

河南新县北缘油茶林土壤理化特性研究

肖斌^{1,2}, 彭家顺², 夏建梅³, 曾凡朴³, 胡冬南^{2*}

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业实验中心, 江西分宜 336600; 2. 江西农业大学林学院, 江西南昌 330045; 3. 羚锐油茶研究院, 河南新县 464000)

摘要 [目的]了解我国油茶栽培北缘地区河南新县油茶林土壤理化特性,为油茶林地管理提供理论依据。[方法]采用环刀法、比重计法、吸管法、土壤养分状况系统研究法(ASI)等测定了土壤基本理化性质。[结果]新县油茶林土壤容重在 $1.02\sim 1.75\text{ g/cm}^3$,土壤含水率、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、初渗率、稳渗率、平均入渗率变化幅度大,土壤颗粒含量比例为 $6.0:2.5:1.5$,土壤质地为砂质壤土。油茶林地有效N、有效P、有效Mg含量表现缺乏,有效Fe、有效Mn含量表现丰富,且有效P、有效Mg变异系数分别为 172.61% 、 126.12% ,表现为强变异。相关性表明,油茶林地土壤理化性质之间存在显著、极显著的正负相关性。[结论]新县油茶林应有针对性地进行林地管理,及时补充N、P、Mg肥,控制或减少Fe、Mn肥的施加,同时P、Mg肥的施加应注重空间位置性,合理利用土壤理化性质之间的相关性。

关键词 北缘油茶林;土壤理化特性;新县

中图分类号 S714 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)06-0101-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.06.023



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Soil Physical and Chemical Properties of *Camellia oleifera* Plantation in the Northern Margin of Xin County, Henan ProvinceXIAO Bin^{1,2}, PENG Jia-shun², XIA Jian-mei³ et al (1. Subtropical Forestry Experimental Center, Chinese Academy of Forestry, Fenyi, Jiangxi 336600; 2. College of Forestry, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045; 3. Lingrui Camellia Research Institute, Xin County, Henan 464000)

Abstract [Objective] In order to understand the soil physical and chemical properties of *Camellia oleifera* forest in Xin County, Henan Province in the northern margin of the cultivation of *Camellia oleifera* in China, and to provide a theoretical basis for the management of *Camellia oleifera* forest land. [Method] The basic physical and chemical properties of soil were determined by the ring knife method, hydrometer method, straw method, and soil nutrient status system research method (ASI). [Result] The soil bulk density of *Camellia oleifera* forest in Xin County varied from 1.02 g/cm^3 to 1.75 g/cm^3 , and the soil moisture content, capillary, non-capillary porosity, initial permeability, stable infiltration rate, and average infiltration rate varied greatly. The particle content ratio was approximately $6.0:2.5:1.5$, and the soil texture was sandy loam. The content of N, P, and Mg in *Camellia oleifera* woodland was lacking, and the content of Fe and Mn was rich. The effective P and effective Mg coefficients of variation were 172.61% and 126.12% , respectively, showing strong variation. According to the correlation, there were significant and extremely significant positive and negative correlations between the soil physical and chemical properties of *Camellia oleifera* forest. [Conclusion] Xin County *Camellia oleifera* forest should be managed in a targeted manner, supply N, P, Mg fertilizers in time, control or reduce the application of Fe and Mn fertilizers, and the application of P and Mg fertilizers should pay attention to the spatial location and rationally use the correlation between the physical and chemical properties of the soil.

Key words *Camellia oleifera* forest in the northern margin; Soil physical and chemical properties; Xin County

油茶(*Camellia oleifera* Abel)属山茶科山茶属,为常绿小乔木或灌木,是我国重要的经济树种和木本油料作物,与油橄榄、棕榈、椰子并称为世界四大木本食用油料植物^[1]。油茶主要集中分布在长江流域以南,其中江西、湖南、广西3省的油茶林地种植面积占全国的 76.2% ^[2]。北缘油茶林占比少,但仍有大量分布,地处鄂豫皖3省交界、大别山腹地之北缘区的新县,是全国100个油茶产业发展重点县之一,是河南省木本油料重点示范县,新县共有油茶面积达 2万 hm^2 ,其中传统野生油茶面积约 1.3万 hm^2 ,年产茶油达到 15 000 t ,产值5亿元,其油茶产量综合产值位居全省之首、全国前列,是我国油茶北缘区域的“油茶之乡”。

土壤物理性质不同会导致土壤的水、肥、气、热等的变化,影响着植物群落的发生、发育和演替的速度^[3-4]。同时,土壤养分含量直接影响林木的生长,亏缺某一营养元素会影响植物的生长及产量^[5-6]。土壤理化性质体现了土壤环境的

基本情况,是土壤质量变化最基本的表征和基本内容^[7]。新县油茶约 67% 为老油茶林,这些油茶大多分布在山坡地,地势复杂,经营粗放,产量低,稳产性差,因此,老油茶林的改造成为新县油茶产业发展的当务之急,研究油茶林土壤理化性质对低效油茶林改造极具意义^[8]。目前对油茶林土壤理化性质的研究主要集中于南方油茶林,且主要围绕氮、磷、钾土壤养分展开研究,如通过对比南方不同林龄油茶林及不同经济林土壤理化性质的差异,可为油茶林土壤氮、磷、钾养分管理及对林地改造提供理论依据^[8-10]。笔者以我国河南新县北缘油茶林为研究对象,研究油茶林土壤大中微量养分含量以及土壤基本物理结构特性,了解北缘油茶林土壤理化特性,旨在为新县油茶林地管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究地位于河南省信阳市新县,地理坐标为 $114^{\circ}32'30''\sim 115^{\circ}13'12''\text{E}$, $31^{\circ}28'12''\sim 31^{\circ}49'53''\text{N}$ 。该县地处大别山腹地,鄂豫两省交接地带,东与商城县接壤,南与湖北黄冈市毗邻,西与罗山县交界,北与光山县相连。最高海拔 1 011 m ,最低海拔 60 m 。属北亚热带向暖温带过渡的气候带,该区四季分明,雨量充沛,雨热同季,年平均气温 $15.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,年日照时数 2 008 h ,无霜期 222 d ,年均降水量

基金项目 河南省重大科技专项(171100110400);河南省高等学校重点科研项目(19A220001)。**作者简介** 肖斌(1994—),男,江西新余人,助理工程师,硕士,从事水土保持研究。*通信作者,教授,博士,从事林木遗传育种研究。**收稿日期** 2021-06-17

1 373.4 mm。油茶林土壤以黄棕壤为主,成土母岩主要有花岗岩、片麻岩、砂页岩等。新县传统野生油茶面积约1.3万 hm^2 ,主要分布在新县周河乡、田铺乡、沙窝镇、八里畈镇、千斤乡、吴陈河镇、新集镇,遍布新县各区域。

1.2 样品采集及土壤理化特性的测定 土壤样品于2018年9—10月采集,根据新县县域油茶林分布状况,分别在新县周河乡、沙窝镇、千斤乡、田铺乡、吴陈河镇、八里畈镇、新集镇设置调查取样地。选择花岗岩母质、土壤类型、油茶树势基本一致的野生油茶林。在每一地块油茶林中设置样地20 $\text{m} \times 20\text{m}$,按照五点取样法挖掘土壤剖面,以密封袋、环刀、铝盒采集土壤样品,贴好标签,带回实验室。将密封袋中采集的土壤样品混合均匀,采用四分法去除多余的土样,将剩余的土样放置在晾土实验室自然风干,备用。

土壤容重、持水性、渗透性均采用环刀法进行测定,采用烘干法测定土壤含水率,土壤孔隙度公式:土壤孔隙度=(1-土壤容重/土壤比重) $\times 100\%$,其中,土壤容重=烘干土质量/环刀体积,土壤比重通过比重瓶测定。采用吸管法测定土壤颗粒组成,使用 $\text{HClO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ 联合消煮,采用靛酚蓝比色法测定溶液中的氮含量,采用钼锑抗比色法测定溶液中的磷含量,然后计算出土壤的全氮和全磷含量(不间断化学分析仪Smartchem 200, Rome, Italy)。采用火焰光度计法测定土壤全钾含量。采用ASI土壤养分状况系统研究法测定pH、活性酸、有机质以及土壤中大中微量养分元素含量。

1.3 数据处理 采用Excel 2003对数据进行整理,用SPSS 17.0软件对整理数据进行描述性统计分析,采用Pearson双变量相关性分析法($P < 0.05$)对相关数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 油茶林土壤物理特性 土壤物理性质是衡量林地质量的一个重要指标,它对土壤蓄水保肥能力以及林木对土壤养分的吸收和利用有重要影响^[11]。对新县油茶林土壤基本物理性质进行测定,描述性统计结果见表1。由表1可知,土壤容重为1.02~1.75 g/cm^3 ,土壤含水率变化幅度大,为2.97%~35.57%,表明新县各地区油茶林土壤保水能力存在差异,土壤含水量低,不利于油茶的生长发育。从孔隙度上看,土壤非毛管孔隙度和毛管孔隙度变化幅度均较大,且非毛管孔隙度变异系数高。毛管孔隙的水分主要用于土壤蒸发和植物生长,毛管孔隙度低不利于植物的生长,而非毛管孔隙可以下渗和吸收降水,直接与土壤的含水量有关^[12]。从持水性看,田间持水量、毛管持水量、最大持水量变化幅度不大,变异系数不高,表明土壤持水性能相对较稳定。从渗透性可以看出,土壤初渗率、稳渗率、平均入渗率均有较大的变化幅度,土壤稳渗率与平均入渗率趋于一致。新县油茶林土壤颗粒组成中,粗粉含量变化幅度大,变异系数相对较高,土壤颗粒含量表现为砂粒>粉粒>黏粒,比例大致为6.0:2.5:1.5。根据美国制土壤质地分类三角坐标图,新县油茶林土壤质地表现为砂质壤土。

表1 新县油茶林土壤基本物理特性

Table 1 Basic physical properties of the soil in *Camellia oleifera* forest in Xin County

指标 Index	容重 Bulk density g/cm^3	含水率 Moisture content %	非毛管 孔隙度 Non capillary porosity g/kg	毛管孔 隙度 Capillary porosity g/kg	总孔隙度 Total porosity g/kg	田间持 水量 Field water capacity g/kg	毛管 持水量 Capillary water holding capacity g/kg	最大 持水量 Maximum water holding capacity g/kg	初渗率 Initial infiltration rate mL/min
极大值 Maximum	1.75	35.57	51.23	56.65	60.63	475.61	526.77	597.32	56.24
极小值 Minimum	1.02	2.97	0.03	2.86	33.27	134.18	148.00	176.29	0.08
平均值 Mean	1.36	16.82	15.15	31.86	46.88	275.20	302.29	351.27	8.96
标准差 Standard deviation	0.17	7.00	13.21	10.27	6.59	65.76	73.07	79.25	11.52
变异系数 Coefficient of variation//%	12.50	41.62	87.19	32.23	14.06	23.90	24.17	22.56	128.57

指标 Index	稳渗率 Steady infiltration rate mL/min	平均入渗率 Average infiltration rate mL/min	黏粒 Clay particle g/kg	细粉+中粉 Fine powder + medium powder g/kg	粗粉 Coarse powder g/kg	细砂 Fine sand g/kg	中砂 Medium sand g/kg	粗砂 Coarse sand g/kg
极大值 Maximum	24.27	29.93	380.05	324.45	170.04	353.78	242.41	565.24
极小值 Minimum	0.02	0.03	72.36	52.34	6.55	89.68	63.76	48.38
平均值 Mean	3.03	3.86	161.31	162.85	76.96	215.59	128.44	254.85
标准差 Standard deviation	4.94	5.98	55.93	65.73	35.54	65.28	46.81	111.74
变异系数 Coefficient of variation//%	163.04	154.92	34.67	40.36	46.18	30.28	36.45	43.85

2.2 油茶林土壤化学特性 土壤养分的丰缺状况及存在形态决定着土壤的肥力状况,影响植被的生长繁衍^[13]。满足植物生长所需除了N、P、K养分外,土壤中微量养分的供应也是不可或缺的一部分。由表2可知,新县油茶林土壤整体呈酸性,活性酸含量变化幅度大,表明各地区油茶林土

壤保肥能力存在差异。有机质含量为0.74%~3.75%,变化幅度相对较小。土壤大中微量养分元素中,有效P、有效B分别为0~102.20、0~1.17 mg/kg ,表明在新县油茶林中存在P、B养分的缺失。有效P、有效Mg变异系数大于100%,表现为强变异,原因可能为土壤有效P不易被植物固持,易受降

雨等因素发生迁移。有效 Mg 含量与岩石风化有关,不同坡向油茶林地光照不同,影响岩石风化程度也不同,从而影响土壤 Mg 含量。

根据 ASI 土壤有效养分分级标准,由表 3 可知,土壤有效 N、有效 P、有效 Mg 含量低等级占比高,分别为 92.59%、83.33%、74.07%。相反,有效 Fe、有效 Mn 高等级占比高,分

别占比 100%、88.89%,表明新县油茶林极度缺乏 N、P、Mg 土壤养分,需要及时补充,否则难以满足油茶生长所需。同时新县油茶林有效 Fe、有效 Mn 含量丰富,应控制或减少这些养分的添加,以避免养分过量,既阻碍增产又造成生态环境污染。

表 2 新县油茶林土壤化学特性

Table 2 Soil chemical characteristics of *Camellia oleifera* forest in Xin County

指标 Index	pH	活性酸 Active acid cmol/L	有机质 Organic matter %	有效 N Available N mg/kg	有效 P Available P mg/kg	速效 K Available K mg/kg	有效 Ca Available Ca mg/kg	有效 Mg Available Mg mg/kg	有效 S Available S mg/kg
极大值 Maximum	6.14	3.70	3.75	99.60	102.20	229.90	2 836.70	759.80	25.40
极小值 Minimum	4.05	0.15	0.74	5.10	0	37.90	75.90	13.60	4.50
平均值 Mean	4.93	1.15	1.80	29.03	8.58	89.91	684.93	120.04	13.13
标准差 Standard deviation	0.47	0.90	0.59	22.93	14.81	40.69	607.50	151.40	4.43
变异系数 Coefficient of variation//%	9.53	78.26	32.78	78.99	172.61	45.26	88.70	126.12	33.74

指标 Index	有效 Fe Available Fe mg/kg	有效 Cu Available Cu mg/kg	有效 Mn Available Mn mg/kg	有效 Zn Available Zn mg/kg	有效 B Available B mg/kg	全 N Total N g/kg	全 P Total P g/kg	全 K Total K g/kg
极大值 Maximum	199.30	3.10	49.80	7.30	1.17	3.51	1.51	17.6
极小值 Minimum	32.70	0.10	7.20	0.40	0	0.92	0.15	0.46
平均值 Mean	84.03	1.57	26.16	2.73	0.46	2.11	0.70	6.15
标准差 Standard deviation	36.80	0.74	9.78	1.50	0.30	0.63	0.34	4.29
变异系数 Coefficient of variation//%	43.79	47.13	37.39	54.95	65.22	29.86	48.57	69.76

表 3 新县油茶林土壤有效养分分级状况

Table 3 Classification of soil available nutrients in *Camellia oleifera* forest in Xin County

养分元素 Nutrient elements	总样本数 Total number of samples 份	低 Low		中 Medium		高 High		极高 Excessive	
		样本数 Number of samples 份	比例 Proportion %						
有效 N Available N	54	50	92.59	4	7.41	0	0	0	0
有效 P Available P	54	45	83.33	6	11.11	2	3.70	1	1.86
速效 K Available K	54	23	42.59	22	40.74	5	9.26	4	7.41
有效 Ca Available Ca	54	20	37.04	26	48.15	8	14.81	0	0
有效 Mg Available Mg	54	40	74.07	9	16.67	5	9.26	0	0
有效 S Available S	54	23	42.59	29	53.70	2	3.71	0	0
有效 Fe Available Fe	54	0	0	0	0	54	100	0	0
有效 Cu Available Cu	54	12	22.22	29	53.70	12	22.22	1	1.86
有效 Mn Available Mn	54	0	0	6	11.11	48	88.89	0	0
有效 Zn Available Zn	54	21	38.89	15	27.78	16	29.63	2	3.70
有效 B Available B	54	11	20.37	26	48.15	11	20.37	6	11.11

2.3 油茶林土壤理化性质相关性分析 由表 4、5 可知,土壤 pH 与容重存在极显著正相关,与总孔隙度、中砂存在极显著负相关;活性酸与总孔隙度、黏粒存在显著和极显著正相关性;有机质与总孔隙度、非毛管孔隙度存在极显著正相关,与容重、田间持水量、细砂存在显著或极显著负相关,其中与容重的相关系数为-0.524。土壤物理特性大多对有机质影响较大。

N、P、K 养分方面,全 N 与总孔隙度、非毛管孔隙度存在极显著正相关,与容重、毛管孔隙度、细砂存在极显著负相

关。氨态氮与总孔隙度、非毛管孔隙度、黏粒存在极显著或显著正相关性,与容重、土壤持水性(最大持水量、毛管持水量、田间持水量)存在极显著或显著负相关。值得注意的是,硝态氮与土壤持水性存在极显著或显著正相关,表明土壤持水量对土壤氮硝的影响各不相同。全 P 与细砂、中砂存在正相关,与黏粒、细粉+中粉存在负相关,表明土壤颗粒大小对土壤全 P 影响较大。有效 P 只与含水率存在显著正相关。全 K 与土壤紧实度存在显著正相关性,土壤越紧实全 K 含量越低。速效 K 与含水率、细粉+中粉存在极显著或显著正相关,与中

砂存在极显著负相关,表明土壤颗粒大小影响速效 K 含量。

中量养分元素方面,有效 Ca 与有效 Mg 都与容重、土壤持水性、粉粒存在极显著或显著正相关,与非毛管孔隙度、中砂存在显著负相关性,表明土壤持水量、土壤颗粒大小、土壤孔隙度都会影响土壤有效 Ca、有效 Mg 的含量。有效 S 只与黏粒存在显著正相关性。

微量养分元素方面,有效 Fe、有效 Cu、有效 Mn 均与黏粒

存在显著或极显著正相关,其中有效 Fe 与黏粒的相关系数为 0.510,有效 Mn 与中砂存在显著负相关,有效 Zn 与细粉+中粉存在显著正相关,与土壤渗透性(初渗率、稳渗率、平均入渗率)、中砂存在显著或极显著负相关,说明土壤颗粒大小、土壤渗透性影响土壤有效 Zn 的含量。有效 B 与含水率、细粉+中粉存在显著或极正相关,与中砂存在极显著负相关,表明土壤颗粒大小影响土壤有效 B 含量。

表 4 新县油茶林土壤常规养分与土壤物理性质相关性

Table 4 Correlation of soil conventional nutrients and physical properties of *Camellia oleifera* forest

指标 Index	pH	活性酸 Active acid	有机质 Organic matter	全 N Total N	全 P Total P	全 K Total K	氨态氮 Ammoniacal nitrogen	硝态氮 Nitrate nitrogen	有效 P Available P	速效 K Available K
容重 Bulk density	0.415**		-0.524**	-0.446**		-0.292*	-0.421**			
含水率 Moisture content								0.282**	0.276*	0.323*
总孔隙度 Total porosity	-0.414**	0.278*	0.413**	0.361**		0.327*	0.354**			
毛管孔隙度 Capillary porosity				-0.362**						
非毛管孔隙度 Non capillary porosity			0.391**	0.462**			0.302*			
最大持水量 Maximum water holding capacity							-0.314*	0.387**		
毛管持水量 Capillary water holding capacity							-0.313*	0.337*		
田间持水量 Field capacity			-0.304*				-0.375**	0.270*		
黏粒 Clay particle		0.440**			-0.265*		0.328*	0.283*		
细粉+中粉 Fine powder + medium powder					-0.359**					0.462**
细砂 Fine sand			-0.495**	-0.419**	0.293*					
中砂 Medium sand	-0.337**				0.262*					-0.476**
粗砂 Coarse sand								-0.286*		

注: * 表示在 0.05 水平(双侧)显著相关, ** 表示在 0.01 水平(双侧)极显著相关

Note: * indicated significant correlation at 0.05 level (both sides), ** indicated extremely significant correlation at the 0.01 level (both sides)

表 5 新县油茶林中微量养分与土壤物理性质相关性

Table 5 Correlation of soil micro-nutrient and physical properties of *Camellia oleifera* forest

指标 Index	有效 Ca Available Ca	有效 Mg Available Mg	有效 S Available S	有效 Fe Available Fe	有效 Cu Available Cu	有效 Mn Available Mn	有效 Zn Available Zn	有效 B Available B
容重 Bulk density	0.351**	0.275*						
含水率 Moisture content	0.270*							0.279*
总孔隙度 Total porosity	-0.323*							
非毛管孔隙度 Non capillary porosity	-0.290*	-0.309*						
最大持水量 Maximum water holding capacity	0.381**	0.368**						
毛管持水量 Capillary water holding capacity	0.375**	0.359**						
田间持水量 Field capacity	0.397**	0.381**						
初渗率 Initial infiltration rate							-0.332*	
稳渗率 Steady infiltration rate							-0.373*	
平均入渗率 Average infiltration rate							-0.355*	
黏粒 Clay particle			0.317*	0.510**	0.271*	0.377**		
细粉+中粉 Fine powder + medium power	0.315*	0.269*					0.260*	0.337**
粗粉 Coarse powder	0.364**	0.329*						
细砂 Fine sand				-0.295*				
中砂 Medium sand	-0.310*	-0.262*				-0.271*	-0.357**	-0.341**

注: * 表示在 0.05 水平(双侧)显著相关, ** 表示在 0.01 水平(双侧)极显著相关

Note: * indicated significant correlation at 0.05 level (both sides), ** indicated extremely significant correlation at the 0.01 level (both sides)

3 结论与讨论

该研究结果表明,河南省信阳市新县油茶林土壤容重为 1.02~1.75 g/cm³,土壤含水率、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、

初渗率、稳渗率、平均入渗率变化幅度大,其中土壤稳渗率与平均入渗率相差不大。土壤颗粒含量表现为砂粒>粉粒>黏粒,比例大致为 6.0:2.5:1.5,油茶林地土壤质地表现为砂质

壤土。

新县油茶林土壤整体呈酸性,各地区油茶林土壤肥力存在差异,部分地区存在 P、B 养分的缺失。土壤有效 N、有效 Ca、有效 Mg、有效 Cu、有效 Zn、全 K 含量变化幅度大,其中有效 P、有效 Mg 在空间上表现为强变异。对新县油茶林土壤养分评价结果表明,土壤有效 N、有效 P、有效 Mg 含量低等级占比高,分别为 92.59%、83.33%、74.07%,有效 Fe、有效 Mn 高等级占比高,分别为 100%、88.89%。

油茶林地土壤物理性质与化学性质存在显著、极显著正负相关,其中容重与有机质的相关系数为-0.524,黏粒与有效 Fe 的相关系数为 0.510。容重影响土壤的通透性,从而影响土壤水分和养分的循环^[14],土壤有机质含量与土壤容重有一定的关联性^[15],表明土壤容重越小,有机质含量越丰富。同时土壤黏粒含量与有效 Fe 含量呈正相关性,新县油茶林土壤有效 Fe 含量丰富,表明油茶林中黏粒含量较为丰富,有利于有效 Fe 养分的保存。

由于不同气候条件(如光照、温度)以及人为管理等因素都会造成油茶林地土壤理化性质的差异,新县油茶林应有针对性地进行林地管理。对于 P、B 养分缺失的油茶林地应注意养分的施加,土壤有效 P、有效 Mg 在空间上表现为强变异性,这与张希鸥^[16]研究结果一致,P、Mg 养分的施加应注重空间位置性。河南新县是我国油茶分布区的北缘地区,该研究表明新县油茶林土壤 N、P、Mg 含量缺乏,Fe、Mn 含量丰富,这与胡冬南等^[17]对南方江西油茶林地的研究结果基本一致,可见南北方油茶林土壤养分丰缺状况具有相似性。因此,在油茶林地管理中应及时补充 N、P、Mg 肥,控制或减少

Fe、Mn 肥的施加,保证油茶正常生长发育,营造良好的土壤环境。

参考文献

- [1] 庄瑞林.中国油茶[M].2版.北京:中国林业出版社,2008.
- [2] 石伟勇.农副产品综合利用化学[M].杭州:浙江大学出版社,2000:116-131.
- [3] 郑存德.土壤物理性质对玉米生长影响及高产农田土壤物理特征研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2012.
- [4] 谭学进.黄土高原草地恢复对土壤物理性质的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [5] 丁晓纲,张应中,张祥宇,等.广东省油茶林地土壤养分分析[J].中国农学通报,2013,29(22):15-19.
- [6] 王玉娟,何小三,龚春,等.油茶成林地土壤养分含量变化规律[J].经济林研究,2010,28(2):55-58.
- [7] 杨文利,朱平宗,闫靖坤.水平阶种植油茶对红壤坡地土壤理化性质的影响[J].水土保持学报,2017,31(5):315-320.
- [8] 凡国华,刘超,李洋,等.不同林龄油茶林土壤理化性质的变化[J].东北林业大学学报,2019,47(4):38-42.
- [9] 黄春梅.紫色土区不同林龄油茶人工林土壤理化性质差异分析[J].安徽农业科学,2017,45(13):157-159.
- [10] 裴向阳,钟凤娣,张兵,等.广东省三种典型经济林地土壤性状和养分储量研究[J].经济林研究,2014,32(3):42-47.
- [11] 王大顶.油茶林地土壤砂砾含量对茶果经济性状的影响[D].长沙:中南林业科技大学,2019.
- [12] 宗巧鱼,艾宁,杨丰茂,等.陕北黄土区枣林土壤物理性质变化研究[J].中国农学通报,2020,36(6):48-56.
- [13] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [14] 袁颖丹,李志,张文元,等.武功山山地草甸不同海拔土壤氮素分布及其与土壤物理性质的关系[J].中南林业科技大学学报,2016,36(10):108-113.
- [15] 马麟英,梁月兰,韦国钧,等.东兰县林地土壤有机质含量与土壤容重的相关性分析[J].湖北农业科学,2014,53(1):59-62.
- [16] 张希鸥.基于GIS和地统计学的油茶林土壤养分空间变异研究:以江西永丰为例[D].南昌:江西农业大学,2011.
- [17] 胡冬南,刘亮英,张文元,等.江西油茶林地土壤养分限制因子分析[J].经济林研究,2013,31(1):1-6.
- [18] 何斌.秃杉人工林速生阶段的碳库与碳吸存[J].山地学报,2009,27(4):427-432.
- [19] 陈金章.秃杉人工林植被碳库和氮库的分配格局[J].亚热带植物科学,2015,44(3):231-234.
- [20] 黄振格,何斌,谢敏洋,等.连栽桉树人工林土壤氮素季节动态特征[J].东北林业大学学报,2020,48(9):88-94.
- [21] 中国土壤学会农业化学专业委员会.土壤农业化学常规分析方法[M].北京:科学出版社,1983:272-273.
- [22] 曾伟生,陈新云,蒲莹,等.基于国家森林资源清查数据的不同生物量和碳储量估计方法的对比分析[J].林业科学研究,2018,31(1):66-71.
- [23] 黄弼昌,何斌,周燕萍,等.速生阶段西南桉人工林碳贮量及其分布格局[J].中南林业科技大学学报,2016,36(2):79-83.
- [24] 滕秋梅,刘俊,廖倩苑,等.桂西北光皮桦人工林生态系统碳储量及其分布格局[J].西部林业科学,2016,45(4):119-122,129.
- [25] 韦明宝,王朝健,杨正文,等.桂西北马尾松人工林生态系统碳贮量与分布[J].亚热带农业研究,2019,15(3):152-156.
- [26] 周玉荣,于振良,赵士洞.我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡[J].植物生态学报,2000,24(5):518-522.
- [27] 兰斯安,杜虎,曾霞平,等.不同林龄杉木人工林碳储量及其分配格局[J].应用生态学报,2016,27(4):1125-1134.
- [28] 尉海东,马祥庆.不同发育阶段马尾松人工林生态系统碳贮量研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(1):171-174.
- [29] 刘世荣,王晖,栾军伟.中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展[J].生态学报,2011,31(9):5437-5448.
- [30] 方晰,田大伦,晋灿辉.马尾松人工林生产与碳素动态[J].中南林业学院学报,2003,23(2):11-15.

(上接第 100 页)

参考文献

- [1] 左弟召,陈克龙,刘娟.青海湖流域河源湿地生态系统碳交换对模拟增温的响应[J].安徽农业科学,2020,48(23):1-5.
- [2] 徐新良,曹明奎,李克让.中国森林生态系统植被碳储量时空动态变化研究[J].地理科学进展,2007,26(6):1-10.
- [3] CHEN D M,ZHANG C L,WU J P,et al Subtropical plantations are large carbon sinks:Evidence from two monoculture plantations in South China [J].Agricultural and forest meteorology,2011,151(9):1214-1225.
- [4] ZHAO M M,YANG J L,ZHAO N,et al.Estimation of China's forest stand biomass carbon sequestration based on the continuous biomass expansion factor model and seven forest inventories from 1977 to 2013[J].Forest ecology and management,2019,448:528-534.
- [5] 魏晓华,郑吉,刘国华,等.人工林碳汇潜力新概念及应用[J].生态学报,2015,35(12):3881-3885.
- [6] 陈强,苏俊武,刘云彩,等.秃杉大径材培育技术[J].林业科技通讯,2017(2):15-18.
- [7] 陈强,袁明,刘云彩,等.秃杉的物种确立、天然林种群特征、保护、引种和种源选择研究[J].西部林业科学,2012,41(2):1-16.
- [8] 韦家国,刘凡胜,杨正文,等.秃杉林和连栽杉木林生物生产力及其分配特征[J].广西林业科学,2018,47(1):68-71.
- [9] 何斌,黄恒川,黄承标,等.秃杉人工林营养元素含量、积累与分配特征的研究[J].自然资源学报,2008,23(5):903-910.
- [10] 何斌,卢万鹏,唐光卫,等.桂西北秃杉人工林土壤肥力变化的研究[J].林业科学研究,2015,28(1):88-92.
- [11] 何斌,黄寿先,招礼军,等.秃杉人工林生态系统碳素积累的动态特征