

川西低山丘陵区植茶土壤团聚体矿质氮分布特征

于子涵, 郑子成, 王永东, 李廷轩

(四川农业大学资源学院, 成都 611130)

摘要: 研究植茶对土壤团聚体全氮和矿质氮的影响可为茶园土壤合理施用氮肥提供理论依据。通过野外调查和室内分析,研究不同茶树品种(福鼎大白、川茶 3 号、川农黄芽早和川沐 217)对土壤团聚体中全氮和矿质氮含量的影响。结果表明:(1)各植茶品种土壤团聚体含量随粒径减小呈先减小后增大的变化趋势, $>2\text{ mm}$ 粒径团聚体含量显著高于其他粒径团聚体,其含量约占总量的 $38.32\%\sim66.26\%$ 。(2)各植茶品种土壤全氮含量均随团聚体粒径的减小呈先减小后平稳的趋势,而铵态氮和硝态氮的变化趋势则相反。(3)种植福鼎大白土壤各氮组分含量高于其他品种,2 个土层矿质氮含量的变化趋势相似。(4)全氮、铵态氮和硝态氮储量均在 $>2\text{ mm}$ 粒径团聚体最高,分别为 $6.25\sim11.44\text{ kg/hm}^2$, $13.09\sim42.66\text{ g/hm}^2$, $14.38\sim51.03\text{ g/hm}^2$ 。(5)种植川农黄芽早土壤全氮、铵态氮和硝态氮的储量均高于其他品种。研究结果可为川西低山丘陵区植茶土壤氮肥合理施用提供理论依据。

关键词: 铵态氮; 硝态氮; 水稳性团聚体; 植茶品种

中图分类号: S152.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2022)01-0263-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2022.01.034

Distribution of Mineral Nitrogen in Soil Aggregates of Tea-planting

Hilly Region in Western Sichuan

YU Zihan, ZHENG Zicheng, WANG Yongdong, LI Tingxuan

(College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130)

Abstract: It is meaningful to clarify the effects of tea planting on total nitrogen and mineral nitrogen in soil aggregates for providing a theoretical basis of applying nitrogen fertilizer. The effects of different tea cultivars (Fuding Dabaicha, Chuancha No. 3, Chuannong Huangyazao and Chuanmu No. 217) on total nitrogen and mineral nitrogen content in soil aggregates were studied by field investigation and indoor analysis. The results showed that: (1) As the decrease of particle size, the content of aggregates in each tea planting soil decreased firstly and then increased. The content of $>2\text{ mm}$ aggregate was significantly higher than that of other aggregates, accounting for about $38.32\%\sim66.26\%$ of the total content. (2) With the decrease of aggregate particle size, the total nitrogen content of the soil of each tea cultivar decreased firstly and then stabilized, while the contents of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen showed the opposite trend. (3) The contents of each nitrogen component in the soil of planting Fuding Dabaicha were higher than those of other cultivars. The trend of mineral nitrogen content in different soil layers was similar. (4) The reserves of each nitrogen component were the highest in $>2\text{ mm}$ aggregates, which were $6.25\sim11.44\text{ kg/hm}^2$, $13.09\sim42.66$, $14.38\sim51.03\text{ g/hm}^2$, respectively. (5) The reserves of total nitrogen, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen of the soil planted with Chuannong Huangyazao were higher than other cultivars. These research results provide a theoretical basis for the rational application of nitrogen fertilizer in tea-planting soils in the hilly areas of western Sichuan.

Keywords: ammonium nitrogen; nitrate nitrogen; water-stable aggregates; tea cultivars

茶树是常年生灌木,具有喜铵厌硝的特点。土壤氮素含量的高低不仅影响着茶园生态系统的化学循环,也会影响土壤质量的优劣^[1]。土壤矿质氮是茶树生长发育所需的主要氮素形态,其含量影响着茶树的生长发育。因此,了解茶园土壤矿质氮的分布,对于植茶土壤合理施用氮肥、提高茶树品质有着重要的意义^[2]。土壤团聚体是构成土壤结构的基本组成单元,对土壤矿质氮积累,提高土壤肥力具有重要作用^[3]。崔琳^[4]研究发现,黑土团聚体各粒径比例决定了团聚体氮素的储量。胡宁等^[5]研究发现,随团聚体粒径减小,石漠化山地植被恢复过程中土壤铵态氮、硝态氮、矿质氮含量呈增加的变化趋势,峰值出现在<0.25 mm 粒径团聚体。陈玉真等^[6]研究发现,茶园土壤具有强酸性、脱硅富铝化等特点,故土壤矿质氮含量和氮素矿化过程与其他土壤生态系统存在明显区别。已有研究^[7]表明,同一成土母质不同植茶品种土壤 pH、碳、氮、磷含量差异显著,而土壤矿质氮与土壤碳、氮、磷等显著相关^[8],各植茶品种土壤团聚体矿质氮可能也存在差异,但缺乏相关研究。因此,开展不同植茶品种土壤团聚体矿质氮含量分布特征研究,对于研究区植茶土壤可持续利用具有重要的理论指导和现实意义。本研究以 4 种主栽植茶品种土壤为对象,探讨土壤团聚体全氮、铵态氮和硝态氮含量的分布特征,阐明全氮和矿质氮对不同植茶品种的响

应特征,以期为实现茶园生态系统氮素良性循环及茶园土壤可持续利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于四川省雅安市名山区中峰镇万亩观光茶园,属亚热带湿润气候。年平均气温 15.4℃;年均降水量 1 500 mm 左右。每年 11 月上旬沿树冠边缘垂直底部挖沟,施入 K₂SO₄ 型复合肥(N:P₂O:K₂O 为 20:8:8) 15 t/hm²,最后覆土。追肥于翌年 2 月初、4 月下旬、7 月上旬进行。追肥量分别为 300,225,225 kg/hm²。茶树行距(150±15) cm,株距(30±15) cm。

1.2 样品采集与处理

土壤样品采集于 2020 年 4 月,综合考虑研究区各茶园地质条件和管理措施等,选择成土母质相同、地形地貌相似、茶园管理相近、植茶时间较为一致的不同茶树品种(川茶 3 号、福鼎大白、川沐 217、川农黄芽早)为研究对象。每个品种茶园面积约为 900 m²,在每个品种茶园布设 5 个典型样地,各品种茶园间距离约为 100 m。每个样地随机按“S”形设置 5 个采样点,分别采集 0—20,20—40 cm 土层的原状土样和混合土样。混合土样用于测定土壤基本理化性质(表 1),原状土样通过湿筛法分离出粒径为>2,2~1,1~0.25,<0.25 mm 的团聚体^[9]。

表 1 供试土壤基本理化性质

土壤理化性质	0—20 cm				20—40 cm			
	福鼎大白	川茶 3 号	川沐 217	川农黄芽早	福鼎大白	川茶 3 号	川沐 217	川农黄芽早
pH	4.13	4.22	4.36	4.25	3.98	4.15	4.25	4.15
容重/(g·cm ⁻³)	1.28	1.12	1.20	1.11	1.29	1.17	1.12	1.18
有机碳/(g·kg ⁻¹)	28.47	21.14	24.79	23.85	16.84	13.14	16.28	15.01
全氮/(g·kg ⁻¹)	0.90	0.76	0.79	0.87	0.77	0.62	0.68	0.68
全磷/(g·kg ⁻¹)	0.98	0.88	0.94	1.02	0.57	0.53	0.58	0.59
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	59.86	59.65	50.33	57.02	10.39	13.17	11.09	9.28
全钾/(g·kg ⁻¹)	10.12	11.21	10.85	10.57	10.48	10.75	11.25	11.49
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	277.10	348.66	340.86	381.46	113.19	193.56	191.60	274.44
交换性钙/(coml·kg ⁻¹)	1.88	1.81	1.65	1.64	1.81	1.73	1.63	1.60
交换性镁/(coml·kg ⁻¹)	0.34	0.33	0.24	0.22	0.31	0.30	0.22	0.19
交换性钠/(coml·kg ⁻¹)	0.14	0.22	0.15	0.18	0.19	0.21	0.13	0.24

1.3 测定项目及方法

土壤理化性质采用常规方法^[10]测定;全氮和铵态氮使用 1 mol/L 氯化钾溶液浸提,采用全自动间断化学分析仪测定^[11];硝态氮经 1 mol/L 氯化钾溶液浸提,采用全自动间断化学分析仪测定^[12]。

团聚体氮组分储量测定公式^[13]为:

$$Y=B\times H\times R\times C\tag{1}$$

式中:Y 为各粒径团聚体氮储量(kg/hm²);B 为土壤

容重(g/cm³);H 为土层深度(cm);R 为各粒径团聚体百分含量(%);C 为各粒径团聚体氮含量(g/kg)。

数据处理及图表制作采用 Origin 9.0 和 Excel 2016 软件,SPSS 20.0 进行统计分析,LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 土壤水稳性团聚体分布特征

由表 2 可知,0—20 cm 土层,种植福鼎大白土壤

>2 mm 粒径团聚体含量显著高于川沐 217 和川农黄芽早,而 1~0.25 mm 粒径团聚体在品种间呈相反的变化趋势。20—40 cm 土层,种植福鼎大白土壤 >2 mm 粒径团聚体含量显著高于其他茶树品种,而微团聚体呈相反变化趋势。>2 mm 粒径团聚体含量约占总量的 38.32%~66.26%。0—20 cm 土层,除川茶 3 号外,各植茶品种土壤团聚体含量表现为随粒径减小呈现先减小后增大的趋势,种植川茶 3 号土壤团聚体含量在 2~1,1~0.25,<0.25 mm 粒径间无显著差异。20—40 cm 土层,>2 mm 粒径团聚体含量显著高于其他粒径团聚体。

表 2 不同植茶品种土壤水稳性团聚体含量

单位: %					
土层 深度/cm	植茶 品种	>2 mm	2~1 mm	1~0.25 mm	<0.25 mm
0—20	福鼎大白	53.01a ^a	8.08c ^d	13.67b ^c	23.38b ^b
	川茶 3 号	44.75b ^a	18.03a ^b	18.52a ^b	17.49c ^b
	川沐 217	39.58c ^a	10.17b ^c ^d	17.48ab ^c	30.99a ^b
	川农黄芽早	38.32c ^a	12.55b ^d	21.29a ^c	26.11b ^b
20—40	福鼎大白	66.26 a ^a	4.48b ^d	11.81b ^c	16.09c ^b
	川茶 3 号	44.21c ^a	10.71a ^d	17.69a ^c	25.49a ^b
	川沐 217	50.73b ^a	13.25a ^c	12.03b ^c	21.82b ^b
	川农黄芽早	52.34b ^a	10.27a ^d	14.90ab ^c	20.09b ^b

注:同列不同字母表示相同土层不同品种间 $P<0.05$ 水平存在显著差异;同行不同上标字母表示不同粒径的团聚体在 $P<0.05$ 水平上有显著差异。下同。

2.2 土壤团聚体全氮含量分布特征

由表 3 可知,0—20 cm 土层,种植福鼎大白和川农黄芽早土壤团聚体全氮含量显著高于川茶 3 号和川沐 217。20—40 cm 土层,川农黄芽早和川沐 217 全氮含量在团聚体间差异不显著。大粒径团聚体全氮含量较高,小粒径团聚体全氮含量较低,表明土壤团聚体全氮向较大粒径团聚体富集。0—20 cm 土层,除福鼎大白外,其他植茶品种土壤 1~0.25 mm 和<0.25 mm 粒径团聚体全氮含量差异不显著;20—40 cm 土层,各植茶品种土壤>2 mm 粒径团聚体全氮含量显著高于 1~0.25,<0.25 mm 粒径团聚体。

2.3 土壤团聚体中铵态氮含量分布特征

由表 4 可知,0—20 cm 土层,种植福鼎大白、川茶 3 号、川农黄芽早土壤团聚体铵态氮含量均显著高于川沐 217;而土壤各粒径团聚体铵态氮含量在川茶 3 号和川农黄芽早之间差异不显著。20—40 cm 土层品种间铵态氮含量变化趋势与 0—20 cm 土层相似。0—20 cm 土层,各植茶品种土壤 1~0.25,<0.25 mm 粒径团聚体铵态氮含量较高且无显著差异,铵态氮主要集中于微团聚体中,表明小粒径团聚体对铵态

氮有较强的吸附能力。20—40 cm 土层土壤团聚体铵态氮含量的变化趋势与 0—20 cm 土层相似。

表 3 不同植茶品种土壤团聚体全氮含量

单位:g/kg					
土层 深度/cm	植茶 品种	>2 mm	2~1 mm	1~0.25 mm	<0.25 mm
0—20	福鼎大白	0.98a ^a	0.90a ^b	0.85a ^{bc}	0.83a ^c
	川茶 3 号	0.80b ^a	0.72c ^b	0.68c ^b	0.67c ^b
	川沐 217	0.85b ^a	0.81b ^{ab}	0.75b ^b	0.75b ^b
	川农黄芽早	0.93a ^a	0.90a ^{ab}	0.85a ^b	0.85a ^b
20—40	福鼎大白	0.81a ^a	0.76a ^{ab}	0.74a ^b	0.74a ^b
	川茶 3 号	0.67c ^a	0.64b ^{ab}	0.62b ^b	0.59c ^b
	川沐 217	0.74b ^a	0.66b ^b	0.64b ^b	0.63b ^b
	川农黄芽早	0.75b ^a	0.68b ^b	0.64b ^b	0.64b ^b

表 4 不同植茶品种土壤团聚体铵态氮含量

单位:mg/kg					
土层 深度/cm	植茶 品种	>2 mm	2~1 mm	1~0.25 mm	<0.25 mm
0—20	福鼎大白	3.45a ^b	3.47a ^b	3.75a ^{ab}	3.98a ^a
	川茶 3 号	2.77b ^b	3.14a ^{ab}	3.32b ^a	3.41b ^a
	川沐 217	1.49c ^b	1.55b ^b	1.68c ^{ab}	1.97c ^a
	川农黄芽早	2.81b ^b	3.17a ^b	3.69ab ^a	3.67ab ^a
20—40	福鼎大白	3.00a ^c	3.17a ^{bc}	3.53a ^{ab}	3.74a ^a
	川茶 3 号	2.37b ^c	2.86a ^b	3.14a ^{ab}	3.31b ^a
	川沐 217	1.39c ^b	1.45b ^b	1.58b ^{ab}	1.93c ^a
	川农黄芽早	2.68ab ^b	3.09a ^a	3.31a ^a	3.34ab ^a

2.4 土壤团聚体中硝态氮含量分布特征

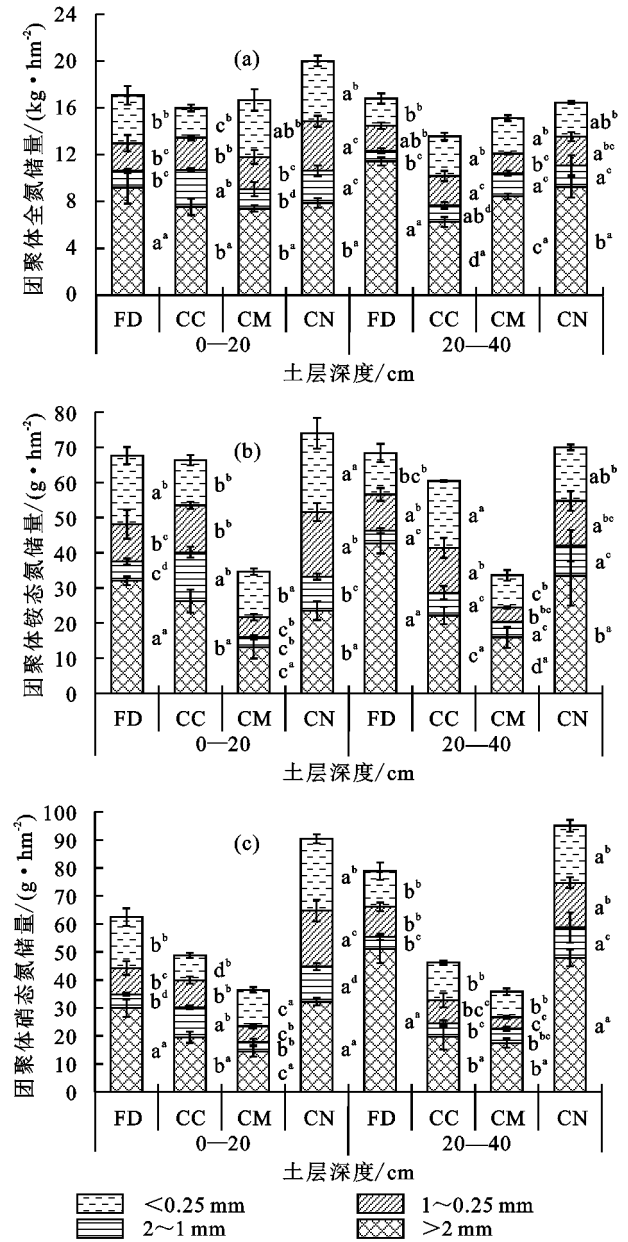
由表 5 可知,0—20 cm 土层,土壤硝态氮含量表现为川农黄芽早>福鼎大白>川茶 3 号。20—40 cm 土层,种植川农黄芽早土壤硝态氮含量显著高于川茶 3 号和川沐 217。0—20 cm 土层,各植茶品种土壤>2,2~1,1~0.25 mm 粒径团聚体硝态氮含量在粒径间无显著差异。20—40 cm 土层,除川茶 3 号外,其他植茶品种土壤硝态氮含量在微团聚体中最高。

表 5 不同植茶品种土壤团聚体硝态氮含量

单位:mg/kg					
土层 深度/cm	植茶 品种	>2 mm	2~1 mm	1~0.25 mm	<0.25 mm
0—20	福鼎大白	3.22b ^b	3.10b ^b	3.38b ^{ab}	3.69b ^a
	川茶 3 号	2.07c ^a	2.44c ^a	2.39c ^a	2.34c ^a
	川沐 217	1.65c ^a	1.68d ^a	1.68d ^a	2.01c ^a
	川农黄芽早	3.84a ^a	4.11a ^a	4.02a ^a	4.24a ^a
20—40	福鼎大白	3.59a ^b	3.77a ^{ab}	3.66b ^{ab}	4.03b ^a
	川茶 3 号	2.09b ^a	2.14b ^a	2.02c ^a	2.33c ^a
	川沐 217	1.52c ^b	1.68c ^{ab}	1.60d ^{ab}	1.92d ^a
	川农黄芽早	3.89a ^b	3.94a ^b	4.19a ^{ab}	4.47a ^a

2.5 各粒径团聚体中全氮、铵态氮和硝态氮的储量分布特征

由图 1 可知,种植福鼎大白土壤>2 mm 粒径团聚体全氮、铵态氮的储量均显著高于其他植茶品种;而福鼎大白土壤 2~1 mm 粒径团聚体全氮储量显著低于其他品种;种植川沐 217 土壤>2 mm 粒径团聚体铵态氮储量显著低于其他品种。而川农黄芽早土壤微团聚体硝态氮储量显著高于其他植茶品种。>2 mm 粒径团聚体全氮、铵态氮和硝态氮的储量最高,而<0.25 mm 粒径团聚体全氮储量在各品种间差异不显著。20—40 cm 土层,各植茶品种土壤 2~1 mm 粒径团聚体铵态氮储量无显著差异。各植茶品种土壤硝态氮储量表现为>2 mm 粒径团聚体显著高于2~1 mm 粒径团聚体。



注:图柱右侧不同字母表示不同品种间 $P<0.05$ 水平存在显著差异;不同上标字母表示不同粒径的团聚体在 $P<0.05$ 水平上有显著差异。

图 1 不同植茶品种土壤全氮及矿质氮储量的分布

3 讨论

不同植茶品种土壤团聚体以>0.25 mm 粒径为主。本研究中,各植茶品种土壤>0.25 mm 粒径水稳性团聚体含量介于 67%~83%,而陈国靖等^[14]研究发现,土壤>0.25 mm 水稳性团聚体含量介于 41%~67%,这可能是由于当地茶农长期施用有机肥,且有修剪枝叶还田的习惯,有利于水稳性团聚体的形成。本研究中,种植福鼎大白土壤>0.25 mm 粒径团聚体含量最高,这可能与 2 价阳离子有关,种植福鼎大白土壤交换性钙、镁含量高于其他茶树品种,土壤 2 价阳离子与土壤黏粒、有机质形成阳离子桥梁,促进土壤大团聚体的形成^[15]。

种植福鼎大白土壤水稳性团聚体全氮、铵态氮含量相对较高,川茶 3 号全氮含量最低。这可能是由于川茶 3 号植株较矮小,其土壤覆盖度低,团聚体稳定性较差,不利于养分的积累;此外,川茶 3 号树冠较小,凋落物量较少,土壤养分积累相对较少^[7]。由表 1 可知,种植川茶 3 号土壤有机碳含量较低,而土壤全氮与土壤有机碳具有协同效应,有机碳含量越低的土壤其全氮含量也越低^[16],从而影响土壤全氮在品种间的分布。种植福鼎大白土壤铵态氮含量高于其他品种。这可能是由于土壤对 NH_4^+ 具有较强的吸附性,会使盐基离子进入土壤溶液并被淋失^[17]。由表 1 可知,种植福鼎大白的土壤中交换性钠的含量显著低于其他品种,因而种植福鼎大白土壤铵态氮的含量显著高于其他品种。本研究种植川沐 217 土壤的硝态氮含量低于其他品种,有研究^[18]表明,在不施肥处理下不同茶树品种土壤氮、磷、钾含量均有差异,这可能是由于不同品种茶树对养分的吸收和利用效率的差异所致。川农黄芽早硝态氮含量在各植茶品种间最高。因此种植该品种茶树时,应合理施用氮肥,提高土壤氮素有效性。

王利民等^[19]研究发现,不同培肥的茶园土壤全氮主要分布在>2 mm 粒径中,这与本研究的结果相一致。此外,团聚体中全氮和有机碳具有协同性,较小的人为扰动减少了外界对团聚体的破坏,增强团聚体对有机碳的保护,降低了微生物对植物的分解速率,提高了团聚体有机碳的含量,从而提高全氮含量^[20]。矿质氮含量只占土壤全氮的不足 5%,但它是土壤吸收氮素的主要形态,通常作为土壤供氮能力和氮素有效性的主要判定指标之一^[21]。本研究中微团聚体是土壤铵态氮和硝态氮主要储存场所。这可能是由于小粒径团聚体,比表面积较大,吸附能力较强,有利于矿质态氮(铵态氮、硝态氮)的富集^[22];已有研究^[23]表明,由于有机胶体和无机胶体的紧密结合,小

粒径团聚体固持有机碳能力更强,不易被微生物分解释放,这也是造成铵态氮和硝态氮易在小粒径团聚体中富集的原因。本研究中,尽管铵态氮和硝态氮在小粒径团聚体中含量较高,但大粒径团聚体含量显著高于其他粒径团聚体,因此,土壤铵态氮和硝态氮的储量集中在>2 mm 粒径团聚体中,这与前期研究^[24]结果相类似。而对于铵态氮而言,其含量随着粒径的减小而增大,原因主要是由于铵态氮是还原态,易将土壤交换性阳离子置换而淋失,从而提高土壤铵态氮含量^[25]。硝态氮在团聚体中的变化并不明显,这主要是由于硝态氮活性强,易被微生物吸收,同时也易于从土壤中损失,所以其规律性没有铵态氮明显^[22]。

4 结 论

(1)不同植茶土壤>2 mm 粒径团聚体含量较高,说明研究区土壤具有较强的保肥供肥能力。种植福鼎大白土壤>2 mm 粒径团聚体含量高于其他品种,可见植茶过程中,种植福鼎大白茶树有利于土壤大粒径团聚体的形成。

(2)土壤全氮、铵态氮的含量在植茶品种间变化表现为福鼎大白高于其他品种。不同植茶品种土壤全氮主要集中于>2 mm 粒径团聚体,而铵态氮、硝态氮则集中于<0.25 mm 粒径团聚体。

(3)不同植茶品种土壤各氮组分储量在>2 mm 粒径团聚体中最高,表明氮储量与团聚体含量高度相关。种植川农黄芽早土壤全氮、铵态氮和硝态氮的储量均高于其他品种,因此在种植该品种时,应依据土壤氮素供应和茶树需氮特征,合理施用氮肥。

参考文献:

[1] 吴志丹,江福英,张磊,等.福建省安溪县铁观音茶园土壤氮素状况[J].土壤,2020,52(1):16-24.

[2] 于芳芳,李法云,贾庆宇.温度和水分对辽河保护区典型湿地土壤氮矿化的影响[J].生态科学,2019,38(6):98-105.

[3] 杜臻杰,樊向阳,吴海卿,等.施用生物质炭和猪场沼液对潮土团聚体及氮素形态影响研究[J].灌溉排水学报,2015,34(9):20-23,27.

[4] 崔琳.典型黑土区土壤团聚体中氮素的分布特征[D].哈尔滨:东北林业大学,2014.

[5] 胡宁,马志敏,蓝家程,等.石漠化山地植被恢复过程土壤团聚体氮分布及与氮素矿化关系研究[J].环境科学,2015,36(9):3411-3421.

[6] 陈玉真,王峰,尤志明,等.不同类型茶园土壤氮素矿化特性及其与土壤性质的关系[J].福建农业学报,2015,30(7):679-684.

[7] 俞琳飞,李廷轩,王晟强,等.植茶品种对土壤动物群落结构的影响[J].生态学杂志,2018,37(4):1220-1226.

[8] 吴迪,崔晓阳,郭亚芬.寒温带林区不同林型下土壤中氮

矿化特征[J].北京林业大学学报,2019,41(9):122-129.

[9] Gartzia-Bengoetxea N, González-Arias A, Merino A, et al. Soil organic matter in soil physical fractions in adjacent semi-natural and cultivated stands in temperate Atlantic forests [J].Soil Biology and Biochemistry,2009,41(8):1674-1683.

[10] 鲁如坤.土壤农化分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.

[11] 阳丹.固氮菌对巨尾桉生长及营养的影响[D].南宁:广西大学,2016.

[12] 孟繁昊.生物炭配施氮肥对土壤理化性质及春玉米产量和氮效率的影响机制[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2018.

[13] 李文军,彭保发,曾庆禹,等.长期施肥影响下亚热带红壤性水稻土团聚体组成及氮储量分布特征[J].地理科学进展,2014,33(10):1424-1432.

[14] 陈国靖,蔡进军,马璠,等.宁夏黄土丘陵区典型林草植被类型对土壤水稳性团聚体的影响[J].水土保持研究,2018,25(5):49-53,60.

[15] 王晟强,郑子成,李廷轩,等.植茶年限对土壤团聚体中交换性盐基离子分布的影响[J].土壤学报,2013,50(5):1013-1020.

[16] 马原,迟美静,张玉玲,等.黑土旱地改稻田土壤水稳性团聚体有机碳和全氮的变化特征[J].中国农业科学,2020,53(8):1594-1605.

[17] 余砾,高明,黄利玲,等.氮肥施用对砖红壤硝态氮和盐基离子淋失特征的影响[J].植物营养与肥科学报,2013,19(3):698-704.

[18] 朱芸,尤雪琴,伊晓云,等.茶树品种对生物量累积与养分分配的影响[J].茶叶科学,2020,40(6):751-757.

[19] 王利民,黄东风,李清华,等.不同培肥方式对茶园土壤团聚体中有机碳和全氮分布的影响[J].茶叶科学,2018,38(4):342-352.

[20] 沈晓琳,王丽丽,汪洋,等.保护性耕作对土壤团聚体、微生物及线虫群落的影响研究进展[J].农业资源与环境学报,2020,37(3):361-370.

[21] 赵强,吴丛林,王康,等.季节性冻融区农业土壤矿质氮有效性变化规律原位试验[J].农业工程学报,2019,35(17):140-146.

[22] 刘毅,李世清,李生秀.黄土高原不同类型土壤团聚体中氮库分布的研究[J].中国农业科学,2007,40(2):304-313.

[23] 张琦,王淑兰,王浩,等.深松与免耕频次对黄土旱塬春玉米田土壤团聚体与土壤碳库的影响[J].中国农业科学,2020,53(14):2840-2851.

[24] 徐阳春,沈其荣.长期施用不同有机肥对土壤各粒级复合体中C,N,P含量与分配的影响[J].中国农业科学,2000,33(5):65-71.

[25] 赵丽,张艳霞,敖亮,等.非正规生活垃圾填埋场周边黄壤对铵态氮的吸附特征及其影响因素[J].环境工程学报,2020,14(9):2576-2586.