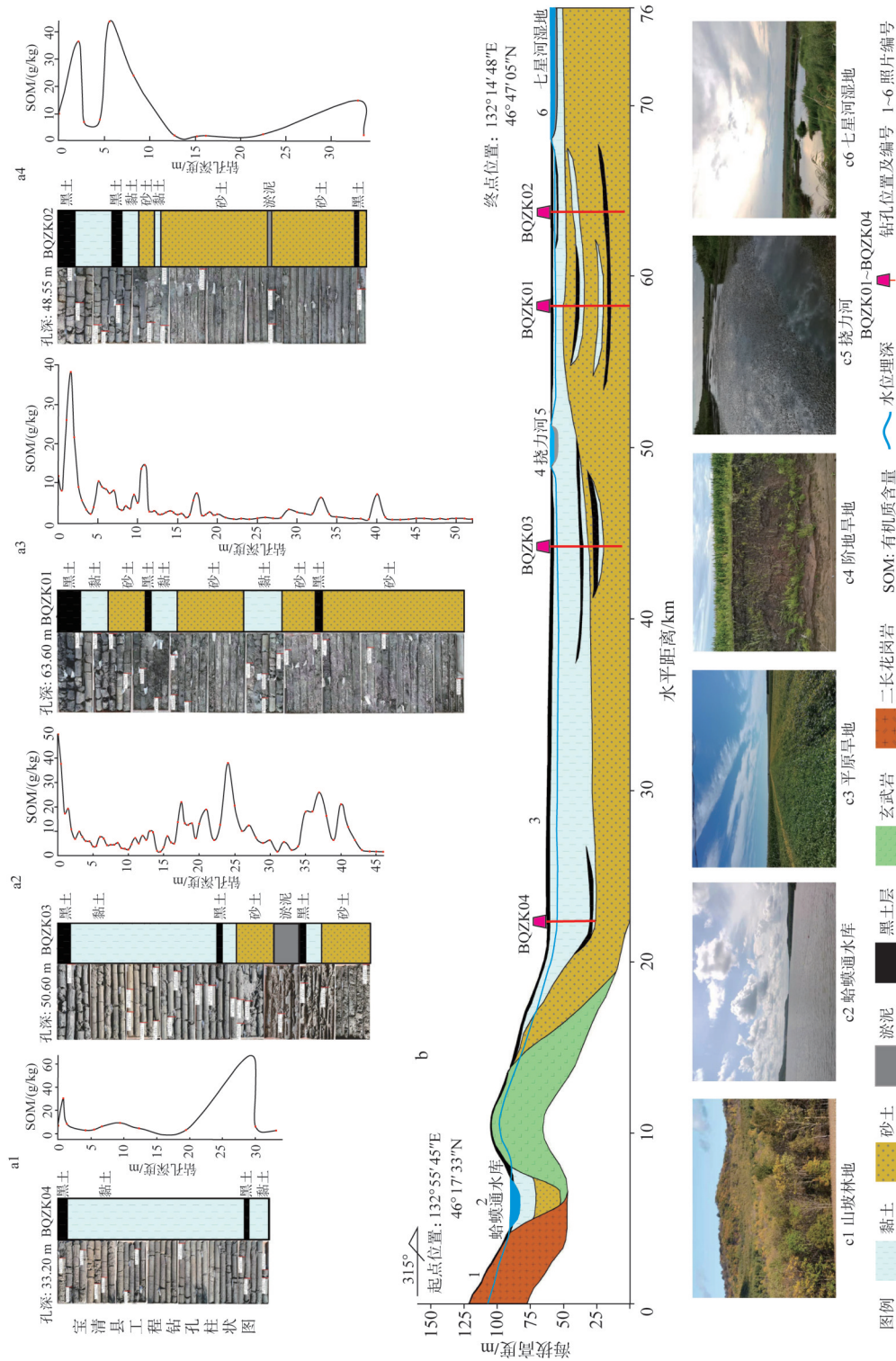


图4 宝清地区黑土地表基质空间结构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of spatial structure of ground substrate of black soil in Baoqing

等)等差异比较明显,黑土资源利用方式也不尽相同。表层黑土厚度从厚到薄依次是平原区、水域发育区(主要指湿地)、河流阶地区、山前过渡区、低山丘陵区;而表层黑土有机质含量从高到低大致是低山丘陵区、水域发育区(主要为湿地)、山前过渡区、平原区和河流阶地区。从地表基质空间结构特征分析,宝清地区91%的耕地在平原区,成土母质为黏土,有效土层厚度超过2 m以上且稳定分布,为耕地适宜区,要作为基本农田和高标准农田规划区,同时要采取休耕、轮作等方式,合理进行利用和开发,不断提升黑土资源潜力。河流两岸阶地和山前过渡区部分耕地,成土母质多为砂质土或砂质、局部砾质,有效土层薄、变化快、不稳定,且地表极易遭受水力、重力作用侵蚀,总体应作为生态区科学合理规划,以林地和草地为主进行规划,局部可开发为耕地,加强水土保持。低山丘陵区耕地成土母质为粗骨土或砂质土,有效土层厚度不足30 cm,为林地或草地适宜区,应作为水源涵养区退耕还林还草进行重点保护,禁止黑土资源开发利用为耕地或其他生产用地。

4 地表基质调查展望

开展基于地表基质的中国东北黑土地资源调查评价,并在此基础上拓展理论和应用研究,对按照“宜林则林、宜草则草、宜耕则耕、宜荒则荒”的原则,科学合理利用开发包括黑土资源在内的土地资源,具有十分重大而深远的意义。

一是地表基质调查理论框架的构建。以地球系统科学理论为指导,以服务生态文明和自然资源统一管理为目标,以地质学为基础,融合生态学、地理学、土壤学以及自然资源等综合学科,建立包含基础地质、地表基质、地理地貌、地表覆盖、功能服务等要素的地表基质理论体系,指导地表基质调查工作全面推进实施,支撑自然资源调查监测体系的构建。

二是重点地区地表基质调查。以服务东北黑土资源合理利用开发为目标的黑土地地表基质调查为牵引,启动实施我国粮食主产区、生态功能区、战略规划区等重点区域地表基质层调查,特别是加强1~10 m深度范围地表基质层空间结构和本底属性调查,为包括黑土资源在内土地资源规划利用、生态保护修复提供数据支撑。

三是基于地表基质的自然资源区域配置和生态—环境效应研究。充分利用地表基质调查数据和已有成果资料,运用科学的模拟计算手段,开展整个东北黑土地地区、流域、行政区等不同尺度的自然资源空间布局优化配置研究,支撑黑土资源合理利用开发、系统治理和保护修复,服务经济社会与生态环境协调可持续发展。

参考文献(References):

- [1] 李丹丹,陈明.“耕地中的大熊猫”:寒地黑土.中国矿业报,2021-05-28(004).[LI D D, CHEN M. "Giant panda in cultivated land": Black soil in cold region. China Mining News, 2021-05-28(004).]
- [2] 韩晓增,李娜.中国东北黑土地研究进展与展望.地理科学,2018,38(7): 1032-1041.[HAN X Z, LI N. Research progress of black soil in Northeast China. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(7): 1032-1041.]
- [3] 白焯.东北黑土地的危机与拯救.生态经济,2021,37(1): 9-12.[BAI Y. Crisis and rescue of northeast black land. Ecological Economy, 2021, 37(1): 9-12.]
- [4] 梁爱珍,李禄军,祝惠.科技创新推进黑土地保护与利用,齐力维护国家粮食安全:用好养好黑土地的对策建议.中国科学院院刊,2021,36(5): 557-564.[LIANG A Z, LI L J, ZHU H. Protection and utilization of black land and making concerted and unremitting efforts for safeguarding food security promoted by sci-tech innovation: Countermeasures in

- conservation and rational utilization of black land. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2021, 36(5): 557-564.]
- [5] 张新荣, 焦洁钰. 黑土形成与演化研究现状. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2020, 50(2): 553-568. [ZHANG X R, JIAO J Y. Formation and evolution of black soil. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2020, 50(2): 553-568.]
- [6] 林年丰, 汤洁, 卞建民, 等. 东北平原第四纪环境演化与荒漠化问题. *第四纪研究*, 1999, (5): 448-455. [LIN N F, TANG J, BIAN J M, et al. The quaternary environmental evolution and the problem of desertification in Northeast Plain. *Quaternary Sciences*, 1999, (5): 448-455.]
- [7] 宋运红, 刘凯, 戴慧敏, 等. 松嫩平原东部典型黑土剖面孢粉组合及其时代和古气候意义. *地质通报*, 2020, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4648.P.20201015.0930.002.html>. [SONG Y H, LIU K, DAI H M, et al. Palynological assemblages of typical black soil profile in the Eastern Songliao Plain and their age and paleoclimatic significances. *Geological Bulletin of China*, 2020, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4648.P.20201015.0930.002.html>.]
- [8] 刘忆莹, 裴久渤, 汪景宽. 东北典型黑土区耕地有机质与pH的空间分布规律及其相互关系. *农业资源与环境学报*, 2019, 36(6): 738-743. [LIU Y Y, PEI J B, WANG J K. Spatial distribution and relationship between organic matter and pH in the typical black soil region of Northeast China. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(6): 738-743.]
- [9] 王文娟, 张树文, 方海燕. 东北典型黑土区坡沟侵蚀耦合关系. *自然资源学报*, 2012, 27(12): 2113-2122. [WANG W J, ZHANG S W, FANG H Y. Coupling mechanism of slope-gully erosion in typical black soil area of Northeast China. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(12): 2113-2122.]
- [10] 范昊明, 蔡强国, 陈光, 等. 世界三大黑土区水土流失与防治比较分析. *自然资源学报*, 2005, 20(3): 387-393. [FAN H M, CAI Q G, CHEN G, et al. Comparative study of the soil erosion and control in the three major black soil regions in the world. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(3): 387-393.]
- [11] 王文娟, 邓荣鑫, 张树文. 东北典型黑土区沟蚀发生风险评价研究. *自然资源学报*, 2014, 29(12): 2058-2067. [WANG W J, DENG R X, ZHANG S W. Preliminary research on risk evaluation of gully erosion in typical black soil area of Northeast China. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(12): 2058-2067.]
- [12] 王晓东, 刘惠清, 樊政霖. 吉林省大黑山东西坡黑土退化的对比分析. *自然资源学报*, 2009, 24(4): 674-682. [WANG X D, LIU H Q, FAN Z L. Analysis of the degradation mechanism of black soil on eastern and western slope of Dahei Mountain, Jilin province. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(4): 674-682.]
- [13] 李保国, 王祥, 王影, 等. 梨树模式呵护“耕地中的大熊猫”. *中国自然资源报*, 2021-05-18(006). [LI B G, WANG X, WANG Y, et al. Lishu model protects "giant pandas in cultivated land". *China Natural Resources News*, 2021-05-18(006).]
- [14] 韩晓增, 邹文秀. 东北黑土地保护利用研究足迹与科技研发展望. *土壤学报*, 2021, 58(6): 1341-1358. [HAN X Z, ZOU W X. Research perspectives and footprint of utilization and protection of black soil in Northeast China. *Acta Pedologica Sinica*, 2021, 58(6): 1341-1358.]
- [15] 汪景宽, 徐番茄, 裴久渤, 等. 东北黑土地地区耕地质量现状与面临的机遇和挑战. *土壤通报*, 2021, 52(3): 695-701. [WANG J K, XU X R, PEI J B, et al. Current situations of black soil quality and facing opportunities and challenges in Northeast China. *Chinese Journal of Soil Science*, 2021, 52(3): 695-701.]
- [16] 自然资源部. 自然资源部关于印发《自然资源调查监测体系构建总体方案》的通知, 2020, http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200117_2498071.html. [Ministry of Natural Resources. Notice of the Ministry of Natural Resources on issuing the Overall Plan for the Construction of the Natural Resources Investigation and Monitoring System, 2020, http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200117_2498071.html.]
- [17] 自然资源部. 自然资源部办公厅印发《地表基质分类方案(试行)》的通知, 2020, http://gi.mnr.gov.cn/202012/t20201222_2596025.html. [Ministry of Natural Resources. Notice of the General Office of the Ministry of Natural Resources printing and distributing the Ground Cover Layer Classification Scheme(trial), 2020, http://gi.mnr.gov.cn/202012/t20201222_2596025.html.]
- [18] 葛良胜, 夏锐. 自然资源综合调查业务体系框架. *自然资源学报*, 2020, 35(9): 2254-2269. [GE L S, XIA R. Research on comprehensive investigation work system of natural resources. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(9): 2254-2269.]
- [19] 葛良胜, 杨贵才. 自然资源调查监测工作新领域: 地表基质调查. *中国国土资源经济*, 2020, 9(4): 4-11. [GE L S, YANG G C. New field of natural resources survey and monitoring: Ground substrate survey. *Natural Resources Economics of China*, 2020, 9(4): 4-11.]
- [20] 自然资源部. 自然资源部关于促进地质勘查行业高质量发展的指导意见, 2021, http://gi.mnr.gov.cn/202105/t20210513_2631934.html. [Ministry of Natural Resources. Guiding opinions of the Ministry of Natural Resources on promoting high-quality development of geological exploration industry, 2021, http://gi.mnr.gov.cn/202105/t20210513_2631934.html.]

- [21] National Research Council. Basic Research Opportunities in Earth Sciences. Washington DC: National Academy Press, 2001: 1-10.
- [22] 安培浚, 张志强, 王立伟. 地球关键带的研究进展. 地球科学进展, 2016, 31(12): 1228-1234. [AN P J, ZHANG Z Q, WANG L W. Review of earth critical zone research. Advances in Earth Science, 2016, 31(12): 1228-1234.]
- [23] XU X L, LIU W. The global distribution of Earth's critical zone and its controlling factors. Geophysical Research Letters, 2017, 44: 1-8.
- [24] LIN H. Earth's critical zone and hydrogeology: Concepts, characteristics and advances. Hydrology and Earth System Sciences, 2010, 6(1): 3417-3481.
- [25] CHOROVER J, KRETZSCHMAR R, GARCIA-PICHEL F, et al. Soil biogeochemical processes within the critical zone. Elements, 2007, 3(5): 321-326.
- [26] 侯红星, 鲁敏, 张中跃. 廊坊自然资源综合调查中心率先启动地表基质层试点调查. 中国自然资源报, 2021-01-21(7). [HOU H X, LU M, ZHANG Z Y. Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center took the lead in launching a pilot survey of the ground substrate layer. China Natural Resources News, 2021-01-21(7).]
- [27] 侯红星, 张蜀冀, 孙肖, 等. 自然资源地表基质调查工程2020—2022年实施方案. 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 2020. [HOU H X, ZHANG S J, SUN X, et al. 2020-2022 implementation plan of the natural resources ground substrate survey project. Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, 2020.]
- [28] 鲁敏, 侯红星, 王献, 等. 河北省保定地区自然资源地表基质层试点调查2020年实施方案. 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 2020. [LU M, HOU H X, WANG X, et al. 2020 implementation plan for the pilot survey of the ground substrate layer of natural resources in Baoding, Hebei. Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, 2020.]
- [29] 侯红星, 张蜀冀, 鲁敏, 等. 自然资源地表基质层调查技术方法新经验: 以保定地区地表基质层调查为例. 西北地质, 2021, 54(3): 277-288. [HOU H X, ZHANG S J, LU M, et al. New experience of the natural resources ground substrate layer survey technology method: Taking Baoding area ground substrate layer survey as an example. Northwestern Geology, 2021, 54(3): 277-288.]
- [30] 侯红星, 葛良胜, 孙肖, 等. 地表基质调查内容及要素—属性指标体系探讨. 自然科学, 2021, 9(4): 433-442. [HOU H X, GE L S, SUN X, et al. Discussion on the contents of ground substrate investigation and the index system of elements and attributes. Open Journal of Natural Science, 2021, 9(4): 433-442.]
- [31] 殷志强, 秦小光, 张蜀冀, 等. 地表基质分类及调查初步研究. 水文地质工程地质, 2020, 47(6): 8-14. [YIN Z Q, QIN X G, ZHANG S J, et al. Preliminary study on classification and investigation of surface substrate. Hydrogeology and Engineering Geology, 2020, 47(6): 8-14.]
- [32] 白超琨, 侯红星, 付宪军, 等. 综合物探方法在河北保定地区地表基质层试点调查中的应用. 自然科学, 2021, 9(4): 414-425. [BAI C K, HOU H X, FU X J, et al. Application of comprehensive geophysical method to ground substrate layer pilot survey in the area of Baoding, Hebei. Open Journal of Natural Science, 2021, 9(4): 414-425.]
- [33] 韩晓增, 颜春起. 中国东北农田土壤水分属性及调控. 北京: 科学出版社, 2005. [HAN X Z, YAN C Q. Regulation and Properties of Soil Water in Farmland in Northeast China. Beijing: Science Press, 2005.]
- [34] 辛景树, 汪景宽, 薛彦东. 东北黑土区耕地质量评价. 北京: 中国农业出版社, 2017. [XIN J S, WANG J K, XUE Y D. Dongbei Heituqu Gengdi Zhiliang Pingjia. Beijing: China Agriculture Press, 2017.]
- [35] 王玉斌, 孔祥斌. 科学保护修复治理黑土地. 经济日报, 2021-04-13. [WANG Y B, KONG X B. Scientific protection, restoration and management of black land. Economic Daily, 2021-04-13.]
- [36] 翟富荣, 梁师, 戴慧敏. 东北黑土地地球化学调查研究进展与展望. 地质与资源, 2020, 29(6): 503-509, 532. [ZHAI F R, LIANG S, DAI H M. Geochemical survey of black land in Northeast China: Progress and prospect. Geology and Resources, 2020, 29(6): 503-509, 532.]
- [37] 戴慧敏, 赵君, 刘国栋, 等. 东北黑土地质量调查成果. 地质与资源, 2020, 29(3): 299. [DAI H M, ZHAO J, LIU G D, et al. Progress in the quality survey of black soil in Northeast China. Geology and Resources, 2020, 29(3): 299.]
- [38] 杨帆, 宗立, 沈珏琳, 等. 科学理性与决策机制: “双评价”与国土空间规划的思考. 自然资源学报, 2020, 35(10): 2311-2324. [YANG F, ZONG L, SHEN J L, et al. Scientific rational orientation and decision-making support orientation: The thinking of "double evaluation" and territorial spatial planning. Journal of Natural Resources, 2020, 35(10): 2311-2324.]
- [39] 王亚辉, 李秀彬, 辛良杰. 耕地地块细碎程度及其对山区农业生产成本的影响. 自然资源学报, 2019, 34(12): 2658-

2672. [WANG Y H, LI X B, XIN L J. Characteristics of cropland fragmentation and its impact on agricultural production costs in mountainous areas. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(12): 2658-2672.]

[40] 自然资源部. 自然资源部办公厅关于开展黑土地地表基质调查试点工作的通知(非公开), 2021. [Ministry of Natural Resources. Notice of the General Office of the Ministry of Natural Resources on carrying out the pilot work of investigating the surface matrix of black land (not public), 2021.]

A study on the application of ground substrate in the survey and evaluation of China's black soil resources: Based on ground substrate survey in Baoqing, Heilongjiang province

HOU Hong-xing¹, GE Liang-sheng², SUN Xiao¹, KONG Xiang-Bin³, LU Wei-hua⁴,
QIN Tian¹, KONG Fan-peng⁵, YANG Hua-ben⁶, YANG Ke⁶

(1. Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Langfang 065000, Hebei, China; 2. Comprehensive Survey Command Center for Natural Resources, China Geological Survey, Beijing 100055, China; 3. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100000, China; 4. Department of Investigation and Monitoring, Ministry of Natural Resources, Beijing 100812, China; 5. Mudanjiang Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Mudanjiang 157021, Heilongjiang, China; 6. Harbin Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Harbin 150086, China)

Abstract: Ground substrate, which can nurture the basic materials that support various natural resources, is the basic material formed by the natural action. Different types of ground substrates, such as rock, gravel, sand, soil, and mud, form the surface substratum layer through the organic combination of water, gas and biomass by natural action, and nurture and support each other with the surface cover layer, which maintains the normal operation of the earth's surface ecosystem and provides production, ecological and living services for human beings. As a type of invaluable natural resources, the black soil in Northeast China is a special ground substrate layer that supports and nurtures large areas of arable soil and forest soil, and serves a production and ecological service function that cannot be ignored. More and more attention has been paid to the rational utilization and development of black soil resources at home and abroad. Through the pilot survey of black soil ground substrate in Baoqing, the content, index elements and technical requirements for the survey were constructed, and the "four-in-one" survey and evaluation of black soil ground substrate quantity, quality, structure and function were carried out. On the basis of the understanding of the current situation of black soil resources in Baoqing, we proposed some suggestions on the evaluation of the rationality and development suitability of black soil resources. The comprehensive survey and evaluation of the suitability of black soil resources based on the ground substrate is of great and far-reaching significance to the scientific and rational protection and use of black soil resources.

Keywords: ground substrate; natural resources; black soil; suitability evaluation