DOI: 10.5846/stxb201405100947
黄国勤,周丽华,杨滨娟,王淑彬,赵其国.红壤旱地不同复种方式养地效果.生态学报,2014,34(18):5191-5199.
Huang G Q, Zhou L H, Yang B J, Wang S B, Zhao Q G.Improving soil fertility with different multiple cropping patterns in upland red soil.Acta Ecologica Sinica,2014,34(18):5191-5199.

红壤旱地不同复种方式养地效果

黄国勤[1,*],周丽华[1],杨滨娟[1],王淑彬[1],赵其国[2]
(1. 江西农业大学生态科学研究中心, 南昌 330045; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要:为了提出适宜南方红壤区旱地质量提升的持续高效种植模式,在江西农业大学科技园开展田间试验,以传统复种方式为对照,从土壤理化性状、微生物及酶活性等多方面分析比较不同复种方式对土壤的养地效果,为提出可持续发展的农田耕作模式提供理论基础。结果表明:不同复种方式中,绿肥种植和绿肥翻压还田对土壤具有明显养地效果,其中处理 C"黑麦草-花生‖玉米-粟‖荞麦"具有较高的土壤阳离子交换量、有机质、碱解氮、全磷含量以及土壤酶活性和较多的土壤微生物种类、数量,从而显著提高土壤肥力和土壤持续生产力,养地效果最佳;处理 B"混播绿肥(油菜、紫云英、肥田萝卜)-大豆‖玉米-绿豆‖芝麻"降低土壤容重,增加土壤孔隙度,改善土壤的通气性、透水性,明显提高土壤 pH 值、全氮、有效磷、全钾和速效钾含量,养地效果次之。因此,大力推广应用冬季绿肥是促进红壤旱地生态系统可持续发展的有效耕作措施。

关键词:复种方式;养地效果;红壤旱地

Improving soil fertility with different multiple cropping patterns in upland red soil

HUANG Guoqin[1,*], ZHOU Lihua[1], YANG Binjuan[1], WANG Shubin[1], ZHAO Qiguo[2]
1 *Research Center on Ecological Science*, *Jiangxi Agricultural University*, *Nanchang* 330045, *China*
2 *Institute of Soil Sciences*, *Chinese Academy of Sciences*, *Nanjing* 210008, *China*

Abstract: Red soil is an important soil type that covers a large area, experiences excellent climate conditions and has great potential for exploitation. It is an important production base for grain, oil, cotton and fruit. Long-term significant leaching and weathering has resulted in low natural fertility of red soils. Long-term unsustainable exploitation has accelerated the process of impoverishment of soil fertility and nutrient loss. Scientific and rational use of the land, and associated improvements in soil structure and increased soil fertility, would be conducive to the sustainable development of farmland ecosystems, to better reflect the value of these farmland ecosystems. Studying the effects of cropping patterns on soil fertility improvements in upland red soil could provide a theoretical basis for recommendations or guidelines for sustainable and efficient cropping systems.

A field experiment was conducted at Jiangxi Agricultural University to compare the effects of different cropping patterns on soil fertility, including soil physical and chemical properties, abundance of soil microorganisms and soil enzyme activities. The experiment consisted of four treatments each with four replicates. The treatments were (A) wheat / soybeans-sesame, (B) mixed green manure-soybean corn-green beans sesame, (C) ryegrass-peanut corn-millet buckwheat and (D) rapeseed-mung bean sweet potato. The results showed that multiple cropping patterns, especially planting green manure and returning green manure, could significantly improve soil fertility. Among the experimental treatments, the biggest

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(U1033004)
收稿日期:2014-05-09; **修订日期**:2014-08-11
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: hgqjxnc@ sina.com

improvement in soil fertility was observed for treatment C (ryegrass-peanut corn-millet buckwheat), followed by treatment B (mixed green manure-soybean corn-green beans sesame). Treatment C had the highest values for soil cation exchange capacity, organic matter, alkaline hydrolytic nitrogen, total phosphorus, soil enzyme activities and abundance of microorganisms. Treatment B reduced soil bulk density and increased soil porosity, which consequently improved soil aeration and water permeability. Soil pH value, total nitrogen content, available phosphorus, total potassium and available potassium were all increased for Treatment B. Compared with the previous planting, various multiple cropping patterns led to improved soil fertility. Total nitrogen content declined for all treatments, organic matter and total phosphorus content of treatments A and B also declined, but other indicators improved to some extent. For total nitrogen, although treatments A and B had a spring soybean planting, they showed significant biological nitrogen fixation. If nitrogen input from fertilization, legumes and nitrogen fixation is not taken into account, significant nitrogen losses can still occur. Therefore, if there are legumes in the cropping mix in a mixed cropping system, it is important to pay attention to the total input of nitrogen to maintain the nitrogen balance in the farmland ecosystem. Vigorous promotion of the use of green manure in winter is an effective measure to promote farming ecosystem sustainability in upland red soils.

Key Words: multiple cropping patterns; soil fertility; upland red soil

红壤旱地是红壤区的主要组成部分,由于受热带、亚热带气候条件的影响,无霜期长,水、光、热资源丰富,自然条件优越,生产潜力巨大,是我国重要的粮、油、棉和水果生产基地。然而,长期强烈的淋溶和风化致使红壤自然肥力低下,另外加上长期不合理的开发利用,加快了土壤肥力的贫瘠化及养分流失过程,而且旱地土壤肥力的贫瘠程度相对于水田更严重[1-3],科学合理地对土地用养结合,改善土壤结构,提高土壤肥力,有利于农田生态系统的可持续发展,也是农田生态系统的价值体现。孔宏敏等[1]研究表明,红壤旱地土壤中 N、P_2O_5、K_2O 养分盈余 1 kg/hm^{2}时,可以使土壤中碱解氮、有效磷、速效钾含量分别提高 0.6—6.26、0.20—0.28 和 1.1—8.5 mg/kg^2;红壤旱地每年可固定磷 43.5 kg/hm^2,每年通过自身风化作用可提供氮和钾分别 48.1 kg/hm^2、40.5 kg/hm^2,以满足作物生长所需。傅庆林等[4]对复种制农田生态系统的养分循环研究表明,复种制 Ca、Mg 养分有盈余,Fe、Mn、N、P、K 养分则表现亏缺,N 素养分有较大的浪费。陈长青等[5]通过连续 7 年定位监测研究,旱地不同种植模式养分平衡存在一定差异,养分循环速率以“花生-绿肥-花生”模式为最高;整个旱地种植系统的氮、磷、钾养分均出现积累,以磷的累积量最大。因此,本文以传统复种方式为对照,从土壤理化性状、微生物及酶活性等多方面分析比较不同复种方式对土壤的养地效果,旨在为提出适宜南方红壤区旱地质量提升的持续高效种植模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

本试验在江西农业大学科技园进行,试验地属于中亚热带季风气候,年平均温度为 16.6℃,日平均温度≥10℃的活动积温达 5532℃,持续天数约为 255 d。年平均日照总辐射量 101.76×4.18 kJ/cm^2,年平均日照时数为 1601.9 h,无霜期约 272 d,年降水 1712.9 mm。试验地属低岗地,其成土母质为第四纪红色粘土,无灌溉条件,试验前耕翻整地,使土壤肥力基本一致。土壤理化性状:土壤容重 1.304 g/cm^3,总孔隙度 52.98%,毛管孔隙度 41.55%,pH 值 4.75,有机质 29.78 g/kg,全氮 1.34 g/kg,碱解氮 90.00 mg/kg,全磷 1.18 g/kg,有效磷 76.35 mg/kg,全钾 55.38 g/kg,速效钾 107.5 mg/kg。

1.2 试验设计

本试验设 4 个处理 4 次重复,共 16 个小区,小区面积为 33.3 m^2,东西向随机区组排列。

(1)处理 A(CK):小麦/大豆-芝麻(“/”为套作;“-”为接茬)

小麦于 2011 年 11 月 2 日播种,条播,行距 35 cm,施钙镁磷肥 350 kg/hm^{2}作基肥,尿素 270 kg/hm^2(追肥)。2012 年 4 月 10 日在小麦行间播种大豆,每公顷施钙镁磷肥 350 kg(基肥),氯化钾 200 kg(基肥:苗肥:孕穗肥 = 3:3:4),尿素 300 kg(基肥:苗肥:

孕穗肥 = 2:3:5)。7 月 4 日播种芝麻,每公顷施钙镁磷肥 350 kg(基肥),氯化钾 225 kg(基肥:苗肥:孕穗肥 = 3:3:4),尿素 80 kg(基肥:苗肥:孕穗肥 = 2:3:5)。

(2)处理 B:混播绿肥(油菜、紫云英、肥田萝卜)-大豆‖玉米-绿豆‖芝麻("‖"为间作)

混播绿肥(油菜×紫云英×肥田萝卜)("×"混播)于 2011 年 11 月 2 日播种,撒播,播种量为 50 kg/hm^2,2012 年 4 月 1 日收割绿肥并砍碎后一部分将其压翻还田,一部分覆盖还田。2012 年 4 月 9 日开沟播种玉米和大豆,玉米间作大豆行比为 2:4,间距 35 cm,带宽 190 cm;每公顷施钙镁磷肥 350 kg(基肥),氯化钾 200 kg (基肥:苗肥:孕穗肥 = 3:3:4),尿素 300 kg(基肥:苗肥:孕穗肥 = 2:3:5)。6 月 29 日在收获大豆的地里接茬芝麻,施肥水平如处理 A。7 月 9 日在收获了玉米的地里种植绿豆,每公顷施钙镁磷肥 350 kg(基肥),氯化钾 225 kg(基肥:苗肥:孕穗肥 = 3:3:4),尿素 400 kg(基肥:苗肥:孕穗肥 = 2:3:5)。

(3)处理 C:黑麦草-花生‖玉米-粟‖荞麦

黑麦草于 2011 年 11 月 2 日播种,条播,行距 45cm,播种量为 45 kg/hm^2。每当株高达 50 cm 左右时刈割,砍碎后还田,到 2012 年 4 月 1 日共刈割 3 次,收割绿肥并砍碎后一部分将其压翻还田,一部分覆盖还田。2012 年 4 月 9 日播种玉米和花生,玉米间作花生行比为 2:4,间距 35 cm,带宽 190 cm;每公顷施钙镁磷肥 350 kg(基肥),氯化钾 200 kg (基肥:苗肥:孕穗肥 = 3:3:4),尿素 300 kg(基肥:苗肥:孕穗肥 = 2:3:5)。7 月 9 日,玉米收获后接茬粟,每公顷施钙镁磷肥 325 kg(基肥),氯化钾 220 kg (基肥:苗肥:孕穗肥 = 3:3:4),尿素 320 kg(基肥:苗肥:孕穗肥 = 2:3:5);8 月 30 日收获花生后翌日在空行播种荞麦,每公顷施钙镁磷肥 220 kg(基肥),氯化钾 200 kg (基肥:花肥 = 3:1),尿素 150 kg(基肥:花肥 = 2:3)。

(4)处理 D:油菜-绿豆‖甘薯

油菜于 2011 年 11 月 2 日条播,行距 40cm,播种量为 20 kg/hm^2,施钙镁磷肥 150 kg/hm^{2}作基肥,氯化钾 250 kg/hm^2,尿素 80 kg/hm^2(追肥)。2012 年 5 月 15 日接茬绿豆,施钙镁磷肥 200 kg/hm^2(基肥),氯化钾 100 kg/hm^2(基肥:苗肥:孕穗肥 = 3:3:4),尿素 200 kg/hm^2(基肥:苗肥:孕穗肥 = 2:3:5)。5 月 25 日在绿豆行间开沟扦插甘薯 2 行,施钙镁磷肥 375 kg/hm^2(基肥),氯化钾 80 kg/hm^2(基肥),尿素 80 kg/hm^2(基肥:追肥 = 1:2)。

1.3　测定项目与方法

1.3.1　土壤理化性状测定

(1)土壤容重、孔隙度测定,于作物种植前和收获当日用五点法采集土样,用环刀法测定。

(2)土壤化学性质测定,于作物种植前及作物收获时取土样,五点法,测定项目如下[6-7]:

pH 采用 pH 计测定法;阳离子交换(CEC)采用 1 mol/L 乙酸铵交换法;有效阳离子交换(ECEC)采用用加和法(交换性酸用 KCl 中和滴定法,交换性钾、钠用火焰光度法,交换性钙、镁用原子吸收分光光度法);有机质采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法;全氮采用半自动开氏定氮蒸馏法;全磷采用酸溶-钼锑抗比色法;全钾采用 NaOH 熔融-火焰光度法;碱解氮采用碱解蒸馏法;有效磷采用氟化铵-盐酸浸提-钼锑抗比色法;速效钾采用 NH_4AC 浸提-火焰光度法。

1.3.2　土壤微生物和酶活性测定

(1)土壤微生物数量的测定[8]

细菌(牛肉膏蛋白胨琼脂)、放线菌(高氏 1 号琼脂培养基)、真菌(马丁-孟加拉红琼脂)、氨氧化细菌(蛋白胨氨化培养基)和好气性自生固氮菌(瓦克斯曼氏 77 号培养基)采用固体平板培养计数法测定;亚硝酸细菌(改良的斯蒂芬逊培养基 A)、磷细菌(有机磷(卵黄培养基)和好气性纤维素分解菌(依姆歇涅茨基纤维素分解菌培养基)采用液体稀释法测定。

(2)土壤酶活性指标的测定[9]

过氧化氢酶活性测定采用高锰酸钾滴定法;脲酶采用奈氏比色法;转化酶采用 3,5-1 二硝基水杨酸比色法。

1.4　统计分析

采用 Excel2003 进行数据整理及制图,DPS7.05 统计软件进行最小显著差异性检验(LSD)进行单因素方差分析。

2　结果与分析

2.1　土壤容重和孔隙度

由图 1 可知,各复种方式土壤容重为 1.296—1.302 g/cm^3,处理 B 对土壤容重的影响最大,其次是处理 C,处理 B 的土壤容重相对于处理 A(CK)、处理 C、处理 D 分别低 3.08%、1.54%、4.61%,各处理之

间差异不显著;土壤总孔隙度为 51%—56%,以处理 B 最大,其次为处理 C,处理 B 较处理 C 高 3.7%,差异不显著,处理 B 较处理 A、处理 D 分别高 7.7%、9.8%且差异显著,处理 A、处理 D 之间差异不显著。毛管孔隙度以处理 B 最大,且与其他处理差异显著,处理 A、处理 C 和处理 D 之间差异不显著;所以相对的非毛管孔隙度以处理 B 最大,其次为处理 C,处理 B 较处理 A、处理 C、处理 D 分别高 46.9%、22.7%、31.9%,且与其他处理之间差异显著。

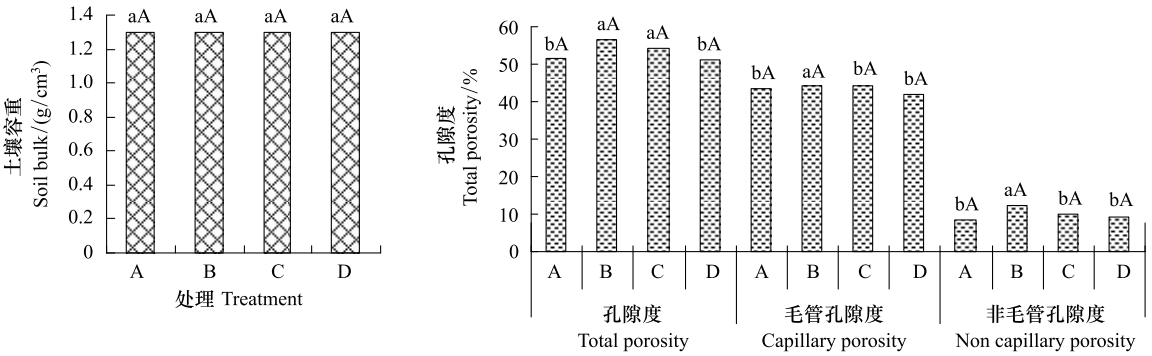

图 1 不同复种方式的土壤物理性状

Fig.1 Soil physical properties with different multiple cropping patterns

柱状图上不同小写字母代表不同处理间差异达到显著水平($P<0.05$),不同大写字母代表不同处理间差异达到极显著水平($P<0.01$)

2.2 土壤 pH、CEC、ECEC

土壤酸碱性涉及到土壤中各种物理和化学反应以及微生物的活动等,对作物生长影响巨大。由表 1 可知,各处理的土壤 pH 值都低于 4.6,土壤酸化比较严重,其中处理 B 的 pH 值较高,相比处理 A、处理 C、处理 D 分别高 4.6%、0.9%、1.3%,处理 A 与其他处理之间差异显著;阳离子交换量(CEC)的大小反映土壤所拥有的永久电荷和可变电荷的总量,是土壤缓冲性能的重要来源,可作为评价土壤保肥能力的指标,主要受土壤质地、pH 值和土壤胶体类型的影响。有效阳离子交换量(ECEC)反映土壤的天然保肥能力,主要与成土母质有关。由表 1 可知,处理 C 的 CEC 最高,为 9.76 cmol/kg,相较于处理 A、处理 B、处理 D 分别高 18.7%、8.2%、13.6%,并且与处理 A、处理 D 差异极显著,处理 B、处理 C 之间差异不显著;土壤的 ECEC 含量各处理之间差异不显著,以处理 C 最高,其次为处理 B,处理 C 土壤的 ECEC 含量相较于处理 A、处理 B、处理 D 分别高 6.8%、3.3%、6.4%;ECEC/CEC 在 73.6%—81.8%之间,因其成土母质是第四纪红色粘土。

表 1 不同复种方式土壤的 pH、CEC、ECEC

Table 1 The soil pH、CEC、ECEC with different multiple cropping patterns

处理 Treatment	pH	CEC/(cmol/kg)	ECEC/(cmol/kg)	ECEC/CEC/%
A(CK)	4.35bA	8.22bB	6.72aA	81.8
B	4.55aA	9.02abA	6.95aA	77.1
C	4.51aA	9.76aA	7.18aA	73.6
D	4.49aA	8.59bB	6.75aA	78.6

同一列不同小写字母代表不同处理间差异达到显著水平($P<0.05$),不同大写字母代表不同处理间差异达到极显著水平($P<0.01$)

2.3 土壤有机质和大量养分变化

由图 2 可知,由于种植前翻田整地,土壤有机质和氮、磷、钾等大量养分含量各处理之间差异不显著。

(1)土壤有机质是土壤营养元素(特别是氮、磷)的重要来源,还能使土壤疏松,改善土壤物理性状,而且它还是土壤微生物的重要碳源和能源。处理 A 和处理 B 土壤有机质含量比种植前有所降低,分别降低了 6.8%和 14.2%;处理 C 和处理 D 土壤有机质含量则比种植前有所增加,分别增加了 4.3%和 3.0%。种植后,各处理土壤有机质含量以处理 C 最高,为 31.4g/kg,分别较处理 A、处理 B、处理 D 高

13.8%、22.0%、3.6%,处理 C 与处理 A、处理 D 之间差异不显著,与处理 B 之间差异显著。

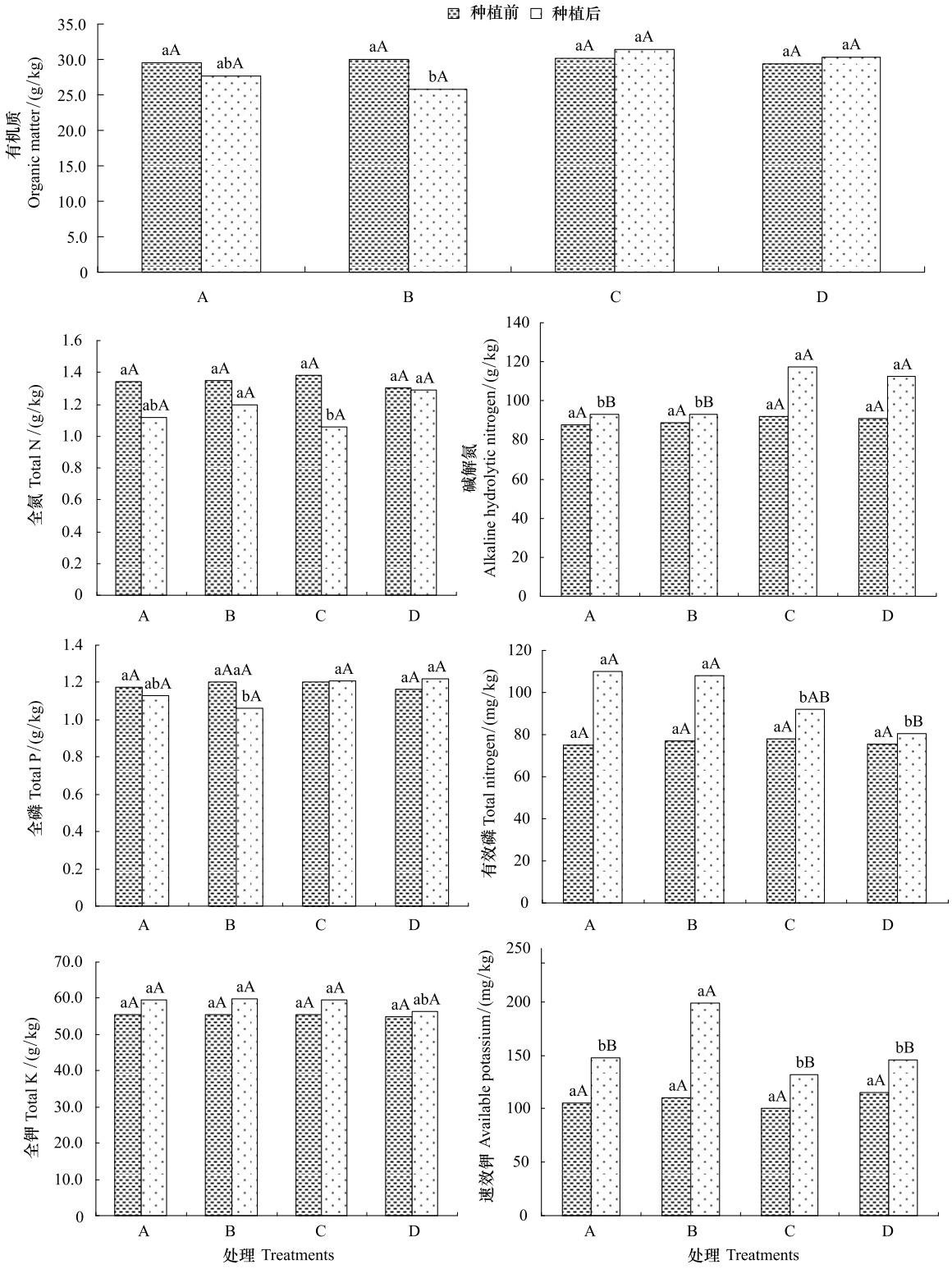

图 2　不同复种方式土壤有机质和大量养分变化

Fig.2　Changes in soil organic matter and soil nutrients with different multiple cropping patterns

柱状图上不同小写字母代表不同处理间差异达到显著水平($P<0.05$),不同大写字母代表不同处理间差异达到极显著水平($P<0.01$)

(2)氮作为作物生长的必需元素之一,是限制作物生长和产量的重要因素,它对改善农产品品质也

有重要作用。各处理种植后土壤中全氮含量均比种植前有所降低,处理 A、处理 B、处理 C、处理 D 的全氮含量分别比种植前降低了 16.4%、11.1%、23.2%、0.8%。种植后土壤全氮含量以处理 D 最高,为 1.29g/kg,分别比处理 A、处理 B、处理 C 高 15.2%、7.5%、21.7%,处理 D 与处理 C 之间差异显著,与处理 A、处理 B 之间差异不显著。

(3)碱解氮是表现土壤氮素供应强度的指标。各处理种植后土壤中碱解氮含量均比种植前有所增加,分别比种植前增加了 5.8%、4.6%、27.8%、23.8%。种植后土壤中碱解氮含量以处理 C 最高,为 117.63 mg/kg,处理 D 其次,处理 C 分别比处理 A、处理 B、处理 D 高 26.3%、26.3%、4.4%,处理 C 与处理 A、处理 B 之间差异极显著,与处理 D 之间差异不显著。

(4)土壤中全磷含量的多少主要取决于成土母质,还受气候条件、土壤 pH 值、土壤有机质含量及人为耕作和施肥的影响。通常情况下,土壤中全磷的含量只是反映土壤磷素的储备状况,并不能反映植物的实际可利用状况。处理 A 和处理 B 土壤全磷含量比种植前有所降低,分别降低了 3.6%和 11.7%;处理 C 和处理 D 土壤全磷含量则比种植前有所增加,分别增加了 0.8%和 4.7%。种植后,各处理土壤全磷含量以处理 D 和处理 C 较高,为 1.22 g/kg 和 1.21 g/kg;处理 B 全磷含量最低,为 1.06 g/kg,且与其他处理之间差异显著,处理 A、处理 C、处理 D 之间差异不显著。

(5)土壤有效磷是土壤磷素养分供应水平的指标。各处理种植后土壤中有效磷含量均比种植前明显增加,处理 A、处理 B、处理 C、处理 D 分别比种植前增加了 46.7%、40.4%、17.9%、6.8%。种植后土壤中有效磷含量以处理 A、B 较高,分别为 109.99 mg/kg 和 108.08 mg/kg,处理 A 分别比处理 B、处理 C、处理 D 高 1.8%、19.6%、36.6%,处理 A 与处理 D 之间差异极显著,与处理 C 之间差异显著,与处理 B 之间差异不显著。

(6)钾不仅是植物生长所必需的营养元素,在植物体内的含量仅次于氮,而且是肥料三要素之一。许多作物需钾量很大,钾不仅在生物物理和生物化学方面有重要作用,而且与植物体内同化产物的运输、能量转化、酶促反应等关系密切,可以明显改善农作物产品品质。各处理种植后全钾含量比种植前有所增加,处理 A、处理 B、处理 C、处理 D 分别增加了 7.2%、7.5%、7.3%、2.3%,种植后各处理全钾含量以处理 D 最低,但各处理之间差异不显著。

(7)土壤速效钾是表现土壤钾素供应强度的指标。各处理种植后土壤中速效钾含量均比种植前明显增加,处理 A、处理 B、处理 C、处理 D 分别比种植前增加了 41.0%、80.3%、31.5%、26.9%。种植后土壤中速效钾含量以处理 B 最高,为 198.33mg/kg,处理 B 分别比处理 A、处理 C、处理 D 高 34.0%、50.8%、35.8%,且差异极显著,处理 A、处理 C、处理 D 之间差异不显著。

根据土壤养分分级标准[10],种植后各处理土壤有机质、全氮、碱解氮和速效钾含量较适宜,全磷、全钾和有效磷含量丰富,在下季作物种植时可以适当减少磷素和钾素的施肥量。

2.4 土壤微生物数量

由表 2 可知,红壤旱地不同复种种植系统的土壤微生物数量不同,细菌、放线菌和氨氧化细菌数量以处理 B 最多,真菌、亚硝酸细菌、磷细菌和好气性纤维素分解菌数量以处理 C 最多,好气性自生固氮菌数量则以处理 D 最多。氨氧化细菌和好气性自生固氮菌数量各处理之间差异不显著。细菌数量处理 B 分别比处理 A、处理 C、处理 D 多 45.4%、5.2%、20.3%,处理 B 与处理 C 差异不显著,与处理 A、处理 D 差异极显著,处理 A 细菌数量最低,且与其他处理之间差异极显著;放线菌数量处理 B 比处理 A、处理 C、处理 D 分别高 18.5%、5.8%、11.2%,处理 B 与处理 A 之间差异显著,与处理 C、处理 D 差异不显著;真菌数量处理 C 比处理 A、处理 B、处理 D 分别高 105.7%、2.4%、58.1%,处理 C 与处理 A、处理 D 差异极显著,与处理 B 差异不显著;亚硝酸细菌处理 C 比处理 A、处理 B、处理 D 分别高 106.9%、96.7%、110.5%,且差异显著,处理 A、处理 B、处理 D 之间差异不显著;磷细菌处理 C 比处理 A、处理 B、处理 D 分别高 16.2%、7.1%、9.7%,处理 C 与处理 A 差异显著,与处理 B、处理 D 差异不显著;好气性纤维素分解菌数量处理 C 比处理 A、处理 B、处理 D 分别高 119.7%、30.5%、140.2%,处理 C 与处理 A、处理 D 差异极显著,与处理 B 之间差异显著。

表 2　不同复种方式下土壤微生物数量及组成

Table 2　The quantity and composition of soil micro-organisms with different multiple cropping patterns

处理 Treatment	总细菌 Bacteria/(10^7/g)	放线菌 Actinomyces /(10^6/g)	真菌 Fungi (10^5/g)	氨氧化细菌 AOB/(10^7/g)	自生固氮菌 AANF/(10^5/g)	亚硝酸细菌 NB (10^4/g)	磷细菌 PB/(10^5/g)	纤维素分解菌 ACD /(10^4/g)
A(CK)	1.96cC	0.92bA	1.23bC	0.48 aA	1.13aA	0.58bA	3.90bA	1.17cB
B	2.85aA	1.09aA	2.47aAB	0.53 aA	1.17aA	0.61bA	4.23abA	1.97bAB
C	2.71aA	1.03abA	2.53aA	0.44 aA	1.33 aA	1.20aA	4.53aA	2.57aA
D	2.37bB	0.98abA	1.60bBC	0.47 aA	1.50 aA	0.57bA	4.13abA	1.07cB

同一列不同小写字母代表不同处理间差异达到显著水平($P<0.05$),不同大写字母代表不同处理间差异达到极显著水平($P<0.01$); AOB: ammonia-oxidizing bacteria; AANF: aerobic authigenic nitrogen-fixing; NB: nitrite bacteria; PB: phosphorus bacteria; ACD: aerobic cellulose decomposing

2.5　土壤酶活性

由图 3 可知,过氧化氢酶活性以处理 A 最高,脲酶活性和转化酶活性则以处理 C 最高,3 种酶活性都以处理 D 最低。过氧化氢酶活性处理 A 分别比处理 B、处理 C、处理 D 高 27.8%、43.8%、46.0%,处理 A 与处理 C、处理 D 差异显著,与处理 B 差异不显著;脲酶活性处理 C 分别比处理 A、处理 B、处理 D 高 28.6%、22.7%、50.0%,处理 C 与处理 A、处理 D 差异极显著,与处理 B 差异显著;转化酶活性处理 C 分别比处理 A、处理 B、处理 D 高 11.4%、7.3%、15.8%,各处理之间差异不显著。

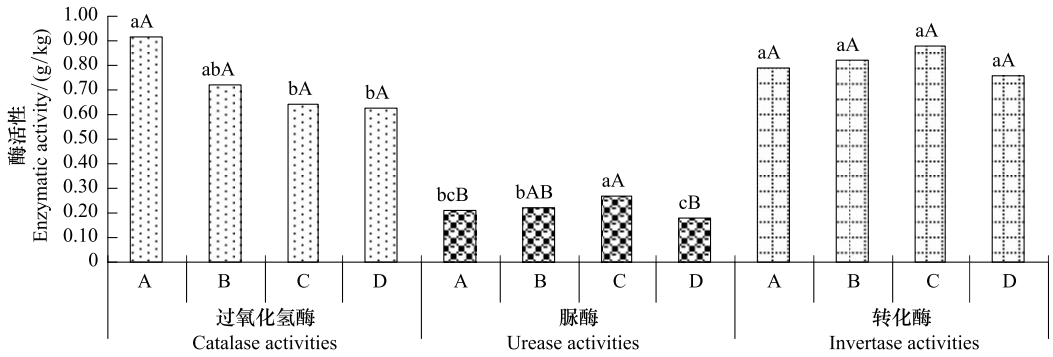

图 3　不同复种方式下土壤酶活性

Fig.3　Soil enzyme activities with different multiple cropping patterns

柱状图上不同小写字母代表不同处理间差异达到显著水平($P<0.05$),不同大写字母代表不同处理间差异达到极显著水平($P<0.01$)

2.6　养地效果比较

由表 3 可知,处理 A 具有较高的土壤有效磷含量和过氧化氢酶活性;处理 B 土壤具有较高的孔隙度、毛管孔隙度,全钾、速效钾含量,较多的细菌、放线菌和氨氧化细菌数量;处理 C 具有较低的土壤容重,较高的 ECE、有机质、碱解氮含量,较多的真菌、亚硝酸细菌、磷细菌、好气性纤维素分解菌数量,以及较高的脲酶和转化酶活性;而处理 D 具有较高的 pH、全氮、全磷含量和较多的好气性自生固氮菌数量。相对的处理 C 的养地效果最好,其次为处理 B,处理 C 分别较处理 A、处理 B、处理 D 高 13.3%、3.7%、11.4%。这说明种植绿肥和绿肥还田具有明显的养地效果。

3　小结

近年来由于大量使用化肥导致稻田土壤有机质不断降低,从保持和积累有机质长远角度来看,必须要加强冬季农业的地位。各复种方式中“混播绿肥—大豆‖玉米—绿豆‖芝麻”对土地的用养结合程度高于其他模式,更有利于农田生态系统的持续稳定发展。而且处理 B 还对降低土壤容重,增加土壤孔隙度,提高土壤 pH 值、全氮、有效磷、全钾和速效钾含量具有明显效果。处理 C“黑麦草—花生‖玉米—粟‖荞麦”具有较高的土壤阳离子交换量、有机质、碱解氮、全磷含量和较多的土壤微生物数量以及较高的土壤酶活性。这说明,种植绿肥和绿肥压

翻还田对土壤具有明显养地效益。高菊生等[11-13]均有同样的观点。

表 3 各指标的无量纲化值

Table 3 Non-dimension treatment of original data of different indexes

项目 Item	处理 Treatment			
	CK	B	C	D
容重 Soil bulk	0.997	0.998	1.000	0.995
总孔隙度 Total porosity	0.929	1.000	0.964	0.911
毛管孔隙度 Capillary porosity	0.98	1.000	0.999	0.949
pH 值 pH value	0.921	0.976	0.968	1.000
阳离子交换量 Cation Exchange Capacity	0.842	0.924	1.000	0.88
有机质 Organic matter	0.879	0.819	1.000	0.965
全氮 Total nitrogen	0.868	0.93	0.822	1.000
碱解氮 alkaline hydrolytic nitrogen	0.791	0.791	1.000	0.958
全磷 Total phosphorus	0.926	0.869	0.992	1.000
有效磷 Available phosphorus	1.000	0.983	0.836	0.732
全钾 Total potassium	0.995	1.000	0.994	0.941
速效钾 Available potassium	0.746	1.000	0.663	0.736
细菌 Bacteria	0.688	1.000	0.951	0.832
放线菌 Actinomyces	0.844	1.000	0.945	0.899
真菌 Fungi	0.486	0.976	1.000	0.632
氨氧化细菌 Ammonia-oxidizing bacteria	0.906	1.000	0.83	0.887
自生固氮菌 Aerobic authigenic nitrogen-fixing	0.753	0.78	0.887	1.000
亚硝酸细菌 Nitrite bacteria	0.483	0.508	1.000	0.475
磷细菌 Phosphorus bacteria	0.861	0.934	1.000	0.912
纤维素分解菌 Aerobic cellulose decomposing	0.455	0.767	1.000	0.416
过氧化氢酶 Catalase activities	1.000	0.783	0.696	0.685
脲酶 Urease activities	0.778	0.815	1.000	0.667
转化酶 Invertase activities	0.898	0.932	1.000	0.864
平均值 Average	0.827	0.904	0.937	0.841

相对于种植前,各复种方式土壤肥力均有提升,处理 A、处理 B、处理 C、处理 D 的全氮含量均有所下降,处理 A 和处理 B 的有机质和全磷含量也有所下降,其他指标均有提高,对全氮而言,虽然处理 A 和处理 B 有种植一季春大豆,其生物固氮量非常可观,但如果不注意氮营养元素的输入,氮素也会出现亏损。因此,在搭配有豆科植物的复种种植系统中也必须重视氮营养元素的输入,以保持农田土壤生态系统的氮素平衡。

绿肥—粮—经作物组合结构,冬季利用绿肥养地,并结合间作高效种植,引入芝麻等经济作物,是稳定提高作物产量、增加经济效益和合理利用土地资源的新型种植方式,生态经济效益最好,对今后红壤旱作区实际生产和农业可持续发展具有积极意义。

References:

[1] Kong H M, He Y Q, Wu D F, Li C L. Effect of long-term fertilization on crop yield and soil fertility of upland red soil. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(5): 782-786.

[2] Xu D H, Ge L L, Lin X Q, Yu S M, Zhu S Q. Studies on multiple cropping patterns with high yield and effective of upland red soil. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 1996, 8(6): 326-329.

[3] Ye F, Huang G Q. Effects on soil fertilization of different cropping systems on upland red soil. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2000, 22(4): 503-508.

[4] Fu Q L, Yu J Y, Wang Z Q. Nutrient cycling in easily drought farmland ecosystem. Chinese Journal of Applied Ecology, 1993, 4(2): 146-149.

[5] Chen C Q, He Y Q, Bian X M. Nutrient dynamic and balance of different farming patterns in red soil upland. Chinese Journal of Soil Science, 2009, 40(1): 81-84.

[6] Professional Committee of Chinese Soil Science Society of

Agricultural Chemistry. Conventional Methods for Soil and Agricultural Chemistry Analysis. Beijing: Science Press, 1983.

[7] Nanjing Agricultural College. Soil Agrochemical Analysis. Beijing: Agriculture Press, 1982.

[8] The Microbial Research Office in Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. The Methods of Soil Microbial Research. Beijing: Science Press, 1985: 59-63.

[9] Guan S Y. Soil Enzyme and Its Methodology. Beijing: Agriculture Press, 1986: 27-30.

[10] Yang J H. The Affects of Different Land Use Patterns on Soil Fertility Quality in Red Soil Hilly Region [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2012.

[11] Gao J S, Xu M G, Dong C H, Huang J, Cao W D, Zeng X B, Wen S L, Nie J. Effects of long-term rice-rice-green manure cropping rotation on rice yield and soil fertility. Acta Agronomica Sinica, 2013, 39(2): 343-349.

[12] Yang T Q. Practice and Exploration on improving soil fertility in dryland. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2008, 14(21): 96-96, 111-111.

[13] Zhang J T. Effects of Incorporation of Milk Vetch (*Astragalus sinicus*) on Fertility Characters of Paddy Soil in South China [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011.

参考文献:

[1] 孔宏敏, 何园球, 吴大付, 李成亮. 长期施肥对红壤旱地作物产量和土壤肥力的影响. 应用生态学报, 2004, 15(5): 782-786.

[2] 许德海, 葛乐麟, 林贤青, 禹盛苗, 朱树清. 红壤旱地多元高产高效益复种模式的研究. 浙江农业学报, 1996, 8(6): 326-329.

[3] 叶方, 黄国勤. 红壤旱地几种耕作制度的土壤培肥效应. 江西农业大学学报, 2000, 22(4): 503-508.

[4] 傅庆林, 俞劲炎, 王兆骞. 易旱农田生态系统养分循环的研究. 应用生态学报, 1993, 4(2): 146-149.

[5] 陈长青, 何园球, 卞新民. 红壤旱地不同种植模式下 NPK 养分动态平衡分析. 土壤通报, 2009, 40(1): 81-84.

[6] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983.

[7] 南京农学院. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1982.

[8] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985: 59-63.

[9] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986: 27-30.

[10] 杨甲华. 红壤丘岗区不同土地利用方式对土壤肥力质量的影响 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.

[11] 高菊生, 徐明岗, 董春华, 黄晶, 曹卫东, 曾希柏, 文石林, 聂军. 长期稻-稻-绿肥轮作对水稻产量及土壤肥力的影响. 作物学报, 2013, 39(2): 343-349.

[12] 杨涛青. 提高旱地土壤肥力的实践与探索. 安徽农学通报, 2008, 14(21): 96-96, 111-111.

[13] 张珺橦. 种植利用紫云英对南方稻田土壤肥力性状影响的研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.