

不同耕作模式对稻田土壤理化性质及经济效益的影响^①

董建江¹, 邵伏文¹, 张林², 姜超强², 祖朝龙²

(1 安徽省烟草公司, 合肥 230022; 2 安徽省农业科学院烟草研究所, 合肥 230031)

摘要:为研究不同耕作模式对土壤理化性状和作物经济效益的影响,对皖南地区4种典型耕作模式(单季稻种植、油稻轮作、麦稻轮作、烟稻轮作)的土壤和作物产量进行了研究。结果表明:与单季稻种植相比,轮作显著降低了土壤含水量;麦稻轮作和烟稻轮作土壤体积质量显著增加,孔隙度显著降低;麦稻轮作土壤有机质和碱解氮含量分别显著降低35.8%和47.8%;烟稻轮作土壤速效钾含量显著增加68.2%,速效磷含量提高109.5%。油稻轮作和烟稻轮作总产值比单季稻种植分别显著增加35.3%和155.5%。为解决轮作对土壤的不良影响,要注重增施有机肥和秸秆还田以改善土壤体积质量和孔隙度;麦稻轮作应重点解决土壤pH降低的问题;烟稻轮作要减少烟后晚稻的磷肥和钾肥施用量。总体而言,油稻轮作和烟稻轮作是皖南地区维护农田土壤肥力,促进农业可持续发展,实现农业增产增收的重要耕作模式。

关键词:耕作模式;稻田;轮作;理化性质;土壤肥力

中图分类号:S344.1

土地的耕作模式是影响土壤物理、化学性质的关键因素^[1-2],并在很大程度上决定着土壤质量变化的方向和程度^[3-4]。不同的耕作模式改变了植被类型、轮作制度以及人为活动强度,影响作物时空配置和物质循环,从而干扰和调整土壤生物化学循环过程^[5],改变了土壤地力和营养供应能力,甚至会影响土壤的生物学质量^[6]。土壤理化性质,尤其是pH、体积质量、孔隙度、有机碳、全量氮磷钾及其速效养分含量等物理化学指标,对于评价土壤质量有极其重要的作用^[7]。已有研究结果表明:不同土地耕作模式能够改变土壤体积质量和孔隙度大小^[2]、有机碳^[8-9]、酸碱度^[2]、氮磷钾等养分含量^[2,10-11]以及生物学性状等^[12]。因此,了解不同耕作模式对土壤理化性质影响的差异及其机理,可以为改善耕地利用现状、合理安排土地利用布局、促进农业可持续发展提供有力依据。

安徽省地处我国华东腹地,农业资源丰富,是我国重要的农业大省之一,在全国农业布局中占据重要地位,为保障国家粮食安全做出了重要贡献^[13]。目前,安徽省土地的主要耕作方式有单季稻种植、双季稻连作、麦稻轮作、油稻轮作和烟稻轮作等^[14]。研究表明,不同农业土地利用方式对土壤质量产生了巨

大的影响,不合理的耕作模式和管理方式严重影响土壤有机碳的固定和土壤肥力的维持^[9,15],导致土壤质量的退化,制约了该地区农业可持续发展。然而,在安徽皖南地区不同的耕作方式对土壤质量有何影响,其经济效益如何,至今研究甚少。

本研究以安徽省池州市水稻土典型区域的单季稻种植、油稻轮作、麦稻轮作和烟稻轮作等4类种植模式为对象,研究不同种植模式肥料施用量及其对土壤理化性状、作物产量和产值的影响,目的是揭示不同耕作模式与土壤肥力属性的对应关系,旨在为该地区稻田的合理开发利用和有针对性地调整耕作管理措施提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

池州市位于安徽省西南部,长江下游南岸,地处29°33'~30°51'N,116°38'~118°05'E,属暖湿性亚热带季风气候区,年平均气温16.5,年均降水量1400~2200mm,日照充足,年均日照率45%,年均无霜期220天。

1.2 样品采集

按照池州市水田目前存在的4种主要不同耕作

基金项目:安徽省烟草专卖局科研基金项目(AHKJ2009-02)和安徽省农业科学院院长青年基金项目(14B0945;12B0919)资助。

作者简介:董建江(1964—),男,安徽滁州人,博士,副教授,主要从事烟叶生产与组织管理技术的研究。E-mail: dongjj1570@163.com

模式,即单季稻种植、油稻轮作、麦稻轮作、烟稻轮作进行取样,土壤类型均为筒育水耕人为土。单季稻种植农田为当地典型的长期采用的耕作模式,油稻轮作、麦稻轮作和烟稻轮作农田均为连续种植 3 年以上的当地代表性的田块。

土样采集时间均为水稻收获后,各类种植模式设置 10 个重复样地,重复样地间距不低于 100 m。每个样地土壤按“S”型布点,采集 5 个取样点 0~20 cm 的耕层混合土。土样在室温下自然风干,磨碎,分别过 2 mm 和 0.149 mm 筛,密封保存,用于测定理化性状。

1.3 调查内容、测定项目及方法

样点基本情况:土壤取样同时调查各样点的种植方式、耕作制度、灌溉情况,以及近 3 年施肥水平等具体情况。

作物产量、产值:调查样点的水稻、小麦、油菜、烟草产量和产值。

土壤理化性状分析:含水量采用环刀烘干称重法;有机质用采用重铬酸钾容量法;碱解氮采用碱解扩散法;速效磷采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法;速效钾用 1 mol/L NH₄OAC 浸提-火焰光度法;土壤 pH 采用 pH 计电位法(水土体积比为 2.5:1);土壤交换性钙、交换性镁、有效锰、有效铜、有效锌、有效硼等参照《土壤调查实验室分析方法》^[16]进行测定;土壤体积质量测定采用环刀法;孔隙度通过公式计算获得,孔隙度(%)=(1-体积质量/比重)×100%。

1.4 数据分析

数据采用 SPSS 20.0 和 Microsoft Excel 2013 进行分析,并用单因素方差分析及最小显著极差法(LSD)检验处理间差异的显著性($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同耕作模式氮、磷、钾肥施用量

由表 1 可见,皖南水田不同耕作模式年均施肥水平差异较大。单季稻种植氮、磷、钾肥的施用量最低,分别为 177.3、68.4 和 138.9 kg/hm²,其中氮肥和磷肥的施用量显著低于其他种植模式,钾肥施用量显著低于油稻轮作和烟稻轮作。油稻轮作氮、磷、钾肥的施用量均显著高于单季稻种植,分别是单季稻种植氮、磷、钾肥施用量的 1.4、2.0 和 1.8 倍。麦稻轮作氮肥施用量为 351.5 kg/hm² 显著高于其他种植模式;其磷肥的施用量也显著高于单季稻种植,但是其钾肥施用量较少,与单季稻种植差异显著。烟稻轮作的磷

肥和钾肥施用量分别为 172.5 和 383.7 kg/hm²,均显著高于其他种植模式,分别是单季稻种植的 2.5 和 2.8 倍;其氮肥施用量也显著高于单季稻种植。

表 1 不同耕作模式氮、磷、钾施用量
Table 1 Applied amounts of N, P and K under different tillage patterns

耕作模式	N (kg/hm ²)	P ₂ O ₅ (kg/hm ²)	K ₂ O (kg/hm ²)
单季稻种植	177.3 c	68.4 c	138.9 c
油稻轮作	255.3 b	135.9 b	248.4 b
麦稻轮作	351.5 a	143.1 b	143.1 c
烟稻轮作	249.5 b	172.5 a	383.7 a

注:同列不同小写字母表示不同耕作模式间差异在 $P < 0.05$ 水平显著;下同。

2.2 耕作模式对稻田土壤物理性状的影响

由表 2 可见,不同耕作模式土壤体积质量、孔隙度和含水量存在较大差异。单季稻种植土壤体积质量最低,但是土壤孔隙度和含水量均最高。油稻轮作土壤含水量显著低于单季稻种植,而土壤体积质量和孔隙度与单季稻种植无显著差异。麦稻轮作和烟稻轮作土壤体积质量显著高于单季稻种植,并且显著降低了土壤孔隙度和含水量。3 种轮作模式间土壤体积质量、孔隙度和含水量均无显著差异。

表 2 不同耕作模式稻田土壤物理性质
Table 2 Soil physical properties of paddy fields under different tillage patterns

耕作模式	体积质量 (g/cm ³)	孔隙度 (g/kg)	含水量 (g/kg)
单季稻种植	1.18 b	556.1 a	370.9 a
油稻轮作	1.27 ab	521.6 ab	304.4 b
麦稻轮作	1.33 a	498.1 b	257.7 b
烟稻轮作	1.31 a	505.4 b	282.9 b

2.3 耕作模式对稻田土壤化学性质的影响

如表 3 所示,单季稻种植土壤 pH 为 6.2,属于弱酸性;土壤有机质和碱解氮分别为 27.51 g/kg 和 195.33 mg/kg,有机质和碱解氮含量均较高;土壤速效磷和速效钾分别为 22.91 和 85.08 mg/kg,含量均较低。与单季稻种植相比,油稻轮作土壤 pH、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾均无显著差异,其中土壤速效钾含量有提高的趋势。麦稻轮作土壤有机质和碱解氮含量均显著低于单季稻种植,但土壤 pH、速效磷和速效钾无显著差异,仅土壤 pH 有明显的下降,降低了 0.75 单位。烟稻轮作土壤 pH、有机质、碱解氮和速效磷含量与单季稻种植均无显著差异,但土壤速效钾含量差异显著,且土壤速效磷和速效钾比单季稻种植分别提高了 109.5% 和 68.2%。

表 3 不同耕作模式稻田土壤化学性状
Table 3 Soil chemical properties of paddy fields under different tillage patterns

耕作模式	pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
单季稻种植	6.2 ab	27.5 a	195.3 a	22.9 ab	85.1 b
油稻轮作	6.3 a	24.9 ab	175.4 a	28.6 ab	119.5 ab
麦稻轮作	5.5 b	17.7 b	101.9 b	22.6 b	78.3 b
烟稻轮作	6.0 ab	22.8 ab	144.8 ab	48.0 a	143.1 a

2.4 耕作模式对稻田土壤中、微量元素的影响

由表 4 可见，与单季稻种植相比，麦稻轮作和烟稻轮作土壤交换性钙含量分别降低了 62.8% 和 44.7%，且麦稻轮作降低达到显著水平。油稻轮作和烟稻轮作土壤有效锰含量均比单季稻种植有明显的降低，而麦稻连作则增加了 14.4%。与此相反，油稻

轮作和烟稻轮作土壤有效铜含量均比单季稻种植有明显的增加，而麦稻轮作则有明显下降。与单季稻种植相比，3 种轮作模式土壤有效硼含量分别增加了 50.0%、22.2% 和 22.2%，并且油稻轮作与之差异达到显著水平。各种植模式间土壤交换性镁和有效锌含量无显著差异。

表 4 不同耕作模式稻田土壤中、微量元素含量(mg/kg)
Table 4 Soil secondary element and microelement contents of paddy fields under different tillage patterns

耕作模式	交换性钙	交换性镁	有效锰	有效铜	有效锌	有效硼
单季稻种植	3006.5 ab	148.6 a	18.7 ab	1.80 ab	1.10 a	0.18 b
油稻轮作	3009.8 a	124.8 a	14.1 b	2.15 a	1.15 a	0.27 a
麦稻轮作	1117.3 c	130.9 a	21.4 a	1.55 b	0.94 a	0.22 ab
烟稻轮作	1663.6 bc	158.5 a	16.6 ab	1.91 ab	0.94 a	0.22 ab

2.5 耕作模式对经济效益的影响

由图 1 可见，与单季稻种植相比，3 种轮作模式水稻产量均有不同程度的降低，其中，麦稻轮作和烟稻轮作水稻产量分别降低了 1 500 kg/hm²(15.4%) 和 1 750 kg/hm²(17.9%)，达到显著水平。如图 2 所示，与单季稻种植相比，油稻轮作、麦稻轮作和烟稻轮作种植模式分别带来了油菜、小麦和烟草的收益，相应的作物产值分别增加 13 680、11 250 和 47 160 元/hm²。因此，3 种轮作模式作物的总产值比单季稻种植均有不同程度的增加，其中麦稻模式的总

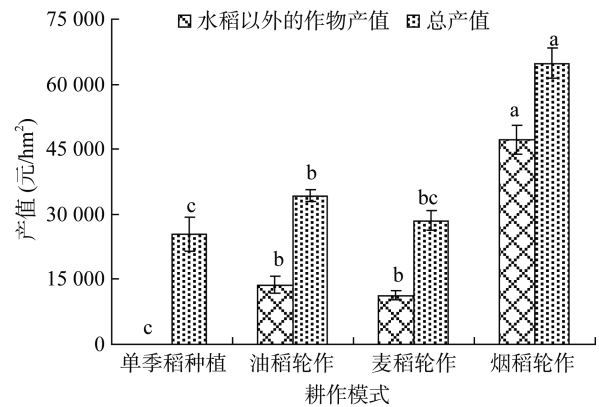


图 2 不同耕作模式下作物的产值
Fig. 2 Crop outputs under different tillage patterns

产值增加幅度较小，而油稻轮作和烟稻轮作总产值分别显著增加了 8 955 元/hm²(35.3%)和 39 405 元/hm²(155.5%)。

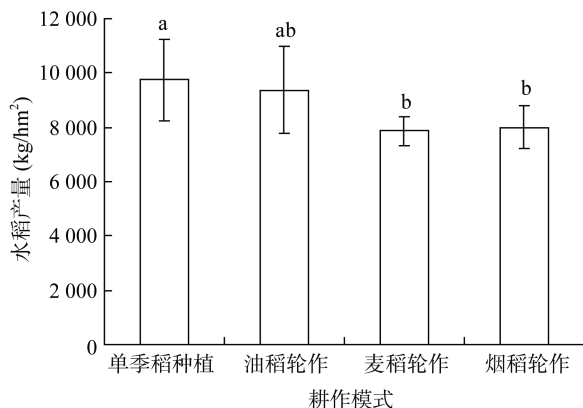


图 1 不同耕作模式下水稻的产量
(柱图上方不同小写字母表示不同处理间差异在 P<0.05 水平显著，下同)

图 1 不同耕作模式下水稻的产量
Fig. 1 Rice yields under different tillage patterns

3 讨论

3.1 不同耕作模式对土壤物理性状的影响

土壤体积质量、孔隙度和含水量是重要的土壤物理因子，这些因子的变化对区域土壤的水分、养分等特性有重要影响，进而会影响水循环和植物生长^[2,7]。本研究表明，不同耕作模式下，土壤体积质量、孔隙度和含水量等土壤物理性状均表现出了显著差异

(表 2)。与单季稻种植相比,麦稻轮作和烟稻轮作土壤体积质量均显著增加。郭旭东等^[17]的研究认为,耕种显著增加了土壤体积质量,并降低了大部分土壤养分。可见,与单季稻种植相比,轮作带来的耕种次数和机械压实的增加,从而对土壤结构的破坏可能是麦稻轮作和烟稻轮作土壤体积质量均显著增加的主要原因。同时,水田轮作增加了化肥施用量(尤其是氮肥)(表 1),并且轮作中稻草、麦秆和油菜秆焚烧而不是直接还田,导致土壤有机质含量降低(单季稻的秸秆还田比例相对较高,土壤有机质高于其他轮作方式 2.65~9.84 g/kg),引起土壤团聚体结构变小等,也是烟稻轮作、油稻轮作、麦稻轮作土壤体积质量增加的重要原因。

研究结果显示,与单季稻种植相比,麦稻轮作和烟稻轮作土壤孔隙度均显著降低(表 2)。造成该现象的原因可能是:土壤有机碳含量与黏粒有显著的正相关关系、与体积质量有显著的负相关关系^[2],轮作水田的有机碳含量较低,从而限制了大量碳水化合物产生,减少了以胶膜形式包被在矿质土粒的表面的腐殖质和多糖,破坏了大小团聚体的形成,从而增加土壤体积质量^[18]。此外,在土壤耕种过程中,长时间高强度的机械作用增加了土壤的紧实度,也可能是造成土壤体积质量增加和孔隙度减少的原因^[2]。Hamza 和 Anderson^[19]的研究表明,土壤紧实度增大是土壤颗粒重新排列而使土壤孔隙减小、体积质量增大的过程。耕作模式对土壤含水量的影响与土壤体积质量相似,通常,土壤质地相同时,如果体积质量大,说明土壤压实程度较大,从而导致孔隙度较小,持水能力也就相对较低^[20]。土壤含水量的高低与土壤渗透性密切相关。赵锦梅等^[21]研究认为,土壤体积质量和孔隙度对土壤渗透性有显著影响。土壤体积质量越大,土壤渗透能力越弱^[22],从而降低了土壤含水量。

因此,针对 3 种轮作模式对稻田土壤体积质量、孔隙度以及含水量带来的不良影响,在轮作过程中要注重改善土壤物理性状。比如,增加有机肥施用以提高土壤有机质,增加土壤团聚体稳定性,减轻土壤紧实胁迫^[23]。因此,加大轮作作物的秸秆还田和合理使用氮肥,既有利于改善土壤物理性状,也能够缓解因大量施用氮肥而引起土壤酸化的趋势。

3.2 不同耕作模式对土壤化学性质的影响

本研究表明,不同轮作对土壤化学性质的影响存在较大差异(表 3 和表 4)。与单季稻种植相比,油稻轮作土壤 pH、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量均无显著差异。由此可见,油稻轮作在氮磷钾肥的

施用量上较为合理,并且其水稻产量与单季稻水稻产量基本一致,这与两种种植模式水稻种植时间基本一致有重要关系。麦稻轮作土壤有机质和碱解氮含量显著低于单季稻种植,并且土壤 pH 有明显的下降趋势(表 3)。尽管麦稻轮作中施用了大量的氮肥(351.5 kg/hm²,显著高于其他种植模式),但是其土壤碱解氮含量显著下降,可能原因是小麦季生产消耗了大量的氮肥,并且氮肥流失严重^[24],造成了土壤氮素的亏缺,并且由于土壤供氮不足进一步导致了土壤有机质的下降^[25]。研究表明氮肥施入到土壤后,除了被作物吸收带走,还有很大一部分通过挥发、淋洗损失到环境中^[24]。此外,研究发现,麦稻轮作过程中,小麦收获后,其秸秆大多数被直接焚烧,未能有效还田,进一步加剧了土壤有机质和氮素的耗竭^[26]。从钾肥的施用量来看,麦稻轮作的施钾量与单季稻种植的施钾量相当(表 1),而麦稻轮作后土壤速效钾含量并未显著降低(表 3),其主要原因是秸秆焚烧后虽然流失了大量的氮素和磷素,而钾素并未受到影响,得到了有效还田^[27-28],并且能够满足作物对钾素的需求。这一现象说明在麦稻轮作过程中,尽管秸秆是焚烧还田,但是所提供的钾素能满足作物对钾素的需求,这也为秸秆钾能够有效替代或者部分替代化肥钾提供了理论支撑。

烟稻轮作土壤的速效磷、速效钾含量最高,其主要原因是烟稻轮作中烤烟生产季节施用大量磷肥和钾肥^[29],从而导致土壤中磷素和钾素的富集,表 3 的结果也证实了这一观点,烟稻轮作磷肥和钾肥的施用量分别是单季稻种植的 2.5 和 2.8 倍。由此可见,烟稻轮作土壤的速效磷和速效钾含量偏高,与目前烤烟生产偏重于磷钾肥的生产实际一致^[30]。因此,综合考虑钾肥对烟草品质的重要性和我国土壤普遍缺钾的现状,在烟稻轮作种植过程中可以维持现有的钾肥施用量,而适当减少磷肥的施用,以避免磷肥过量施用引起的土壤和水体富营养化的环境问题。同时,针对烤烟对钾素需求量较大以及烟秆含有大量钾素的特点,在烟稻轮作中应重视烟秆合理还田可能为烟后晚稻的种植提供充足的钾素营养这一可能性,因此,在皖南烟稻轮作区,要加大烟秆的安全还田及其钾素的合理利用的理论研究和推广应用力度。

3.3 不同耕作措施对作物产量和经济效益的影响

土壤是作物生长的载体,其理化性状的改变会通过各种形式作用于作物生长过程并最终影响作物产量。在安徽省皖南地区,油稻轮作和麦稻轮作模式中水稻的种植时间通常为 6 月上旬,属于中稻种植^[31-32]。而烟稻轮作是在烤烟采收才进行整地种水

稻,种植的时间通常是7月底或8月初,属于晚稻种植^[33]。本研究表明,麦稻轮作和烟稻轮作水稻产量显著低于单季稻种植的水稻产量(图1)。烟稻轮作中水稻产量相对较低主要原因是由于水稻属于晚稻种植,而导致产量偏低;麦稻轮作中水稻产量较低的原因可能主要是由于施肥达不到作物生长需要,而导致土壤肥力尤其是有机质和供氮能力不足所引起。因此,为了保障水稻产量,皖南地区麦稻轮作中应注意土壤肥力管理,在水稻季适当增加氮素投入。

不同种植模式由于轮作的作物差异较大,所以其产值存在显著差异。与单季稻种植相比,油稻轮作既能保证水稻的产量(图1),又能增加作物的总产值(图2),可见,油稻轮作的种植模式是有效维护土壤地力,解决皖南地区粮油争地矛盾,协调粮油共同发展理想的水旱轮作模式。而烟稻轮作无论是烤烟的产值,还是水稻和烤烟的总产值均显著高于其他种植模式(图2)。在皖南农业生产和管理过程中,虽然烤烟种植用工量显著大于油菜和小麦,但是烤烟产值也显著高于油菜和小麦。因此,在皖南农业发展的现阶段,烟稻轮作是实现农业增产增收的重要种植模式。

4 结论

1) 不同耕作模式下稻田的理化特征差异显著。与单季稻种植相比,轮作显著降低土壤含水量;麦稻轮作和烟稻轮作土壤体积质量显著增加,孔隙度显著降低;烟稻轮作显著增加了土壤速效钾含量。

2) 为解决研究区轮作给土壤带来的不良影响,要注重增施有机肥和秸秆有效还田,并较少机械压实以改善土壤结构,降低土壤体积质量,增加孔隙度;麦稻轮作应减少氮肥施用以缓解土壤pH的降低趋势;烟稻轮作要适当减少烟后晚稻生产季节磷肥和钾肥的施用。

3) 综合不同耕作模式对土壤理化性状的影响及其经济效益,油稻轮作和烟稻轮作是安徽皖南地区维护土壤肥力,实现农业增产增收的重要耕作制度。

参考文献:

[1] 王健波,李银生,邱江平,林琪,王秀红,Forest F, Boulakia S, Séguy L. 崇明岛典型土地利用方式对土壤有机碳和酶活性的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(8): 1 850-1 854

[2] 张池,高云华,陈旭飞,周波,李进,任宗玲,戴军. 不同土地利用方式对赤红壤理化性质的综合影响[J]. 自然资源学报, 2013, 28(12): 2 140-2 149

[3] Kong XB, Hang FR, Wei Q, Xu Y, Hui JG. Influence of land use change on soil nutrients in an intensive agricul-

tural region of North China[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 88(1/2): 85-94

[4] Niu L, Hao J, Zhang B, Niu X. Influences of long-term fertilizer and tillage management on soil fertility of the North China Plain[J]. Pedosphere, 2011, 21(6): 813-820

[5] Sall SN, Masse D, Ndour NYB, Chotte J. Does cropping modify the decomposition function and the diversity of the soil microbial community of tropical fallow soil? [J]. Applied Soil Ecology, 2006, 31(3): 211-219

[6] Islam KR, Wei RR. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 55(1): 69-78

[7] Velasquez E, Lavelle P, Andrade M. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(12): 3 066-3 080

[8] 徐华勤,章家恩,冯丽芳,全国明,毛丹娟,秦钟. 广东省不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(8): 4 112-4 118

[9] 赵兹绯,赵阳,徐小牛. 不同土地利用对土壤有机碳储量及土壤呼吸的影响[J]. 生态学杂志, 2012, 31(7): 1 738-1 744

[10] 孔红梅,刘峰,田野,严岩,董仁才,刘建昌,邓红兵. 泸沽湖流域土地利用方式对土壤肥力的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(9): 2 515-2 518

[11] 房飞,唐海萍,李滨勇. 不同土地利用方式对土壤有机碳及其组分影响研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(11): 1 774-1 779

[12] 张静,高云华,张池,周波,李静娟,杨小雪,许欢,戴军. 不同土地利用方式下赤红壤生物学性状及其与土壤肥力的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(12): 3 423-3 430

[13] 荣慧芳,胡文海,陈怀录. 安徽省农业可持续发展能力主成分分析[J]. 池州学院学报, 2010, 24(6): 76-79

[14] 王艳,施六林,王川. 安徽保护性耕作与节水农业技术研究[J]. 节水灌溉, 2010(11): 53-55

[15] 卫东,戴万宏,汤佳. 不同利用方式下土壤溶解性有机碳含量研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(18): 121-124

[16] 张甘霖,龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012

[17] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,马克明,李俊然. 低山丘陵区土地利用方式对土壤质量的影响—以河北省遵化市为例[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 447-455

[18] Marinari S, Masciandaro G, Ceccanti B, Grego S. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties[J]. Bioresource Technology, 2000, 72(1): 9-17

[19] Hamza MA, Anderson WK. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions[J]. Soil and Tillage Research, 2005, 82(2): 121-145

[20] 杨晓娟,李春俭. 机械压实对土壤质量、作物生长、土壤生物及环境的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 2 008-2 015

[21] 赵锦梅,张德罡,刘长仲. 东祁连山土地利用方式对土壤持水能力和渗透性的影响[J]. 自然资源学报, 2012, 27(3): 422-429

- [22] 刘莹莹, 余冬立, 刘冬冬, 卜昊. 土地利用与土壤容重双因子对土壤水分入渗过程的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(5): 84–88, 94
- [23] Horn R, Smucker A. Structure formation and its consequences for gas and water transport in unsaturated arable and forest soils[J]. Soil and Tillage Research, 2005, 82(1): 5–14
- [24] 黄生斌, 陈新平, 张福锁. 冬小麦施氮对下茬夏玉米的后效[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(1): 54–58
- [25] 黄晶, 高菊生, 张杨珠, 秦道珠, 徐明岗. 长期不同施肥下水稻产量及土壤有机质和氮素养分的变化特征[J]. 应用生态学报, 2013, 24(7): 1 889–1 894
- [26] 潘剑玲, 代万安, 尚占环, 郭瑞英. 秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(5): 526–535
- [27] 李继福, 任涛, 鲁剑巍, 丛日环, 李小坤, 马晓晓. 水稻秸秆钾与化肥钾释放与分布特征模拟研究[J]. 土壤, 2013, 45(6): 1 017–1 022
- [28] Li JF, Lu JW, Li XK, Ren T, Cong RH, Zhou L. Dynamics of potassium release and adsorption on rice straw residue[J]. PLoS ONE, 2014, 9(2): e90440
- [29] 陶芾, 滕婉, 李春俭, 张福锁. 我国烤烟生产体系中的养分平衡[J]. 中国烟草科学, 2007, 28(3): 1–5
- [30] 张林, 刘满强, 徐经年, 焦加国, 唐经祥, 李田, 刘碧荣, 李辉信, 祖朝龙. 镁氯硼元素互作及后效对烤烟生长的影响[J]. 土壤, 2013, 45(2): 257–263
- [31] 卜容燕, 任涛, 鲁剑巍, 李小坤, 丛日环, 李云春, 汪洋, 鲁君明. 水稻-油菜轮作条件下磷肥效应研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(6): 1 227–1 234
- [32] 王桂苓, 马友华, 孙兴旺, 宋法龙, 张丽娟, 徐宏军, 肖圣辉. 巢湖流域麦稻轮作农田径流氮磷流失研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2): 6–10, 29
- [33] 谈文, 赵松义. 再论烟稻轮作制度[J]. 烟草科技, 1998, 128(1): 39–40

Effects of Tillage Patterns on Physical and Chemical Properties of Paddy Soils and Economic Efficiency

DONG Jian-jiang¹, SHAO Fu-wen¹, ZHANG Lin², JIANG Chao-qiang², ZU Chao-long²

(1 Anhui Provincial Tobacco Company, Hefei 230022, China; 2 Tobacco Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: To investigate the effects of different tillage patterns on physical and chemical properties of paddy soils and crop economic efficiency, soil and crop yields were investigated and analyzed under four typical tillage patterns (single-cropping rice, rice-oilseed rape rotation, wheat-rice rotation, and tobacco-rice rotation) in Chizhou of southern Anhui Province. The results showed that compared with single-cropping rice, soil water contents under rotation systems were reduced significantly. Soil bulk densities under the wheat-rice rotation and tobacco-rice rotation were increased significantly, while soil porosity was decreased significantly. Soil organic matter and available nitrogen contents under the wheat-rice rotation were reduced by 35.8% and 47.8%, respectively. Soil available potassium and phosphorus contents under tobacco-rice rotation were increased by 68.2% and 109.5%, respectively. The crop outputs under rice-oilseed rape rotation and tobacco-rice rotation were increased by 35.3% and 155.5%, respectively. To improve soil bulk density and soil porosity under crop rotation, organic fertilizer and straw residue incorporation should be increased. pH decline should focus on wheat-rice rotation, and the application of phosphate and potash fertilizers should be reduced in late rice planting under tobacco-rice rotation. These results indicate that rice-oilseed rape rotation and tobacco-rice rotation are the optimal tillage patterns to preserve soil quality, promote sustainable agricultural ecosystem and agricultural production in southern Anhui Province.

Key words: Tillage patterns; Paddy field; Crop rotation; Soil physical and chemical properties; Soil fertility