

江苏丰县苹果主产区果园土壤养分状况的调查

李建刚¹,侯宗海²,张旭美³,董元华^{1*}

(1. 中国科学院南京土壤研究所土壤环境与污染修复重点实验室,江苏南京 210082;
2. 江苏省丰县农业委员会土肥站,江苏丰县 221700;3. 太仓市土壤肥料站,江苏太仓 215400)

摘要:为全面了解和掌握江苏丰县地区苹果园土壤养分总体状况,实现苹果科学合理施肥,对丰县4个主产苹果的宋楼、华山、大沙河和孙楼镇的果园进行土壤养分调查和分析。选取10年生左右的丰产果园,共采集371个土壤样品,测定了土壤中有机质、全N、全P、全K及速效养分的含量。结果表明,4个镇果园土壤pH平均为8.32,属于碱性土壤。所检测的养分除了全P和速效P含量总体较为丰富之外,土壤有机质、全N和碱解N,全K和速效K含量均相对较低,处于中等和缺乏水平,而且各个地方的含量也不相同,其中孙楼镇的土壤有机质、全氮、全磷含量显著高于其他3个镇的水平,分别为14.11、1.09、1.04 g·kg⁻¹。而全钾和速效钾均以宋楼镇最高,分别是19.38 g·kg⁻¹和114.73 g·kg⁻¹。与1982年丰县第2次土壤普查时候相比,由于平衡施肥技术,沃土工程的实施,丰县整体的养分含量有了大幅的提高。

关键词:丰县;果园;土壤养分;二次土壤普查

中图分类号:S718.516 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)02-0065-05

State of Soil Nutrients of Apple Orchards in the Major Production Area of
Feng County in Jiangsu Province

LI Jian-gang¹, HOU Zong-hai², ZHANG Xu-mei³, DONG Yuan-hua^{1*}

(1. Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210082, China; 2. Feng County Soil and Fertilizer Station, Fengxian, Jiangsu 221700, China;
3. Taicang Soil and Fertilizer Station, Taicang, Jiangsu 215400, China)

Abstract: To fully verify the overall status of soil nutrients in apple orchards and provide scientific fertilization methods for apple trees of Feng County in Jiangsu Province, the soil nutrients of 371 soil samples were collected from about ten-year-old orchards in 4 major apple planting townships: Songlou, Huashan, Dashaher, and Sunlou. Soil nutrients were analyzed, including soil organic matter, total N, total P, total K and available nutrients concentrations. The results showed that the orchard soil pH was 8.32 on average, which means they were alkaline soil. Total P and available P concentrations were relatively rich, others, such as soil organic matter, total N, hydrolyzable N, total K, available K concentrations, were relatively low or in the medium levels. Additionally, soil nutrient concentrations varied among different sampling locations. For example, the concentrations of soil organic matter, total N, total P were the highest in Sunlou, with the concentrations of 14.11 g·kg⁻¹, 1.09 g·kg⁻¹, and 1.04 g·kg⁻¹, respectively. While the concentrations of total K and available K were the highest in Songlou with the concentrations of 19.38 g·kg⁻¹ and 114.73 g·kg⁻¹. Although the concentrations of soil nutrients were low, they significantly increased compared with the data of the concentrations from the second general soil survey due to balanced

收稿日期:2014-05-27 修回日期:2014-09-17

基金项目:江苏省科技支撑项目(BE20111416)。

作者简介:李建刚,男,博士,副研究员,研究方向:土壤健康的营养生态调控。E-mail:jgli@issas.ac.cn

*通信作者:董元华,男,研究员,研究方向:土壤生态。E-mail:yhdong@issas.ac.cn

fertilization technology and the implementation of the fertile soil engineering.

Key words: Feng county; apple orchard; soil nutrient; second general soil survey

丰县位于江苏省西北部,土壤以沙土为主,质地疏松,土层深厚,透气性强,适于果树生长。素有苏北“果都”之称^[1]。生产出的优质苹果,以其味甜、色艳享誉中外,远销新加坡、马来西亚、南韩等一些国家。

丰县现有果树面积 33 333.35 hm²,其中苹果面积 25 333.346 hm²。尤其是红富士最为闻名。红富士果树从 1971 年引入丰县以来,因其良好的品质特性,被广大果农喜爱,迅速成为当地的主栽品种。1980 年后,红富士苹果在丰县进入迅速发展期,全县栽培面积达到 26 666.68 hm²,因此丰县被称为“中国红富士苹果之乡”。早在 1999 年,丰县红富士苹果被昆明世博会指定为唯一无公害绿色果品,后多次蝉联部优金奖,2 次荣获部优称号。“大沙河牌”红富士全国享有盛名,在全国历次水果评比中屡获殊荣,曾获得农业部“绿色食品”认证和“中华名果”称号。在区域分布上,全县 14 个镇均有果树面积分布,在近几年的竞争淘汰过程中,果树面积向产业优势区域集中,其中大沙河镇、宋楼镇、华山镇和孙楼镇果树面积占全县果树面积的 60% 以上^[2]。

施肥是果树管理和果品增产的重要措施。近年来,丰县果园存在着施肥不合理、树龄老化、土壤养分失衡、土壤生物功能退化、果树病害严重的现象。给优质果生产造成了严重的影响。目前,丰县苹果种植面积全国位列第 9 位,也具有一定的规模优势,但有关丰县果农施肥状况及其存在问题的研究较少,关于果园土壤肥力的研究报道则更少。而果园土壤营养状况对果树产量和果实品质起重要的作用。果园土壤理化性状良好,土壤肥沃,有利于果树根系生长和对养分的吸收,对提高果实产量和品质有重要意义^[3]。通过对丰县 4 个苹果主产镇的宋楼、华山、大沙河和孙楼的 317 个土壤样品养分含量的分析,探明了丰县果园土壤肥力现状,以为当地果农的施肥管理提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

丰县位于江苏省西北部,界于 116°21'15"–116°52'03"E,34°24'25"–34°56'27"N 之间,是苏鲁豫皖 4 省 7 县交界处。具有生长季节长、热量丰富、雨水充沛的特点。年日照时数为 2 284~2 495 h,年平均气温 14℃,年均无霜期 200~220 d,年平均降水量 800~930 mm^[4]。土壤以沙土为主,土层深厚,质地疏松。因此,果树生长快、生长量大、树势较

旺、树冠形成快。不仅结果早,而且易达到早期丰产,同一果树品种的成熟期比潮海湾地区普遍提早 20 d 左右,是我国苹果栽培的最南沿。

1.2 土壤样品采集

根据每个镇果树的种植面积、农户施肥方法,在每个镇选择典型的能代表该镇整体果园生产状况的果园采集土壤样品,其中宋楼镇 104 个样品、华山镇 96 个样品、大沙河镇 59 个样品、孙楼镇 58 个样品,共计 317 个果园土壤样品。具体采样方法是根据产地的地形地貌、生产情况和果园形状及面积大小,一个果园为一个采样单元,取样深度 0~40 cm,以对角线或 S 形取 8~20 个点的混合土样,去除土壤中的杂质,混匀四分法留 1 kg 备用,将土样自然风干后进行检测。

1.3 分析项目及检测方法

检测方法参照鲁如坤主编的土壤农业化学分析方法^[5]。土壤全 N 的测定为半微量凯氏定氮法;全 P 采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法;全 K 采用 NaOH 熔融-火焰光度法;碱解 N 采用碱解扩散法;有效 P 采用 NaHCO₃-钼锑抗比色法;速效 K 采用 NH₄OAc 浸提火焰光度法;有机质的测定为重铬酸钾容量法;pH 值的测定采用电位法。

1.4 土壤养分分级标准

测定的土壤有机质、全 N、全 P、全 K、碱解 N、速效 P 和速效 K 含量参照全国第二次土壤普查标准和文献^[6]进行分级。

2 结果与分析

2.1 土壤酸碱度

通过检测丰县 4 镇土壤的 pH 值发现,4 个镇果园土壤 pH 值均 >8.0,呈碱性,且不同地方采集的土壤 pH 值变化范围不大,从 8.2~8.4(表 1)。但是宋楼和大沙河的土壤 pH 要显著低于华山和孙楼镇。

表 1 4 镇果园土壤有机质含量

Table 1 Organic matter concentration of orchard soil from four townships

采样点	pH
宋楼	8.25±0.18a
华山	8.39±0.21b
大沙河	8.26±0.15a
孙楼	8.32±0.15b
平均值	10.25

注:同一列中不同的字母表示差异达到显著水平($p<0.05$),每列后面的数字是指标准误差。

2.2 土壤有机质含量

土壤有机质含量是衡量土壤肥力的重要指标,能增强土壤保肥力和缓冲性,提高肥效,还能改善土壤的物理性状^[7-8]。

从表2可见,丰县苹果主产区丰产园土壤有机质含量相对较低,4个苹果主产镇土壤有机质平均含量为 $10.25\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,变幅为 $9.07\sim14.11\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。其中果园有机质含量最高的为孙楼镇,显著高于其他3个镇的土壤样品,最低的为大沙河镇,但是与宋楼和华山镇的土壤样品差异不显著。在调查的317个果园中,有机质含量 $>10.00\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的果园占52.2%。按照丰县土壤有机质分级标准,孙楼镇的有机质含量达到2级,其他3个镇的为3级。对照全国第2次土壤普查分级标准可知,丰县的果园的土壤有机质含量总体上缺乏。但是与丰县本地第2次土壤普查时候的有机质含量相比却有增加,平均含量增加 $3.15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,各镇具体增幅为 $2.57\sim6.01\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表2)。

2.3 土壤全N和碱解N含量

土壤全氮是土壤肥力的重要标志。从表3可知,丰县4个镇果园土壤N的平均含量是 $0.73\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,土壤全N的变幅较大,为 $0.58\sim1.09\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,和有机质含量变化趋势相同,孙楼镇N含量显著高于其他地方,而另外3个镇之间无明显差异,其中最低的是大沙河镇。根据全国第2次土壤分级

标准,只有孙楼镇果园土壤全N含量属于中等级别,在调查的317个果园中占18.30%;其他地方的果园土壤中均缺N。4个镇土壤速效N的含量趋势和全N一样,同样是孙楼镇最高,变幅为 $64.47\sim95.86\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。虽然果园土壤全N含量缺乏,但是和丰县第2次土壤普查时候相比,各个镇土壤的全N含量还是有了大幅的提高。全氮平均增幅30.36%,就各个镇而言,增加幅度为28.89%~91.23%(表3)。而在碱解氮方面,各个镇之间也具有很大的差异,其中以孙楼镇含量最高,其次是华山镇,要显著高于其他2个镇。对于土壤中碱解氮的绝对含量来讲,其中孙楼镇达到了全国第2次土壤分级标准的中等水平,其他3个镇均表现出缺氮(表3)。

表2 4镇果园土壤有机质含量

Table 2 Organic matter concentration of orchard soil from four townships

采样点	含量 $(\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	级别a	级别b	第2次 普查时含量 $(\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$
宋楼	$9.37\pm0.31\text{a}$	较缺	3级	6.8
华山	$10.26\pm0.28\text{a}$	缺	2级	6.6
大沙河	$9.07\pm0.45\text{a}$	较缺	3级	6.1
孙楼	$14.11\pm0.39\text{b}$	缺	2级	8.1
平均值	10.25	缺	2级	7.1

注:a按照全国第2次土壤普查分级标准的级别;b按照1982年丰县第2次土壤普查分级标准的级别。同一列中不同的字母表示差异达到显著水平($p<0.05$),每列土后面的数字是指标准误差。表3~表5同。

表3 4镇果园土壤全N和碱解N含量

Table 3 Total and hydrolyzable N content of orchard soil from four townships

采样点	全N			碱解N		
	含量 $(\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	级别a	级别b	第2次普查时含量 $(\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	含量 $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	级别a
宋楼	$0.69\pm0.27\text{a}$	较缺	3级	0.53	$64.47\pm1.75\text{a}$	缺
华山	$0.70\pm0.23\text{a}$	较缺	3级	0.43	$84.33\pm2.79\text{b}$	缺
大沙河	$0.58\pm0.26\text{a}$	较缺	4级	0.45	$66.99\pm5.36\text{a}$	缺
孙楼	$1.09\pm0.58\text{b}$	中等	2级	0.57	$95.86\pm3.14\text{b}$	中等
平均值	0.73	较缺	3级	0.56	76.04	缺

2.4 全P和速效P含量

相对于其他养分含量,4个镇果园土壤中全磷含量较高。土壤耕层全磷平均含量为 $0.83\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,总体较为丰富。土壤全P变幅为 $0.78\sim1.04\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中含量最高的是孙楼镇,显著高于其他各镇,最低的是宋楼镇(表4)。根据全国第2次土壤分级标准,宋楼、华山和大沙河3个镇全磷含量为中等水平,在调查的317个果园中占71.70%,而孙楼镇果园的平均全磷含量为 $1.04\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,达到了丰富的水平。土壤速效磷含量和总磷含量的地理分布略有不同,其中最低的是宋楼镇,平均含量是 19.64 mg/kg ,为中等水平,其他3个镇的速效磷含

量均 $>20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,处于较丰富水平(表4)。比照丰县第2次土壤普查结果发现,现在丰县土壤中全磷和速效磷含量均有了不同程度的增加,全磷从 $0.61\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加到 $0.83\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,而速效磷含量增加幅度更高,30a间更是从 $4.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加到了 $21.44\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,增加了3.66倍。

2.5 全K和速效K含量

4个镇的果园土壤中全K平均含量为 $18.32\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,各镇之间土壤全K变幅不大,为 $17.30\sim19.38\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中含量最高的是宋楼镇,显著高于其他各镇,最低的是大沙河镇。根据全国第2次土壤分级标准,总体处于中等水平。4个镇速效钾

含量差异也不大,变化范围 $92.11\sim114.73\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均含量为 $106.01\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,和全钾的变化趋势一样,同样以宋楼最高,大沙河最低。这与各地土壤的成土母质和成土条件相关。和第2次全国土

壤普查时的速效K含量($93.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)相比,4个镇果园的速效K平均含量增加了 $12.91\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表5)。

表4 4镇果园土壤全P和速效P含量

Table 4 Total and available P contents of orchard soil from four townships

采样点	全P		速效P		
	含量/(g·kg ⁻¹)	级别a	级别b	含量/(mg·kg ⁻¹)	级别a
宋楼	$0.78\pm0.01\text{a}$	中等	2级	$19.64\pm1.39\text{a}$	中等
华山	$0.80\pm0.02\text{a}$	中等	2级	$22.00\pm1.36\text{a}$	较丰富
大沙河	$0.80\pm0.03\text{a}$	中等	2级	$22.24\pm1.72\text{a}$	较丰富
孙楼	$1.04\pm0.03\text{b}$	丰富	1级	$23.66\pm1.93\text{a}$	较丰富
平均值	0.83	较丰富	2级	21.44	较丰富

表5 4镇果园土壤全K和速效K含量

Table 5 Total and available K content of orchard soil from four townships

采样点	全K		速效K	
	含量/(g·kg ⁻¹)	级别a	含量/(mg·kg ⁻¹)	级别a
宋楼	$19.38\pm0.38\text{a}$	中等	$114.73\pm4.77\text{a}$	中等
华山	$17.68\pm0.21\text{b}$	中等	$101.99\pm4.65\text{ab}$	中等
大沙河	$17.30\pm0.92\text{b}$	中等	$92.11\pm5.43\text{b}$	缺
孙楼	$18.94\pm0.24\text{ab}$	中等	$104.80\pm5.87\text{ab}$	中等
平均值	18.32	中等	106.01	中等

3 结论与讨论

3.1 讨论

果园土壤的营养状况直接影响果树的生长和果品品质。国内外有关果园土壤养分调查和评价已有较多的研究,但由于地域性质的差异,造成气候、土壤条件和栽培、管理方式的不同,各地果园土壤的养分状况差异很大。只有充分了解果园土壤的养分状况,才能提出有针对性的土壤肥力改良方案,为果园土壤的精准施肥提供科学依据^[9-10]。

果园土壤有机质的含量与果树基础产量有密切关系,有机质含量高,果树基础产量也高且稳定,果实品质也好^[3]。据报道,我国丰产优质苹果园土壤有机质均在 $15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上,国外高达 $20\sim60\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[11-12]。所以与其他地区的果园土壤相比,丰县的果园有机质含量相对较低,其原因之一是由于当地的土壤沙、壤、粘并存,造成土壤有机质含量低下;二是与当地的耕作措施有关,果区旱作,土壤常年不秋耕,施用化学肥料多,所以有机质积累量少^[13]。但是最近推广平衡施肥技术,实施沃土工程,推行种养结合,增加了绿肥种植面积,另外由于现在果农的经济效益在增加,所以在肥料使用上,加大了有机肥料的使用,农户会在施基肥时加入农家肥、菜籽饼或者商品有机肥。其中农家肥会用到 $90\sim135\text{ t}$,菜籽2

250 kg左右,商品有机肥 $3\ 500\sim7\ 500\text{ kg}$,所以土壤有机质含量相比第2次土壤普查时期有了增加。

从第2次土壤普查到现在的30 a间,丰县土壤全氮有1次明显的上升过程,之后尽管有变化但变幅很小。一般而言有机质含量高,全氮含量也高,土壤中97%~99%的氮素来自土壤有机质,呈正相关性^[14]。由于联产承包责任制以来,种植制度和复种模式发生了变化,经济作物施用的肥料多,有机肥施用多,从而提高了全氮的含量。在今后氮肥的施用上要注意平衡施肥,注意土壤缓冲作用,充分利用土壤有机质含量与全氮含量的正相关性,有机质含量高,全氮含量也高,可以增施一定的氮肥,否则增施较多的氮肥也不能形成积累,只能造成氮素的流失,从而污染生态环境。

与第2次土壤普查时相比,土壤速效磷含量也有了大幅的提升,其主要原因首先是第2次土壤普查以后,针对丰县耕地土壤普遍缺磷的现状做了评估,针对速效磷含量低,从而制约农作物产量提高的状况,实施了增磷补钾工程和沃土工程。使得磷肥的施用量逐年增加,特别是加大了复合肥及复混肥的大量施用。再者,丰县土壤为石灰性土壤,碳酸钙含量高且土壤呈微碱性至碱性,造成土壤中的磷素易被固定^[15]。

3.2 结论

本文对丰县4个主产苹果的宋楼、华山、大沙河和孙楼镇的果园371个土壤样品进行了土壤养分调查和分析。整体来讲由于土壤类型和农户施肥管理措施的原因,丰县果园整体养分与1982年丰县第2次土壤普查时候相比,当地养分含量有了大幅的提高,但还是比较缺乏。除了全P和速效P含量总体较为丰富之外,土壤有机质、全N和碱解N,全K和速效K含量均相对较低,处于中等和缺乏水平,而且各个地方的含量也不相同,其中土壤有机质、全N、全P含量均以孙楼镇最高。而全K和速效K均

以宋楼镇最高。所以在今后的果园施肥过程中要根据不同土壤的缺肥情况进行科学施肥,改良土壤^[16],恢复土壤生物功能^[17-18],以降低生产成本,实现丰产、优质、高效。

参考文献:

- [1] 马玲玲. 丰县地区苹果生产现状及发展策略研究[J]. 中国果菜, 2013(5):45-46.
- [2] 屠煦童, 黄善桥, 戴强, 等. 江苏丰县苹果产业现状及发展对策[J]. 中国农学通报, 2012, 28(34):289-295.
TU X T, HUANG S Q, DAI Q, et al. Current situation and development countermeasures of apple industry in Fengxian [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(34): 289-295. (in Chinese)
- [3] 郁荣庭. 果树栽培学总论[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [4] 郭庆祥. 丰县果树产业发展现状与对策[J]. 现代农业科技, 2013(23):137-139.
- [5] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1999.
- [6] 丰县土壤普查办公室. 江苏省丰县土壤志[M]. 南京:江苏省土壤普查办公室, 1986.
- [7] 秦嘉海, 金自学, 王进, 等. 祁连山不同林地类型对土壤理化性质和水源涵养功能的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 92-95.
QIN J H, JIN Z X, WANG J, et al. Influence of different type of forest land on soil physico-chemical property and function of water conservation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(1):92-95. (in Chinese)
- [8] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社, 2000:291-292.
- [9] 张丹, 张进忠, 汤民, 等. 山地果园土壤肥力调查与评价——以重庆市金果园为例[J]. 中国农学通报, 2011, 27(31):290-295.
ZHANG D, ZHANG J Z, TANG M, et al. Investigation and assessment of soil fertility in montanic orchard——a case study in golden orchard of Chongqing[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin [J]. 2011, 27(31):290-295. (in chinese)
- [10] 胡冬南, 游美红, 袁生贵, 等. 不同配方施肥对幼龄油茶的影响[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(1):94-97.
HU D N, YOU M H, YUAN S G, et al. The effect on young *Camellia oleifera* of different formula fertilization[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 20(1):94-97. (in Chinese)
- [11] 李美阳, 曲柏宏, 陈艳秋, 等. 延边苹果梨园土壤营养状况的研究[J]. 延边大学农学学报, 2001, 12(3):16-21.
LI M Y, QU B H, CHEN Y Q, et al. Study on the state of soil nutrient of apple-pear or chards in Yanbian area[J]. Journal of Agricultural Science Yanbian University, 2001, 12 (3):16-21. (in Chinese)
- [12] 刘子龙, 张广军, 赵政阳, 等. 陕西苹果主产区丰产果园土壤养分状况的调查[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(2):50-53.
LIU Z L, ZHANG G J, ZHAO Z Y, et al. Survey on the state of soil nutrient of apple orchards in the major production area of Shaanxi[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(2):50-53. (in Chinese)
- [13] 李会科, 赵政阳, 张广军. 种植不同牧草对渭北苹果园土壤肥力的影响[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(2):31-34.
LI H K, ZHAO Z Y, ZHANG G J. Effects of planting different herbage on soil fertility of apple orchard in Weiwei Areas[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19 (2):31-34. (in Chinese)
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2005: 27-28.
- [15] 侯宗海, 渠立强, 朱显忠, 等. 丰县土壤养分含量状况与分析[J]. 现代农业科技, 2011(13):264-265.
- [16] 邱学礼, 高福宏, 方波, 等. 不同土壤改良措施对植烟土壤理化性状的影响[J]. 西南农业学报, 2011, 24(6):2270-2273.
QIU X L, GAO F H, FANG B, et al. Effects of different soil improvement measures on physical and chemical properties of tobacco soil Southwest China [J]. Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(6):2270-2273. (in Chinese)
- [17] BEVER J, BROADHURST L, THRALL P. Microbial phylo-type composition and diversity predicts plant productivity and plant-soil feedbacks[J]. Ecol. Lett., 2013, 16:164-174.
- [18] 李东坡, 陈利军, 武志杰, 等. 不同施肥微生物量氮变化特征及相关因素[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1891-1896.
LI D P, CHEN L J, WU Z J, et al. Dynamics of microbial biomass N in different fertilized black soil and its related factor[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15 (10): 1891-1896. (in Chinese)