

大港河小流域土地利用方式 对土壤肥力影响的研究

王振平^{1,2}, 余辉², 汪怀建^{1*}, 姚理为², 燕姝雯²

(1. 江西农业大学 国土资源与环境学院, 江西 南昌 330045; 2. 中国环境科学研究院 湖泊生态环境创新基地, 北京 100012)

摘要: 采用野外调查、取样和实验分析相结合的方法对江苏省宜兴市大港河小流域内 4 种主要土地利用方式 (林地、水田、茶园、灌丛) 的土壤理化性质进行对比研究, 讨论不同土地利用方式对土壤肥力的影响, 结果表明: 不同土地利用方式对土壤肥力的影响不同, 土壤有机质和全氮质量分数变化依次为灌丛 > 林地 > 茶园 > 水田; 农业耕作活动对表层土壤物理性质影响较显著, 0~20 cm 层的土壤含水率变化顺序为水田 > 灌丛 > 林地 > 茶园; 20~40 cm 层的土壤含水率呈现出不同的变化规律, 其顺序为灌丛 > 林地 > 水田 > 茶园; 0~20 cm 层的土壤容重变化顺序为水田 > 灌丛 > 茶园 > 林地; 20~40 cm 层的土壤容重呈现同样的变化规律。

关键词: 大港河小流域; 土地利用方式; 土壤肥力; 土壤物理性质; 土壤化学性质

中图分类号: S714.5 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2011)05-1017-06

Effects of Land Use Types on Soil Fertility in Dagang Watershed

WANG Zhen-ping^{1,2}, YU Hui², Wang Huai-jian^{1*}, YAO Li-wei², YAN Shu-wen²

(1. School of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Research Center of Lake Environment, Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 110012, China)

Abstract: Soil physical and chemical properties under the four main types of land use (forest land, paddy field, tea garden and bush land) in Dagang watershed, Yixing, Jiangsu Province, were studied through field soil sampling and laboratory analysis. The effects of different land use types on soil fertility have been discussed in this paper. The results show that different land uses have different effects on soil fertility. Both soil organic matter and total nitrogen content decline in a sequence from bush land, forest land and tea garden to paddy field. Simultaneously, farming practice has significant impacts on the physical and chemical properties of surface soil. The soil water content of the 0~20 cm layer is in the order of paddy field > bush land > forest land > tea garden. Compared with the 0~20 cm layer, the 20~40 cm layer shows a different variation in the order of bush land > forest land > paddy field > tea garden. The soil bulk density of the 0~20 cm layer and the 20~40 cm layer have the same change in the order of paddy field > bush land > tea garden > forest land.

Key words: Dagang watershed; land use type; soil fertility; soil physical properties; soil chemical properties

收稿日期: 2011-05-27 修回日期: 2011-08-31

基金项目: 国家水体污染控制与治理重大专项 (2008ZX07101-001)

作者简介: 王振平 (1985-) 硕士生, 主要从事环境污染防治与生物修复研究; * 通讯作者: 汪怀建, E-mail: shong62@163.com。

土壤作为植物生产的基地、动物生产的基础、农业的基本生产资料、人类耕作的劳动对象,与社会经济紧密联系,其本质是肥力。土壤肥力也正是土壤各方面性质的综合反映,体现了其在农业生产和科学研究中的重要地位。土壤肥力的高低直接影响着作物生长,农业生产的结构、布局和效益等方面。我国土壤学界对土壤肥力研究非常活跃,侯光炯^[1]认为:土壤肥力是土壤代谢功能、调节功能的强弱和在一定地理位置、自然条件下,土壤同内部水、养适量,气、热周期性动态,稳、匀、足、适程度;并从生态系统的角度把土壤肥力分为母质肥力、层次肥力、田块肥力、耕作肥力、气候肥力、地貌肥力、水文肥力和植被肥力。熊毅^[2]认为:土壤肥力是土壤的本质,土壤肥力就是土壤为植物生产供应和协调营养条件和环境条件的能力,水分和养分是营养因素,温度和空气是环境因素;水既是养分因素,又是营养因素;土壤结构是肥力的重要基础,肥力评价要考虑到土壤整体。章家恩^[3]提出土壤生态肥力(Soil ecological fertility)概念,即在一定的环境条件下,土壤及其生物群落(包括动物和微生物)之间长期协同进化、相互适应、相互作用而表现出的一种和谐共融特性,以及在该特性状态下土壤保证植物生长所需物质与能量的可获得性和可持续性的一种功能和能力。

本文通过对江苏宜兴市大港河小流域水田(paddy field)、茶园(tea garden)、林地(forestland)、灌丛(bush land)等 4 种不同土地利用方式下的土壤肥力进行研究,分析不同土地利用方式与土壤肥力之间的相互关系以及各肥力因子的相关性,对不同土地利用方式下不同层次土壤物理性质的分异研究,以期为低山丘陵小流域土地资源合理利用、农业生产结构的调整、土壤肥力的综合评价和生态环境治理提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 土 样

土样取自江苏省宜兴市最南端的大港河小流域。

大港河是位于宜兴市最南端的太湖入湖河道,主要承接丁蜀镇洑东山区来水,是一个相对封闭、面积较小的流域。地理坐标:119°48'16"~119°54'40"E,31°9'43"~31°12'30"N,属于低山丘陵区域。气候属于亚热带东部季风气候类型,1 月年均气温 3℃,7 月年均气温 28℃,极端低温 -11℃,极端高温 38.5℃,年均温 15.7℃,年均降水量 1 500 mm,无霜期 245 d,冬冷夏热,四季分明^[4]。其主要污染源来自大港村的居民生活污水和农业面源。

大港河小流域地形西高东低,南北两侧山地绵延,村庄及农田散布于两侧山地间的低地;流域面积为 40 km²,人口约 4 600 人,人口密度约为 115 人/km²;主要产业结构为种植业。其不同土地利用方式下土壤取样地的微环境如表 1 所示。

表 1 4 种典型土地利用方式下的土壤取样地的微环境

Tab.1 The micro-environment of soil samples under four typical land use patterns

土地利用方式 Land use pattern	高程/m Elevation	坡向 Slope	各层样品数/n Sample number	各层采样深度/cm Sampling depth
水田 Paddy field	0	/	3	0~20; 20~40
茶园 Tea garden	50	N	3	0~20; 20~40
林地 Forestland	150	S	3	0~20; 20~40
灌丛 Bush land	200	S	3	0~20; 20~40

1.2 分析方 法

1.2.1 样品采集 样品采集方法以 1 km×1 km 的网格法为主,在土地利用方式复杂的地方适当加密采样点,每个网格采集不少于一个点,用 GPS 导航仪精确记录经纬度、高程,并现场填好样品记录卡,详细备注土地利用方式、坡向等。用柱状采泥器采集土壤样品,装入样品采集袋密封保存,带回实验室处理。

土壤物理性质分析样品的采集选择 4 个典型土地利用方式的土块,并且长期处于水田、茶园、林地和灌丛土地利用方式,经过对当地居民的咨询调查,该 4 种土地利用方式在取样地都保持在 10 年以上,由于野外调查时间和经费的限制,本次调查土壤物理性质分析采取 24 个具有代表性的样品,能说明不

同土地利用方式下土壤物理性质的差异即可,分别采取0~20 cm、20~40 cm 两层,每层采集3个样品,共24个,并现场记录土样的体积,以备土壤容重的测定。

土壤化学性质分析样品以多点混合法取,样地的选择在对当地居民的详细调查下,保证每个样方都要取到有代表性的土样,采集0~20 cm 层土壤样品50个。

1.2.2 样品分析 反映土壤肥力的指标很多,本研究选取了土壤物理性质(容重、含水率)和化学性质(pH值、有机质、矿质营养)中的部分项目作为测度不同土地利用方式下土壤肥力的指标。土壤物理性质分析样品取圆柱形原状土,分别采自4种有代表性的土地利用方式地块(表1)。土壤容重的测定采用《森林土壤定位研究方法》中的常规方法^[5];土壤含水率的测定采用烘干法^[6]。

土壤化学性质的测定:pH采用水土体积比1:5的电极法测定,有机质采用 KCr_2O_7 容量法(GB9834-88),全氮为凯氏半微量蒸馏法(GB7173-87),有效氮采用碱解扩散法,有效磷为 $\text{HCl}-\text{NH}_4\text{F}$ 浸提-钼锑抗比色法。试验中的测定方法参见土化分析^[7],实验数据在EXCEL软件上分析和处理。

2 结果与分析

2.1 土地利用方式对土壤物理性质的影响

水分和空气条件对土壤肥力的影响较大,而且直接影响到根系穿插能力、微生物活动和土壤中物质转化过程及植被生长状况^[8]。土地利用方式对表层土壤物理性质影响显著。不同土地利用方式下的土壤物理性质如表2所示。

表2 不同土地利用方式下的土壤物理性质

Tab.2 Soil physical properties under different land use patterns

层次/cm Level	物理性质 Physical properties	水田 Paddy field	茶园 Tea garden	林地 Forestland	灌丛 Bbush land
0~20	土壤含水率/% Soil moisture content	31.15	17.80	24.41	27.17
	土壤容重/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) Soil bulk density	1.42	1.18	1.14	1.21
20~40	土壤含水率/% Soil moisture content	23.05	18.32	24.96	27.84
	土壤容重/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) Soil bulk density	1.51	1.27	1.26	1.29

各种土壤的样品数均为3个;表中所列数值是测定的数学平均值。

All kinds of soil sample number are all three; Values listed in the table are mathematic average value through determination.

由表2可知:水田、茶园、林地、灌丛4种不同土地利用方式下,0~20 cm层的土壤含水率变化为水田>灌丛>林地>茶园。水田的含水率在4种土地利用方式中是最高的,作者推断这和耕种方式有关,水稻要求在水中生长,长期种植水稻的耕地由于灌溉用水要远大于其他耕种,因此增加了水稻田的表层土壤水分含量。研究结果表明,灌丛和林地较茶园有更好的储水能力,灌丛较林地下地面覆盖更好,水分的蒸发流失较慢。20~40 cm层的土壤含水率呈现出不同的变化规律,其顺序为灌丛>林地>水田>茶园,与0~20 cm层的土壤含水率相对比,水田较其他土地利用方式土壤含水率没有增加反倒降低了,究其原因作者推断:本研究的样品采集在水稻生长期,土壤覆盖有农田水,因此水田0~20 cm层的土壤含水率较20~40 cm的土壤含水率高。除水田外的其他土地利用方式下较0~20 cm层的土壤含水率都降低了,此研究结论与王云强等^[9]的研究相一致。

土壤容重不仅用于鉴定土壤颗粒间排列的紧实度,而且是土壤孔隙度和空气含量的直接反应。水田、茶园、林地、灌丛等4种不同土地利用方式下,0~20 cm层的土壤容重变化顺序为水田>灌丛>茶园>林地;20~40 cm层的土壤容重呈现同样的变化规律,究其原因作者推断:长期种植林木和茶树,土壤较为疏松,透气性好,因此林地和茶园的土壤容重小于灌木丛和水田的土壤容重。

2.2 土地利用方式对土壤化学性质的影响

土地利用方式不同,地表覆盖度以及人为干扰影响程度也不同,从而土壤中的养分贮量和养分有效性也不同^[10]。研究流域内受到耕作、管理活动影响最大的是水田和茶园;灌丛和林地受人为扰动较小,土壤有机质积累较丰富,养分贮量及养分有效性都较大,土壤自然肥力较高。不同土地利用方式下的

土壤肥力特点如表 3 所示。

表 3 不同土地利用方式下的土壤肥力特点

Tab. 3 Characteristics of soil fertility under different land use patterns

土地利用方式 Land use pattern	样本数/n Number of samples	pH	有机质 /(g · kg ⁻¹) Organic matter	有机碳 /(g · kg ⁻¹) Organic carbon	全氮 /(g · kg ⁻¹) TN	碳氮比 /c/n	有效氮 /(μg · g ⁻¹) Available N	有效磷 /(μg · g ⁻¹) Available p
水田 Paddy field	12	5.58	27.17	15.75	1.62	9.72	142.082	14.263
茶园 Tea garden	10	4.53	34.39	19.95	1.77	11.27	161.276	4.532
林地 Forestland	16	5.24	62.20	35.92	2.88	12.47	235.084	2.003
灌丛 Bush land	12	5.42	73.15	42.43	3.56	11.92	319.127	1.748

2.2.1 土壤 pH 值 植物正常生长发育有赖于良好的土壤环境,但在自然界中,植物生长的土壤往往存在着各种各样的障碍因素,限制着植物生长^[11]。土壤酸碱性的形成决定于盐基淋溶和盐基积累过程的相对强度,受母质、生物气候及农业措施等条件的制约,它是土壤肥力的重要影响因子之一。流域地处亚热带和暖温带的过渡区,降水量丰富,土壤淋溶过程大于盐积过程,土壤偏酸性^[12]。在具体的土地利用方式下,土壤酸性强弱有所区别(表 3)。全流域范围 50 个土壤样品的分析结果表明,pH 值变化区间为 4.2 ~ 7.47,单从氢离子浓度看,最低浓度和最高浓度相差 4 个数量级,而全国各类土壤溶液氢离子浓度仅相差 7 个数量级^[13]。由此可见,流域土壤 pH 值变异极大。氢离子浓度大小不仅影响土壤性质,而且制约土壤中植物养分有效性的发挥。耕地、林地、茶园和灌丛不同土地利用方式下土壤 pH 值分别为 5.58、4.53、5.24、5.42。

2.2.2 有机质 土壤有机质是土壤中的各种营养元素特别是氮、磷的重要来源。由于它具有胶体特性,还能吸附较多的阳离子,因而使土壤具有保肥力和缓冲性。它还能使土壤疏松和形成结构,从而改善土壤的物理性质。一般来说,土壤有机质含量的多少,是土壤肥力高低的一个重要指标^[7]。土壤有机质质量分数变化是土壤质量与土壤持续能力的重要表现^[14]。土壤管理与利用方式直接影响土壤有机物质的输入和输出。植被特点和植被变化对土壤有机质质量分数动态变化影响显著,如草原开垦为农田后,土壤有机碳损失约为 30% ~ 50%^[15]。

通过对流域水田、茶园、林地和灌丛等 4 种利用方式下的土壤取样分析,土壤有机质平均质量分数大小依次为:灌丛、林地、茶园、水田(表 3)。由于灌丛土壤样品采自海拔 100 ~ 260 m 的山地,本流域雨量充沛,植物生长旺盛,灌木丛茂密,人难以进入,有机质层没有被人为破坏,如铲草皮、收集枯枝落叶等活动较少发生在灌丛地面上,而且灌木丛中生物量丰富,因此有机质层积累较厚,土壤有机质平均质量分数略高于林地土壤。林地土壤样品采自竹林、马尾松林和樟树林共 46 个样品,数据分析结果表明,在林地环境条件下,土壤有机质质量分数变化最大,最高质量分数达到 15.07%,最低为 3.24%。这可能与林木种类有关,位于海拔较高的马尾松林,生长稠密,少有人进入收集枯枝落叶和砍伐林木,故其有机质层厚,土壤有机质质量分数高;而位于山脚的经济竹林有机质破坏严重,竹笋和竹子是当地农民的经济收入之一,每年的春天都会挖竹笋到市场去卖,而到了秋季又会选择成材竹子砍伐,还有收集枯枝落叶做薪柴和农田堆肥用,故有机质层薄,土壤有机质质量分数低。水田位于较为平坦低洼的地带,本研究区农作物 2 ~ 3 熟,土地耕种活动频繁加快了土壤有机质的分解,11 个水田土壤样品分析结果表明,在 4 种土地利用方式中,其土壤平均有机质质量分数最低,为 2.717%。茶园主要分布在 30 ~ 100 m 的山坡,茶叶是本流域产业结构的一个重要方面,也是流域居民经济收入的重要来源之一。因此,茶园土壤肥力状况被关注较多。茶园中施用大量有机厩肥或在茶园行间开沟埋压绿肥和植物落叶。例如,某些农户有机肥施用量达到 15 t/hm²;这是茶园土壤有机质质量分数高于耕地土壤的原因。本流域茶园主要是小面积家庭种植,每户的施肥量和管理有差异,这也是造成土壤有机质存在较大差异的原因,对 14 个茶园土壤样品的分析结果显示,最高质量分数达到 4.411%,最低为 1.992%。

2.2.3 N、P 等营养元素特点 氮、磷是植物的必需营养元素,是土壤肥力的重要物质基础。氮是农作物生长必需的营养元素,能够体现土壤肥力的高低^[16]。磷是作物生长必须的大量营养元素之一^[17]。土壤中的磷素含量必须保持在适当的水平才能满足作物生长的需要。不同利用方式下的土壤养分质量

分数测定结果(表3)表明:4种土地利用方式下,土壤全氮、有效氮与有机质有很好的相关性。与水田土壤相比,其它3类土壤的全氮和有效氮质量分数较高。这可能是与样品采集时间有关,水田土壤分析样品取样时间是2010年10月份,此时水稻即将收割,作物在生长季节中对土壤营养元素的大量吸收,是导致土壤中养分贮量减少的原因。

土壤中的磷主要来源于矿物质,在长期的风化和成土过程中,经过生物的积累而逐渐聚积到土壤的表层。开垦为耕地后,则主要来源于施用磷肥。在4种土地利用方式下,水田的有效磷含量是最高的,这可能和水田每季大量施用磷肥有关。

2.2.4 土壤碳氮比 土壤有机碳和全氮既是作物生长必需营养元素的主要来源,也是陆地土壤碳库和氮库的重要组成部分,并在一定程度上影响着大气中温室气体的浓度和全球气候变化^[18],因而成为近年来全球变暖背景下最为关注的热点问题之一。

通过对流域水田、茶园、林地和灌丛等4种利用方式下的土壤取样分析,土壤碳氮比值的大小顺序为:林地>灌丛>茶园>水田(表3)。水田土壤的碳氮比值在4种利用方式下是最小的,较全国水田碳氮比值10.8^[19]也偏低,这可能与当地居民向水田施大量的氮肥有关。随着稻田利用时间的延长,C/N的降低对土壤碳、氮循环均有不同程度的影响,这对生态环境是十分不利的。在追求高产的前提下维持土壤碳氮耦合平衡的途径是碳氮的平衡投入。随着氮素投入水平的提高,有机质越高的地区,有机碳的累积越困难,更容易引起C/N的降低,因此在提高氮素投入水平的同时,应注重碳素的归还水平,大力推广秸秆还田和增施有机肥是合理的途径。

3 结论

土壤的理化性质是影响土壤肥力的内在条件,也是综合反映土壤质量的重要组成部分^[7]。合理的土地利用可以改善土壤结构,提高周围空气和水的质量,增强土壤对外界环境变化的抵抗力,不合理的土地利用会导致土壤质量下降,增加土壤侵蚀、降低生物多样性、生态系统服务功能和土地生产力等^[20]。了解不同土地利用方式导致土壤物理化学性质的差异,是合理利用土地资源、改进土地利用方式、发展持续农业的前提。

(1) 研究结果表明,土地利用方式对土壤物理性质有较大的影响,尤其是对表层土壤物理性质的影响很显著。水田、茶园、林地、灌丛等4种不同土地利用方式下0~20 cm层的土壤含水率变化顺序为水田>灌丛>林地>茶园;20~40 cm层的土壤含水率呈现出不同的变化规律,其顺序为灌丛>林地>水田>茶园;0~20 cm层的土壤容重变化顺序为水田>灌丛>茶园>林地;20~40 cm层的土壤容重呈现同样的变化规律。林地的容重在4种利用方式下是最小的,这表明了林地土壤疏松孔径较大,土壤透气性好。水田、茶园等耕作土壤,施入足够的有机肥,有利于改善其物理性质,增强土壤肥力。

(2) 土壤化学性质受地质、母质、气候、生物活动等自然因素和人为干扰等因素的影响。在母质、气候条件基本一致的区域内,它主要表现为受生物和人类活动的影响。不同的土地利用方式下土壤化学性质有着明显的差异。

(3) 随着氮素投入水平的普遍提高,应注重碳素的归还水平,大力推广秸秆还田和增施有机肥,维持土壤碳氮平衡。

参考文献:

- [1]侯光炯,谢德体.土壤肥力学概要[A]. 闻光源. 农业土壤学——侯光炯在宜宾应用研究17年论文集[C]. 成都:四川科学技术出版社,2001:103-137.
- [2]熊毅. 我国土壤科学研究的回顾[J]. 土壤,1984,16(2):41-45.
- [3]章家恩,廖宗文. 试论土壤的生态肥力及其培育[J]. 土壤与环境,2000,9(3):253-256.
- [4]张立新,李升峰. 江苏宜兴森林自然保护区种子植物区系特点及植被性质[J]. 植物资源与环境,1998,7(4):1-7.
- [5]张万儒,许本彤. 森林土壤定位研究方法[M]. 北京:中国林业出版社,1986:40.
- [6]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,2000:27-28.
- [7]鲍士旦. 土壤农业化学分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,1999.
- [8]王克孟,马玉军. 淮阴市高产土壤肥力指标的研究[J]. 土壤,1992,24(5):239-243.

- [9]王云强,张兴昌.黄土区小尺度坡面土壤含水率时空变异性研究[J].水土保持学报,2008,22(2):32-37.
- [10]GANG LU, KAN-ICHI SAKAGAMI, HARUO TANAKA, et al. Role of soil organic matter in stabilization of water stable aggregates in soils under different types of land use[J]. Soil Sci Plant Nutri, 1998, 44(2): 147-155.
- [11]李天杰,宫世国,潘根兴,等.土壤环境学[M].北京:高等教育出版社,1995:3-10.
- [12]宋木兰,丁瑞兴.江苏宜兴丘陵山区茶园土壤肥力特性的研究[J].南京农业大学学报,1985(4):49-57.
- [13]北京林学院.土壤学(上册)[M].北京:中国林业出版社,1982:206.
- [14]李忠佩,王效举.红壤丘陵区土地利用方式变更后土壤有机碳动态变化的模拟[J].应用生态学报,1998,9(4):365-370.
- [15]李凌浩.土地利用变化对草原生态系统土壤碳贮量的影响[J].植物生态学报,1998,22(4):300-302.
- [16]刘克锋,韩劲,刘建斌.土壤肥科学[M].北京:气象出版社,2001.
- [17]Sharpley A N, For B, Withers P. Practical and innovative measures for control of agricultural phosphorus losses to water: An overview[J]. J. Environ Qual 2000, 29: 1-9.
- [18]Tan Z X, Lal R. Carbon sequestration potential estimates with changes in land use and tillage practice in Ohio, USA[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment 2005, 111: 140-152.
- [19]许京,芮雯奕,刘家龙,等.我国农田土壤碳氮耦合特征的区域差异[J].生态与农村环境学报,2006,22(3):57-60.
- [20]李新宇,唐海萍,赵云龙,等.怀来盆地不同土地利用方式对土壤质量的影响分析[J].水土保持学报,2004,19(6):103-107.

(上接第1016页)

- [3]张雪红,李华昌.姜辣素的研究进展[J].北京矿冶研究总院学报,2003,12(4):96-98.
- [4]林茂,阚建全.生姜中天然抗氧化剂的应用研究概况[J].中国食品工业,2006(12):50-51.
- [5]朱媛,张雪松.乙醇溶剂提取姜辣素的实验研究[J].中国调味品,2008(4):83-85.
- [6]孔繁东,王恋峰,祖国仁,等.超声波辅助提取姜渣中姜辣素工艺研究[J].中国酿造,2010(1):102-104.
- [7]唐仕荣,宋慧,苗敬芝,等.超声波技术提取姜辣素的工艺研究[J].中国调味品,2009(1):46-49.
- [8]唐仕荣,宋慧,刘全德,等.超声波—微波协同萃取姜辣素的工艺研究[J].食品与机械,2008(6):76-79.
- [9]曾凡逵,黄雪松,李爱军.超临界二氧化碳萃取姜油树脂与溶剂浸提的比较[J].食品科学,2006,27(6):155-157.
- [10]徐伟,石海英,徐晓艳,等.超临界CO₂萃取生姜油的模型方程和条件优化[J].食品研究与开发,2010,31(4):8-13.
- [11]张敏,韩建春,任运宏.超临界CO₂萃取生姜中抗氧化活性物质的工艺研究[J].农业工程学报,2003,19(6):238-240.
- [12]唐仕荣,宋慧,刘全德,等.姜辣素的超声波提取及其抗氧化研究[J].食品科学,2009,30(20):138-142.
- [13]徐勇,梁丽敏,寇秀颖,等.姜油树脂的抗氧化活性研究[J].食品研究与开发,2010,31(6):32-35.
- [14]张明昶,李健,蒙继昭.紫外分光光度法测定姜中姜辣素类化合物的含量[J].贵州医药,2003,27(3):283-284.
- [15]骆海林,陆宁.响应面法优化生姜中姜辣素的超声波提取工艺[J].食品与包装机械,2009,27(6):54-58.