

万 青,胡雲飞,胡振民,等. 江苏省典型白化茶园土壤肥力现状分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(24):272-275,284.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.24.072

江苏省典型白化茶园土壤肥力现状分析

万 青,胡雲飞,胡振民,李荣林,杨亦扬
(江苏省农业科学院休闲农业研究所,江苏南京 210014)

摘要:通过对江苏省 8 个具有代表性白化茶园土壤调查取样,分析江苏省典型白化茶园土壤酸度、养分元素和微量元素状况。结果表明,所调查的白化茶园土壤肥力总体状况良好,土壤中有有机质、氮、磷、钾含量丰富,个别茶园磷、钾含量偏低;茶园土壤呈明显酸化趋势,50% 的茶园酸化现象严重;土壤中钙、镁含量偏高,近一半的茶园土壤 Ca/Mg 比值小于 5;茶园有效铁含量普遍过高,个别茶园缺乏有效锰。

关键词:江苏省;白化茶;茶园;土壤;肥力;酸度;养分元素;微量元素

中图分类号: S571.106 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)24-0272-04

江苏省茶叶产业以量少、质精、高效而在全中国茶叶产业中独具特色,同时也是我国名优绿茶的重点种植区域之一。近年来,白化茶种质资源开发力度增大,逐渐形成一个较为庞大的种质类群,在江苏省主要产茶区均有一定面积的引种。白化茶品种春季幼叶呈白色,成熟叶片呈浅绿色,所制成品茶叶滋味鲜爽、回味甘醇,并以其“高氨基酸、低茶多酚”的特点^[1-2]和良好的经济效益受到广大茶农和消费者的青睐。茶树生长离不开土壤,土壤是其生长发育、营养吸收的重要场所。然而,江苏省白化茶园土壤质量和施肥现状究竟如何,目前还未有文献报道,为此笔者对江苏省白茶主产区(主要包括南京市、常州市、无锡市、镇江市和扬州市等地区)8 个典型白化茶园进行土壤取样调查分析,从总体上掌握江苏省白化茶园土壤养分含量丰缺和土壤酸化程度状况,分析影响江苏省白茶生产的主要限制因子,旨在为进一步调整农业产业结构、促进白茶生产的合理区划和科学管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 土样采集与制备

根据江苏省白茶主产区的分布特征,在南京市、常州市、无锡市、镇江市和扬州市等地区选取 8 个代表性白化茶园,用多点混合法采集 0~20、20~40 cm 的表层土壤样品,取样点基本信息如表 1 所示。采样时根据茶园面积和地形条件决定样点的数量和分布,将多个采样点的样品混匀后用四分法弃去至各混合样保留 1 kg 左右。样品采集后及时摊开风干,剔除

表 1 取样点基本信息

取样点	纬度(°)	经度(°)	海拔(m)
溧阳松岭	31.2	119.5	171.8
无锡惠山	31.3	120.2	44.3
高淳河南村	31.3	119.1	33.5
宜兴玉山	31.3	119.7	52.5
溧水孔镇	31.5	119.0	21.5
金坛薛埠	31.8	119.3	67.5
句容张庙	31.9	119.2	25.5
仪征谢集	32.4	119.1	27.3

杂物后研磨过 20 目和 100 目筛,备用待测。

1.2 测定方法

采用水浸提电位法测定土壤 pH 值,土水比为 1:2.5,用 ORION 3 STAR(Thermo 公司,美国) pH 计测定;采用 Vario Max CN 碳氮分析仪(Elementar 公司,德国)测定土壤全氮(TN)和全碳(TC)含量;有机质(OM)含量依据“OM 含量 = TC 含量 × 1.724”换算;采用 Mehlich 3 浸提剂浸提^[3]测定有效磷、有效钾等有效态元素和微量元素含量,水土比 10:1 混合振荡,电感耦合等离子体光谱仪 ICP(TJA 公司,美国)测定。

1.3 统计分析

采用 Excel 2016 和 SPSS 21.0 统计软件对测得的土样数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 土壤酸度

对江苏典型白化茶园土壤 pH 值进行检测,结果(图 1)表明,在 0~20 cm 土层,溧阳松岭、无锡惠山、宜兴玉山和句容张庙的茶园土壤 pH 值均低于 4.0,分别为 3.94、3.93、3.58 和 3.57,土壤酸化现象严重;金坛薛埠茶园土壤 pH 值为 4.09,介于 4.0~4.5 之间,土壤发生酸化;适合茶树生长的茶园为高淳河南村、溧水孔镇和仪征谢集,土壤 pH 值分别为 5.16、4.64 和 5.68,其中高淳河南村和溧水孔镇茶园土壤 pH 值最适宜茶树生长。在 20~40 cm 土层中,茶园土壤 pH 值有上述类似的趋势(图 1)。

收稿日期:2017-09-01
基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFD0200905);国家自然科学基金(编号:31600558、31400587);江苏省自然科学基金(编号: BK20160590);江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(16)1003]。
作者简介:万 青(1984—),女,河北邯郸人,博士,助理研究员,主要从事茶树栽培与茶园土壤管理研究。Tel:(025) 84391693; E-mail:wanqing@jaas.ac.cn。
通信作者:杨亦扬,博士,副研究员,主要从事茶树营养生理与栽培技术研究。Tel:(025) 84391693; E-mail:yangyiyang_yyy@126.com。

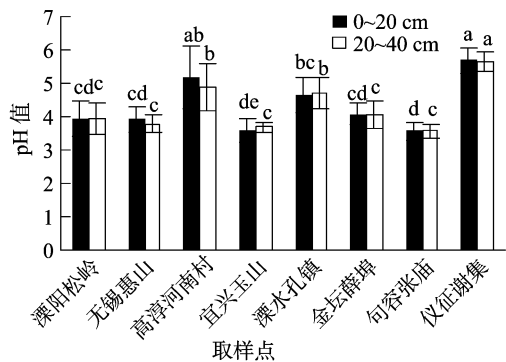


图1 茶园土壤不同土层 pH 值状况

2.2 土壤主要养分

对采集的茶园土壤主要养分进行测试分析(表2),从总体判断江苏省白化茶园土壤肥力状况,找出土壤肥力限制因子,以便进行高效施肥管理。茶叶产地环境技术条件中土壤肥力分级标准(表3)规定,Ⅱ级(尚可)土壤有机质、全氮、有

效磷、有效钾含量分别为 10~15、0.8~1.0、0.005~0.01、0.08~0.12 g/kg,各养分含量高于上限值为Ⅰ级(优良),低于下限值为Ⅲ级(较差)。据此标准,在所调查的 8 个白化茶园中,除金坛薛埠茶园以外,各茶园土壤有机质含量均达到标准,其中 75% 的茶园土壤有机质达到Ⅰ级,12.5% 的茶园土壤有机质达到Ⅱ级;全氮含量达到Ⅰ级标准的茶园占 87.5%,金坛薛埠茶园的 0~20 cm 土层全氮含量尚可,20~40 cm 土层含量较差;有效磷含量达到Ⅰ级标准的茶园占 75%,金坛薛埠茶园有效磷含量尚可,仪征谢集茶园有效磷含量较差;有效钾含量达到Ⅰ级标准的茶园占 62.5%,金坛薛埠茶园 0~20 cm 土层有效钾含量尚可,20~40 cm 土层有效钾含量较差,无锡惠山和仪征谢集茶园土层有效钾含量远远低于标准,处较差等级;同时发现,溧水孔镇茶园 20~40 cm 土层养分含量明显低于 0~20 cm 土层,其表层土 0~20 cm 中的有机质、全氮、有效磷和有效钾含量均达到Ⅰ级标准,而 20~40 cm 土层中有机质和全氮含量尚可,有效磷和有效钾含量则较差。

表2 江苏各白化茶园土壤基本养分情况

取样点	土层 (cm)	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	有效磷含量 (g/kg)	有效钾含量 (g/kg)
溧阳松岭	0~20	29.529±4.469	2.399±0.304	0.150±0.046	0.206±0.070
	20~40	17.468±4.332	1.253±0.158	0.038±0.021	0.139±0.044
无锡惠山	0~20	29.029±9.235	3.425±0.856	0.223±0.114	0.075±0.020
	20~40	21.988±6.152	1.614±0.558	0.181±0.111	0.068±0.043
高淳河南村	0~20	16.264±5.920	1.536±0.378	0.227±0.103	0.408±0.077
	20~40	8.442±2.098	1.455±0.811	0.057±0.033	0.162±0.077
宜兴玉山	0~20	32.288±4.503	2.316±0.286	0.171±0.084	0.177±0.044
	20~40	20.997±1.700	1.717±0.393	0.070±0.036	0.144±0.063
溧水孔镇	0~20	15.947±6.061	1.116±0.180	0.052±0.014	0.162±0.098
	20~40	10.586±1.591	0.852±0.687	0.004±0.003	0.049±0.027
金坛薛埠	0~20	6.666±1.081	0.987±0.293	0.009±0.006	0.089±0.056
	20~40	5.058±1.334	0.785±0.100	0.006±0.002	0.054±0.017
句容张庙	0~20	22.713±4.422	1.159±0.193	0.345±0.171	0.302±0.140
	20~40	14.576±1.194	1.222±0.352	0.153±0.045	0.252±0.058
仪征谢集	0~20	10.872±0.921	1.258±0.196	0.001±0.000	0.035±0.022
	20~40	10.122±0.655	1.089±0.105	0.000±0.000	0.016±0.008

表3 茶叶产地土壤肥力分级参考指标^[4]

分级	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	有效磷含量 (g/kg)	有效钾含量 (g/kg)	备注
Ⅰ	>15	>1.0	>0.01	>0.12	优良
Ⅱ	10~15	0.8~1.0	0.005~0.01	0.08~0.12	尚可
Ⅲ	<10	<0.8	<0.005	<0.08	较差

采用第 2 次全国土壤普查时的土壤养分分级标准^[4]对茶园土壤中有效钙和有效镁含量进行分析,即有效钙含量在 0.25~1.00 g/kg 之间,属中等级别,低于 0.25 g/kg 为低等,高于 1.00 g/kg 属高等级;有效镁含量在 0.05~0.10 g/kg 之间为中等级别,低于 0.05 g/kg 为低等,高于 0.10 g/kg 属高等,大于或等于 0.20 g/kg 时则属于极高等级。从总体来看,所调查的白化茶园有效钙含量在 0.25~2.00 g/kg 之间,属中高等级;有效镁含量在 0.050~0.700 g/kg 之间,50% 的茶园有效镁含量在极高范围内。对茶园土壤交换性 Ca/Mg 的值进行分析,按照 Ca/Mg 的值分级标准^[5]进行分级,即

Ca/Mg 的值在 5~12 之间处在高产优质范围。结果表明,只有无锡惠山茶园的 0~20、20~40 cm 等 2 个土层以及溧阳松岭、高淳河南村茶园的 0~20 cm 的土层和宜兴玉山的 20~40 cm 土层的土壤 Ca/Mg 的值是在 5~12 之间,其他地区不同土层的 Ca/Mg 的值均小于 5,约占调查茶园的 50%(表 4)。

2.3 微量元素

根据土壤有效态微量元素分级标准^[6-7](表 5),对江苏省典型白化茶园土壤有效态微量元素(Zn、B、Mn、Fe)进行分析。结果表明,所有茶园土壤的有效锌和有效铁含量均达到极高等级且远高于标准(图 2)。高淳河南村和溧水孔镇茶园有效锰含量较高,在 250~300 mg/kg 之间;溧阳松岭、金坛薛埠和仪征谢集茶园的有效锰含量介于 130~200 mg/kg 之间,处于中等水平;而无锡惠山和宜兴玉山茶园有效锰含量处在低等水平,句容张庙茶园甚至达到极低水平,出现锰亏缺现象。各茶园土壤中有有效硼含量基本处在高等水平,无锡惠山茶园土壤有效硼甚至达到极高水平。

表 4 江苏省各白化茶园土壤有效钙和有效镁含量

取样点	土层 (cm)	有效钙含量 (g/kg)	有效镁含量 (g/kg)	Ca/Mg 的值
溧阳松岭	0~20	0.381±0.180	0.069±0.026	5.486
	20~40	0.238±0.082	0.054±0.011	4.396
无锡惠山	0~20	0.595±0.293	0.088±0.029	6.753
	20~40	0.528±0.330	0.074±0.025	7.142
高淳河南村	0~20	2.265±1.411	0.444±0.102	5.100
	20~40	1.364±0.348	0.469±0.110	2.907
宜兴玉山	0~20	0.388±0.157	0.089±0.033	4.356
	20~40	0.412±0.220	0.073±0.021	5.631
溧水孔镇	0~20	1.440±0.538	0.401±0.172	3.591
	20~40	1.458±0.605	0.458±0.238	3.186
金坛薛埠	0~20	1.017±0.569	0.510±0.289	1.995
	20~40	1.204±0.676	0.564±0.372	2.134
句容张庙	0~20	0.821±0.120	0.181±0.126	4.542
	20~40	0.717±0.145	0.306±0.072	2.347
仪征谢集	0~20	1.660±0.242	0.691±0.081	2.402
	20~40	1.505±0.210	0.621±0.048	2.423

表 5 土壤有效态微量元素含量分级标准

等级	Zn 含量 (mg/kg)	B 含量 (mg/kg)	Mn 含量 (mg/kg)	Fe 含量 (mg/kg)
极高	>5.0	>2.00	>300	>20.0
高等	3.1~5.0	1.01~2.00	200~300	10.1~20.0
中等	1.6~3.0	0.51~1.00	100~200	4.5~10.0
低等	1.0~1.5	0.25~0.50	50~100	2.5~4.5
极低	<1.0	<0.25	<50	<2.5

3 讨论

种植茶树将加速土壤的酸化,并且随着植茶年限的增加,土壤酸化程度会越来越严重^[8-10]。茶树喜爱酸性环境,适合茶树生长的土壤 pH 值范围为 4.5~6.0^[11],其中 pH 值 4.5~5.5 最适宜种植茶树,但如果土壤 pH 值过低会影响茶树的正常生长^[12]。在调查的白化茶园中,土壤 pH 值在 3.5~5.6 之间,有 5 个白化茶园的土壤 pH 值偏低,由此可见江苏省典型白化茶园土壤呈明显酸化趋势。江苏省茶园土壤酸化现象日益严重:1990—1991 年,苏、浙、皖 3 省茶园土壤 pH 值<4 的

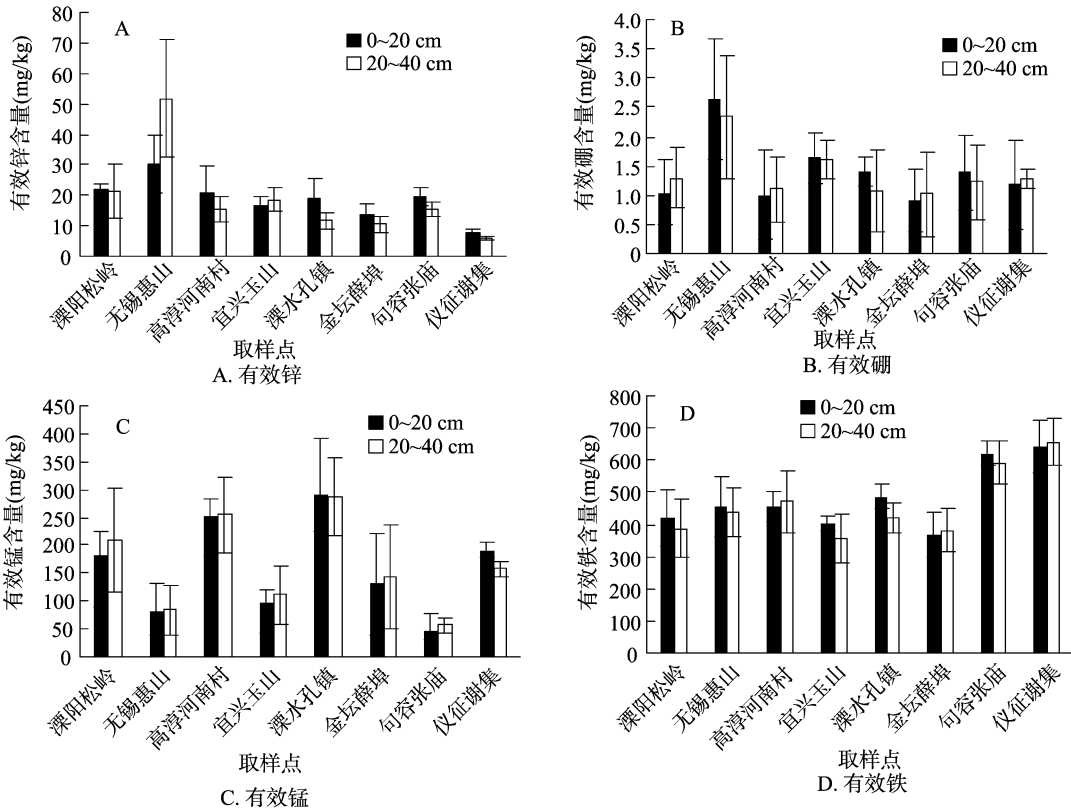


图2 茶园土壤不同土层有效态微量元素含量

只占茶园总面积的 13.7%,没有发现 pH 值<3.5 的茶园土壤;但到了 1998 年 3 省茶园土壤 pH 值<4 的占到了 43.9%,其中 pH 值<3.5 也占到了 8.0%,3 省较适宜种植茶树的土壤由 20 世纪 90 年代初的 59.4% 下降到 90 年代末的 20.3%^[13];1994 年测定江苏省宜兴新街茶园、句容高庙茶园和高淳青山茶园的土壤 pH 值分别为 4.76、4.87 和 4.47^[14],1998 年测定南京中山陵茶园的土壤 pH 值为 4.98^[15],2004 年有学者再次检测这 4 个茶园对应地点土壤的 pH 值,结果

显示,pH 值分别降至 4.27、4.36、4.40 和 4.46^[16]。导致茶园土壤酸化的原因主要有外部因素和内部机制两方面。外部原因主要包括酸沉降^[17-18]和铵态氮肥的施用^[19-20],内部机制主要包括茶树自身物质循环^[21-22]和茶树根系代谢^[23]。施用石灰等碱性物质改良农田土壤酸度是酸性土壤地区的一项传统农业措施;一些工业废弃物如粉煤灰、碱渣、磷石膏、造纸废渣等也用于酸性土壤改良,其中磷石膏的应用最广泛。近年来研究发现,一些农作物秸秆等农业有机废弃物可以改良土

壤酸度^[24-25],将农业有机物废弃物经热解制成的生物质炭也是一种很好的有机改良剂^[26]。

茶叶的产量和品质与土壤养分有密切联系,肥沃的土壤是茶园优质高产的基本保证。土壤有机质是土壤微生物和茶树多种营养的物质基础,是反映土壤熟化程度和肥力的重要指标之一。有机质能增强土壤保水保肥能力,对酸碱有较强的缓冲能力,可以促进根系对矿质营养的吸收^[27]。从此次调查结果来看,除了极个别茶园外,大部分白化茶园有机质含量充足,金坛薛埠白化茶园须要进一步增加有机肥的施用量。除了增施有机肥外,也要注重合理的施肥管理,要根据茶树对养分的需求和吸收规律,调控有机肥的施用数量和时间。研究表明,长江中下游地区,长江以北茶区基肥可提早到 8—10 月施用,南方茶区 9—10 月施用,这样有利于茶树对养分的吸收,可有效提高茶叶的产量和品质^[28-29]。氮磷钾是茶树生长所需要的三要素,氮是蛋白质的主要成分,又是原生质的重要组成部分;磷对茶树幼苗生长、根系分枝、根系吸收能力都有较好的促进作用;钾是多种酶的活化剂,不仅能促进光合作用、呼吸作用,还能提高茶树抗逆性^[30]。本研究表明,过半的白化茶园土壤养分氮磷钾含量丰富,仪征谢集茶园磷、钾含量偏低,该地区在施肥管理过程中要特别注意磷钾肥的施用。

江苏省典型白化茶园钙镁含量丰富,近半数地区含量偏高,甚至达到极高水平。研究表明,当土壤交换性钙含量超过 1.00 mg/kg 时,容易导致茶树出现钙中毒现象,表现为主根变浅,根系生长受阻,缺乏新的吸收根,芽叶萌发受到影响,芽稀叶小^[31]。茶园土壤含钙量过高,除了自然环境、土壤性质等先天因素外,还与茶园管理措施关系密切。当茶园土壤酸度过高、发生酸化时,往往会使用石灰、钙镁磷肥等含钙较高的肥料来改善土壤酸碱度,维持茶园土壤正常,这样做的结果有可能矫枉过正。因此,在管理过程中应注意控制钙镁肥的施用,尤其在改良酸性土壤时应严格控制石灰的施用,避免引起元素失调,对茶树生长造成危害。土壤中的钙镁能否被茶树有效吸收利用,与其比例有很大关系,茶园获得高产优质茶叶的条件之一是茶园土壤 Ca/Mg 的值处于 6~12 之间^[32]。然而调查发现,江苏白化茶园的 Ca/Mg 的值普遍偏低。研究表明,长期使用氮肥、钾肥,可以降低土壤交换性钙、镁含量^[33]。因此可以通过适当增施氮磷钾肥,在提高土壤大量元素含量的同时,通过离子间的拮抗作用降低土壤中交换性钙、镁的含量。

本研究表明,茶园土壤有效锌和有效硼含量丰富,能满足茶树正常生长发育的需要,但也普遍存在有效铁含量过高,个别茶园有效锰缺乏的现象。茶树叶片含铁丰富,铁参与茶树叶绿素的合成、有机物质的积累和消耗^[34]。研究表明,茶叶品质会因铁含量增加而降低,过量的铁会使茶叶品质变差^[35],因此茶园管理过程中要控制铁肥的施入。茶树缺锰时表现为叶片发黄下垂,边缘焦枯,对茶叶品质影响较大。在缺锰地区可以适当施用商品锰微肥,尤其含量最低的句容张庙茶园,可以适当多施,减少锰缺乏对茶树生长发育带来的危害。

4 结论

综上所述,江苏省典型白化茶园土壤肥力总体状况良好,土壤中有机质、氮、磷、钾含量丰富,个别茶园磷、钾含量偏低,

在施肥管理过程中要特别注意磷钾肥的施用。白化茶园中钙镁含量偏高,在管理过程中应注意控制钙镁肥的施用,最好选用不同类型的茶树专用肥,对于补充茶树营养,调控钙、镁含量有直接效果。茶园普遍存在有效铁含量过高、个别茶园有效锰缺乏的现象,茶园管理过程中要控制铁肥的施入,在缺锰地区可以适当施用商品锰微肥。江苏省典型白化茶园土壤呈明显酸化趋势,可通过施用农作物秸秆等农业有机废弃物及其经热解制成的生物质炭来改良土壤酸度。

参考文献:

- [1] 陈学林. 茅山茶区不同品种白茶夏、秋季鲜叶加工红茶的品比试验[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(6): 212-213.
- [2] 王开荣, 李明, 张龙杰, 等. 白茶种质资源分类研究[J]. 茶叶, 2015, 41(3): 126-129.
- [3] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000: 574.
- [4] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [5] 傅海平, 常硕其, 刘红艳, 等. 茶园土壤交换性钙镁含量、分布特征及与速效钾的关系[J]. 中国茶叶, 2013, 35(3): 14-16.
- [6] 王德宣, 富德义. 吉林省西部地区土壤微量元素有效性评价[J]. 土壤, 2002, 34(2): 86-89, 93.
- [7] 金媛. 陕西茶园土壤养分评价研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [8] Abe S S, Hashi I, Masunaga T, et al. Soil profile alteration in a brown forest soil under high-input tea cultivation[J]. Plant Production Science, 2006, 9: 457-461.
- [9] Oh K, Kato T, Li Z P, et al. Environmental problems from tea cultivation in Japan and a control measure using calcium cyanamide[J]. Pedosphere, 2006, 16(6): 770-777.
- [10] Wang H, Xu R K, Wang N, et al. Soil acidification of alfisols as influenced by tea plantation in eastern China[J]. Pedosphere, 2010, 20: 799-806.
- [11] Hamid F S, Ahmad T, Khan B M, et al. Effect of soil pH in rooting and growth of tea cuttings (*Camellia sinensis* L.) at nursery level[J]. Pakistan Journal of Botany, 2006, 38: 293-300.
- [12] Fung K F, Carr H P, Zhang J H, et al. Growth and nutrient uptake of tea under different aluminium concentrations[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008, 88(9): 1582-1591.
- [13] 马立锋, 石元值, 阮建云. 苏、浙、皖茶区茶园土壤 pH 状况及近十年来的变化[J]. 土壤通报, 2000, 31(5): 205-207.
- [14] 程正芳, 宋木兰, 童云娟, 等. 苏南低产茶园土壤障碍因素研究[J]. 茶叶, 1994, 20(1): 18-22.
- [15] 胡秋辉. 低硒茶园土壤茶叶富硒效应及富硒茶生化特性的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 1999.
- [16] 罗敏, 宗良纲, 陆丽君, 等. 江苏省典型茶园土壤酸化及其对策分析[J]. 江苏农业科学, 2006(2): 139-142.
- [17] 徐仁扣. 我国降水中的 NH_4^+ 及其在土壤酸化中的作用[J]. 农业环境保护, 1996, 15(3): 139-140.
- [18] 杨昂, 孙波, 赵其国. 中国酸雨的分布、成因及其对土壤环境的影响[J]. 土壤, 1999(1): 13-18.
- [19] 徐仁扣, Coventry D R. 某些农业措施对土壤酸化的影响[J]. 农业环境保护, 2002, 21(5): 385-388.

模型进行分区研究,本研究依据降水量、温度的变化对农牧交错带气候进行探讨,并未考虑风速、蒸发量及社会人文因素对农牧交错带的影响。

30 年间,五大农牧交错带温度明显升高,但近几年有明显降温现象,除丘陵草原区(Ⅳ区)降水量有所增加,其他 4 区降水量均有减少趋势。降水量减少,温度升高,将严重影响农牧交错带的旱作农业生产^[7],被开垦的农田处于一个不稳定的状态,并造成沙漠化的发展。草甸草原区(Ⅰ区)雨量适中、气候适宜,适于发展大牲畜,但是因其受气候因素影响最大,可能导致该区域植物生长受到影响,不利于畜牧业的发展。受气候变化影响最小的山地草原区(Ⅴ区),生态空间格局不会有太大变化。

我国农业生产大体以 400 mm 年降水量等值线为界,可分为 2 个大区:以东、以南是种植业为主的农区,以西、以北是畜牧业为主的牧区。由于近 30 年间 400 mm 等雨量线向东、向北迁移迅速,北方农牧交错带将大大减少畜牧业的发展,避免增加其生态脆弱性。

考虑针对不同植被区域类型采用不同的措施,有选择地对草地实行施肥、灌溉,增强防治风蚀沙化的能力,减轻草地畜牧业的压力,提高农牧交错带经济效益。

参考文献:

- [1] 罗承平,薛纪瑜. 中国北方农牧交错带生态环境脆弱性及其成因分析[J]. 干旱区资源与环境,1995,9(1):1-7.
- [2] 刘全友,童依平. 北方农牧交错带土地利用现状对生态环境变化的影响——以内蒙古多伦县为例[J]. 生态学报,2003,23(5):1025-1030.
- [3] 邓祥征,战金艳. 中国北方农牧交错带土地利用变化驱动力的尺度效应分析[J]. 地理与地理信息学,2004,20(3):64-68.
- [4] 肖鲁湘,张增祥. 农牧交错带边界判定方法的研究进展[J]. 地理科学进展,2008,27(2):104-111.
- [5] 李秋月,潘学标. 气候变化对我国北方农牧交错带空间位移的影响[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(10):1-6.

(上接第 275 页)

- [20] Ruan J Y, Zhang F S, Wong M H, et al. Effect of nitrogen and phosphorus sources on the growth, nutrient uptake and rhizosphere soil property of *Camella sinensis* L. [J]. Plant and Soil, 2000, 223: 63-71.
- [21] 石锦芹. 尿素和茶树落叶对荒地土壤元素迁移的影响[J]. 茶叶科学, 1999, 19(2): 125.
- [22] 徐仁扣. 土壤酸化及其调控研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(2): 238-244.
- [23] 孙继海, 吴子铭. 茶园土壤活性酸度动态: 土壤酸化及最适酸度的初步研究[J]. 土壤肥料, 1980(3): 16-23.
- [24] Noble A D, Zenneck I, Randall P J. Leaf litter ash alkalinity and neutralisation of soil acidity [J]. Plant and Soil, 1996, 179(2): 293-302.
- [25] Pocknee S, Sumner M E. Cation and N contents of organic matter determine its soil liming potential[J]. Soil Science Society America Journal, 1997, 61(1): 86-92.
- [26] Yuan J H, Xu R K, Qian W, et al. Comparison of the ameliorating effects on an acidic ultisol between four crop straws and their

- [6] 刘洪来, 王艺萌, 窦 潇, 等. 农牧交错带研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(8): 4420-4425.
- [7] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 北方农牧交错带界定及其生态问题[J]. 地球科学进展, 2002, 17(5): 739-747.
- [8] 苏志殊, 马义娟, 刘 梅. 中国北方农牧交错带形成之探讨[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2003, 26(3): 269-273.
- [9] 赵凌云, 潘志华, 安萍莉, 等. 北方农牧交错带作物耗水特征及其与气温和降水的关系[J]. 资源科学, 2012, 34(3): 401-408.
- [10] 程 高, 张宝林, 常成虎. 浑善达克地区典型植被 NDVI 与温度、降水的相关性分析[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(6): 1298-1303.
- [11] 董满宇, 江 源, 任斐鹏, 等. 近 50 年来北方农牧交错带气温变化趋势及突变分析[J]. 中国沙漠, 2010, 30(4): 926-932.
- [12] 裴国旺, 赵艳霞, 王石立. 气候变化对我国北方农牧交错带及其气候生产力的影响[J]. 干旱区研究, 2001, 18(1): 23-28.
- [13] 蒋卫国, 陈云浩, 李 京, 等. 中国北方农牧交错带生态环境的空间格局演变[J]. 自然资源学报, 2005, 20(6): 871-878.
- [14] 杨秀春, 徐 斌, 朱晓华, 等. 北方农牧交错带草原产草量遥感监测模型[J]. 地理研究, 2007, 26(2): 213-221.
- [15] 赵松乔. 内蒙古东、中部半干旱区——一个危急带的环境变迁[J]. 干旱区资源与环境, 1991, 5(2): 1-9.
- [16] 孙 娟, 林振山. 经验模态分解下中国气温变化趋势的区域特征[J]. 地理学报, 2007, 62(11): 1132-1141.
- [17] 龚道溢, 王绍武. 近百年 ENSO 对全球陆地及中国降水的影响[J]. 科学通报, 1999, 44(3): 315-320.
- [18] 张晶晶, 陈 爽, 赵昕奕. 近 50 年中国气温变化的区域差异及其与全球气候变化的联系[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(4): 1-6.
- [19] 李 超, 刘亚南, 潘志华, 等. 北方农牧交错带气候变化的时空特征研究[C]//第 29 届中国气象学会年会论文集. 2012.
- [20] 王澄海, 李 健, 许晓光. 中国近 50 年气温变化准 3 年周期的普遍性及气温未来的可能变化趋势[J]. 高原气象, 2012, 31(1): 126-136.
- [21] 范锦龙, 李贵才, 张 艳. 阴山北麓农牧交错带植被变化及其对气候变化的响应[J]. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1528-1532.

- biochars[J]. Journal of Soils and Sediments, 2011, 11(5): 741-750.
- [27] 张小琴, 陈 娟, 高秀兵, 等. 贵州重点茶区茶园土壤 pH 值和主要养分分析[J]. 西南农业学报, 2015, 28(1): 286-291.
- [28] 韩文炎, 李 强. 茶园施肥现状与无公害茶园高效施肥技术[J]. 中国茶叶, 2002, 24(6): 29-31.
- [29] 宗良纲, 周 俊, 罗 敏, 等. 江苏茶园土壤环境质量现状分析[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(4): 61-64.
- [30] 童启庆. 茶树栽培学[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 213-216.
- [31] 黄意欢, 肖力争. 茶树的钙营养茶树营养生理与土壤管理[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1992: 65-70.
- [32] 吴 洵. 茶树的钙镁营养及土壤调控[J]. 茶叶科学, 1994, 14(2): 15-121.
- [33] 林 葆, 周 卫, 李书田, 等. 长期施肥对潮土硫、钙和镁组分与平衡的影响[J]. 土壤通报, 2001, 32(3): 126-128.
- [34] 刘小文, 高晓余, 何月秋, 等. 几种微量元素对茶树生理及茶叶品质的影响[J]. 广东农业科学, 2010, 37(6): 162-165.
- [35] 陆锦时. 茶树品种品质化学指标研究[J]. 茶业通报, 1989, 11(4): 16-18.