

冬种油菜对棉田养分状况和生态经济效益的影响

刘兆东¹, 秦都林², 张杰², 张少红², 李彦¹, 王艳芹¹, 王桂峰^{2*}

¹山东省农业科学院农业资源与环境研究所, 农业农村部黄淮海平原农业环境重点养分资源高效利用全国重点实验室, 山东 济南

²山东省农业技术推广中心, 山东 济南

收稿日期: 2023年8月6日; 录用日期: 2023年9月5日; 发布日期: 2023年9月14日

摘要

针对棉花单作存在连作障碍和冬季闲田问题, 本文引入油菜到棉花种植中, 探究了棉花单作、油菜绿肥-春棉轮作、油菜-短季棉轮作三个种植模式下, 土壤养分差异和生态经济效益。结果表明: 与对照相比, 油菜绿肥-春棉轮作显著提高土壤中有机质、氮、磷、钾养分状况, 尤其是速效养分; 而油菜-短季棉轮作在保证油棉双熟前提下, 可以维持土壤现有肥力状况, 并且亩收益高于棉花单作。因此, 油菜-短季棉轮作模式利用冬闲田发展油菜生产, 不仅可以提升油料产量, 还可以充分发挥其养地优势提高后茬作物产量、增加种植收益, 对维护我国食用油供给安全、助力农业绿色可持续发展具有重要意义。

关键词

油菜, 短季棉, 种植模式, 土壤肥力, 生态经济效益

Effects of Winter Oilseed Rape Planting on Soil Nutrient and Eco-Economic Benefit of Cotton Field

Zhaodong Liu¹, Dulin Qin², Jie Zhang², Shaohong Zhang², Yan Li¹, Yanqin Wang¹, Guifeng Wang^{2*}

¹State Key Laboratory of Nutrient of Agricultural Environment in Huang-Huai-Hai Plain, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan Shandong

²Shandong Agricultural Technology Extending Center, Jinan Shandong

Received: Aug. 6th, 2023; accepted: Sep. 5th, 2023; published: Sep. 14th, 2023

*通讯作者。

文章引用: 刘兆东, 秦都林, 张杰, 张少红, 李彦, 王艳芹, 王桂峰. 冬种油菜对棉田养分状况和生态经济效益的影响[J]. 农业科学, 2023, 13(9): 808-815. DOI: 10.12677/hjas.2023.139114

Abstract

In this study, rape was introduced into cotton planting to resolve continuous cropping barriers and winter fallow fields. This study investigated the differences in soil nutrient status and eco-economic benefits among three cultivation patterns: cotton monoculture, green-manure-rape and cotton rotation, and oilseed rape-short-season cotton rotation. The results showed that compared with the cotton monoculture, green-manure-rape and cotton rotation significantly increased soil organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium, especially available nutrients. The oilseed rape-short-season cotton rotation can not only maintain soil fertility but also gain a higher yield than cotton monoculture. Therefore, the oilseed rape-short-season cotton rotation can exploit winter fallow fields to improve rape production, which is of great significance for maintaining the security of the edible oil supply and supporting the sustainable development of agriculture in China.

Keywords

Rape, Short-Season Cotton, Planting Pattern, Soil Fertility, Eco-Economic Benefit

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,由于大量使用塑料地膜,土壤中的地膜残留逐年增加,导致棉田的“白色污染”愈来愈重,棉田土壤环境恶化,影响棉花生长发育。此外,早春剧烈的气候变化和较多的自然灾害,同样不利于棉田的丰产稳产。棉花单作种植模式下,更容易发生土壤病害[1],造成棉作生态环境恶化,影响我国棉花生产种植可持续发展。如何实现传统棉花种植业绿色高效高质生产转型,提升收益和解决白色污染问题,促进棉花产业可持续发展,是当前面临的重要问题。

高品质短季棉是植棉新业态,能够增加生态位的可利用性而实现传统一熟种植制度变革,最大限度地开发利用多种形式的时空生态位,有效增加作物种群数目,创造高效生态位效能[2][3]。与单作种植模式相比,棉花与不同作物轮作模式可增加棉田物种多样性,不易发生土壤病害,同时减少对环境有害的农用化学投入品,实现可持续棉花绿色化生产[4][5][6]。

绿肥是重要的有机肥之一,不仅可以提高土壤有机质含量,改善土壤理化性质,而且可以提高土壤微生物种群数量和活性,改善土壤微生物种群结构。施用绿肥不仅可以减少化肥用量,改善土壤理化性状,而且可以提高土壤微生物多样性[7]。研究表明,油菜还田同时能够提高水稻、小麦等作物产量[8][9][10]。油菜作为绿肥生物量大,肥效好,而且生育期短,与短季棉可以轮作,没有共生期,不仅有利于机械化生产,改善土壤理化性状,提高土壤有机质含量[11][12],还有助于减少土壤裸露和扬沙现象。

本研究旨在探究棉田冬闲期种植油菜对土壤养分和经济生态效益的影响,既是对传统棉作种植制度和生产方式的重构,摒弃了传统植棉的地膜和农药等过度使用,也能够培肥地力降低单作障碍。

2. 材料与方法

2.1. 试验地点与供试品种

试验安排在东平县旧县乡,试验地地力水平均匀一致,地力中上等、四周无不良影响,施肥、

灌水、化控等田间管理按照当地高产田要求进行，除试验处理要求外，各处理的管理应做到均匀一致，试验地基本性质见表 1。

供试棉花品种为春棉鲁 6269 和鲁棉 532 (短季棉)，油菜品种为秦油 2 号。

Table 1. Basic properties of soils from cotton field

表 1. 棉田土壤基本性质

指标	采样深度(cm)	
	0~20	20~40
pH	8.57 ± 0.06	8.56 ± 0.10
有机质(g/kg)	13.75 ± 0.93	9.46 ± 0.82
水解氮(mg/kg)	71.60 ± 4.84	43.61 ± 3.09
有效磷(mg/kg)	9.55 ± 0.61	6.44 ± 1.51
速效钾(mg/kg)	253.3 ± 33.9	152.7 ± 31.2
全氮(g/kg)	0.77 ± 0.17	0.65 ± 0.06
全磷(g/kg)	0.95 ± 0.17	0.71 ± 0.13
全钾(g/kg)	17.61 ± 0.25	17.59 ± 0.15

2.2. 试验设计

试验采用随机区组设计。设置对照(CK, 棉花单作)、油菜绿肥 - 春棉轮作(GC)、油菜 - 短季棉轮作(RC)三个种植模式。根据田间墒情，10 月份抢墒撒播油菜种子，在油菜绿肥 - 春棉轮作模式中，翌年 4 月份播种棉花前，结合整地将油菜打碎还田提高土壤肥力；在油菜 - 短季棉轮作模式中，翌年 5 月份收获油菜，并将油菜秆还田。棉花种植密度为 5500 株/亩；油菜播种量为 0.35 kg/亩；每个处理设 3 个平行。

2.3. 测定项目与方法

土壤肥力：在棉花播种前、苗期、盛铃期、吐絮期和收获后，分别采集土壤样品，按“五点取样”法采集土样，每个时期 0~20 cm 和 20~40 cm 土层分别取 5 个重复，每个重复按照 3 点取样，最后将 3 个土壤混合成一个样品。土样剔除可见植物残体，风干，磨细过 0.01 mm 筛，保存，用于土壤养分性质测定。测定方法参照土壤农化分析[13]：土壤 pH 值采用 5:1 的水土比悬液酸度计法测定；有机质含量的测定采用重铬酸钾氧化法(外加热法)；全氮采用凯氏定氮法测定，全磷采用 NaOH 熔融法 - 钼锑抗比色法分光光度法测定；全钾采用 NaOH 熔融法 - 火焰光度法测定；碱解氮采用碱解扩散法测定；有效磷采用 NaHCO₃ 提取 - 钼锑抗比色法测定；速效钾采用 NH₄OAc 提取 - 火焰光度法测定。

棉花产量：每个处理随机选取长势一致、未取走植株的 3 个样点，每点量取 10 米长的相邻两行，待该处理的吐絮率达到 30%~40%时，第 1 次收花；于 10 月 25 日第 2 次收花；截至 11 月 10 日所有处理最后一次收花，剩余未开棉铃不计产量。每次收获的籽棉自然晒干并称量(籽棉产量)，每个样点三次收花的产量之和为该样点的籽棉产量。衣分：籽棉收获后进行扎花，得到衣分，依据该衣分和样点籽棉产量计算出样点皮棉产量。

3. 结果与分析

3.1. 棉花不同生育时期土壤有机质和 pH 的变化

不同棉花种植模式下土壤有机质和 pH 的变化如图 1 所示。随棉花生育期推进, 土壤有机质在棉花苗期达到最大, 棉花单作、油菜 - 短季棉轮作和油菜绿肥 - 春棉轮作中 0~20 cm 土层的土壤有机质分别为 14.7 g/kg、14.5 g/kg 和 16.3 g/kg; 在棉花吐絮期最小, 棉花单作、油菜 - 短季棉轮作和油菜绿肥 - 春棉轮作中 0~20 cm 土层的土壤有机质分别为 9.8 g/kg、10.6 g/kg 和 12.5 g/kg, 比棉花苗期分别降低了 33.3%、26.9% 和 23.2%。与棉花单作相比, 油菜绿肥 - 春棉轮作提高了棉花不同生育时期在 0~20 cm 土层的有机质含量。在油菜绿肥 - 春棉轮作中, 0~20 cm 土层棉花不同生育时期的有机质含量分别为 14.3 g/kg、16.3 g/kg、15.4 g/kg、12.5 g/kg 和 14.7 g/kg, 比棉花单作分别提高了 31.1%、10.9%、27.2%、27.8% 和 11.4%。不同上述土壤性质, 菜油还田和棉花生长活动对土壤 pH 均没有产生明显的影响。

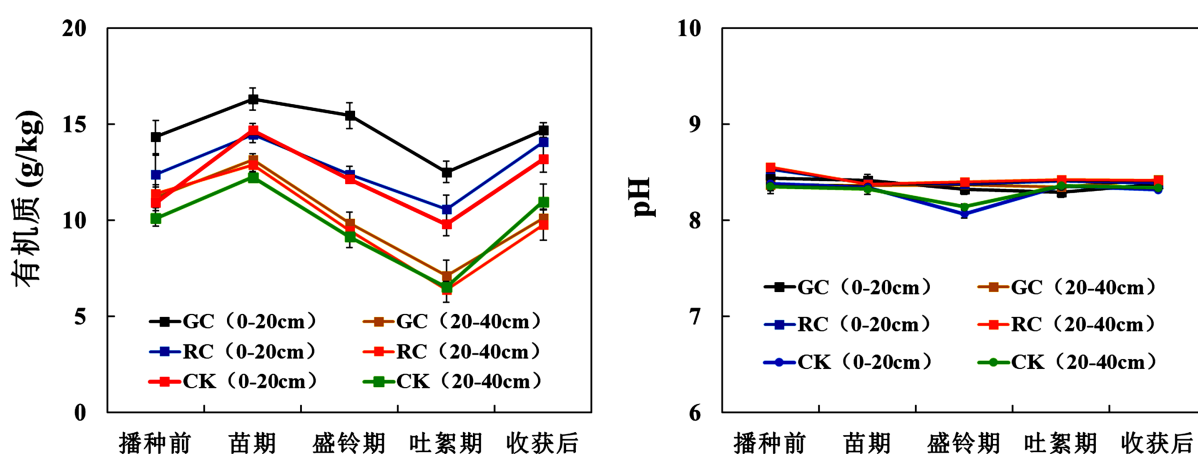


Figure 1. Changes of soil organic matter and pH at different growth stages of cotton

图 1. 棉花不同生育期土壤有机质和 pH 的变化

3.2. 棉花不同生育时期土壤氮含量的变化

由图 2 可知, 随着棉花生长发育, 不同棉花种植模式的土壤全氮均呈现先下降后升高的变化, 且 0~20 cm 土层的全氮含量均高于 20~40 cm 土层。与棉花单作和油菜 - 短季棉轮作相比, 油菜绿肥 - 春棉轮作中油菜还田显著增加了棉花各生育时期的土壤全氮。在油菜绿肥 - 春棉轮作中, 0~20 cm 土层的土壤全氮在棉花播种前、苗期、盛铃期、吐絮期和收获后分别为 1.08 g/kg、0.81 g/kg、0.74 g/kg、0.89 g/kg 和 0.88 g/kg, 比棉花单作和油菜 - 短季棉轮作提高了 0.07%~24.6%。与全氮变化不同, 0~20 cm 和 20~40 cm 土层的土壤水解氮在棉花整个生育期都呈现出先增大后减小的趋势, 极值出现在棉花苗期。与棉花单作相比, 油菜绿肥 - 春棉轮作和油菜 - 短季棉轮作显著增加了棉花各生育时期的土壤水解氮。在油菜 - 短季棉轮作中, 0~20 cm 土层的土壤水解氮在棉花播种前、苗期、盛铃期、吐絮期和收获后分别为 51.27 mg/kg、72.48 mg/kg、60.44 mg/kg、57.74 mg/kg 和 57.99 mg/kg。油菜还田显著提高了 0~20 cm 土层的土壤水解氮, 在棉花播种前、苗期、盛铃期、吐絮期和收获后分别为 70.55 mg/kg、87.75 mg/kg、75.89 mg/kg、72.29 mg/kg 和 71.60 mg/kg, 比油菜 - 短季棉轮作分别提高了 47.4%、21.1%、25.6%、25.2% 和 23.5%。

3.3. 棉花不同生育时期土壤磷含量的变化

由图 3 可知, 在棉花不同生育时期, 不同种植模式下的 0~20 cm 土层全磷含量均高于 20~40 cm 土层。随棉花生长发育, 土壤全磷呈现增加趋势, 在棉花收获后 0~20 cm 土层达到峰值 0.73~0.93 g/kg, 比棉花

播种前全磷含量增加了 16.7%~46.5%。与棉花单作相比,油菜绿肥-春棉轮作和油菜-短季棉轮作显著增加了棉花各生育时期的土壤全磷。在棉花播种前、苗期、盛铃期、吐絮期和收获后,油菜绿肥-春棉轮作中 0~20 cm 土层土壤全磷分别为 0.80 g/kg、0.78 g/kg、0.89 g/kg、0.90 g/kg 和 0.93 g/kg,比油菜-短季棉轮作分别提高了 38%、2.8%、5%、7.4%和 10%。

与棉花单作相比,油菜-短季棉轮作显著提高了土壤有效磷,且 0~20 cm 土层的有效磷要高于 20~40 cm 土层的有效磷。与油菜绿肥-春棉轮作相比,在棉花播种前、苗期、盛铃期、吐絮期和收获后,油菜-短季棉轮作使 0~20 cm 土层的土壤有效磷提高了 16.4%~58.7%。

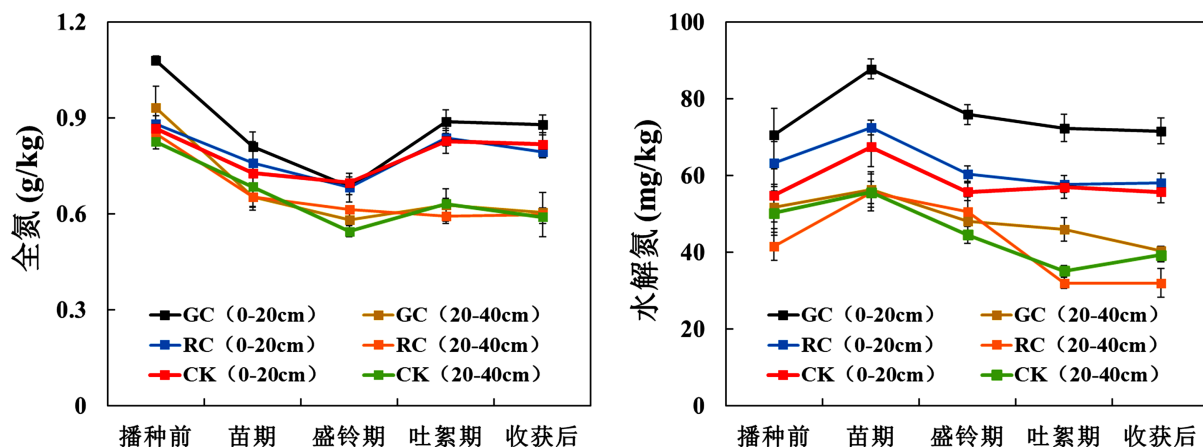


Figure 2. Changes of soil nitrogen content at different growth stages of cotton

图 2. 棉花不同生育期土壤氮含量的变化

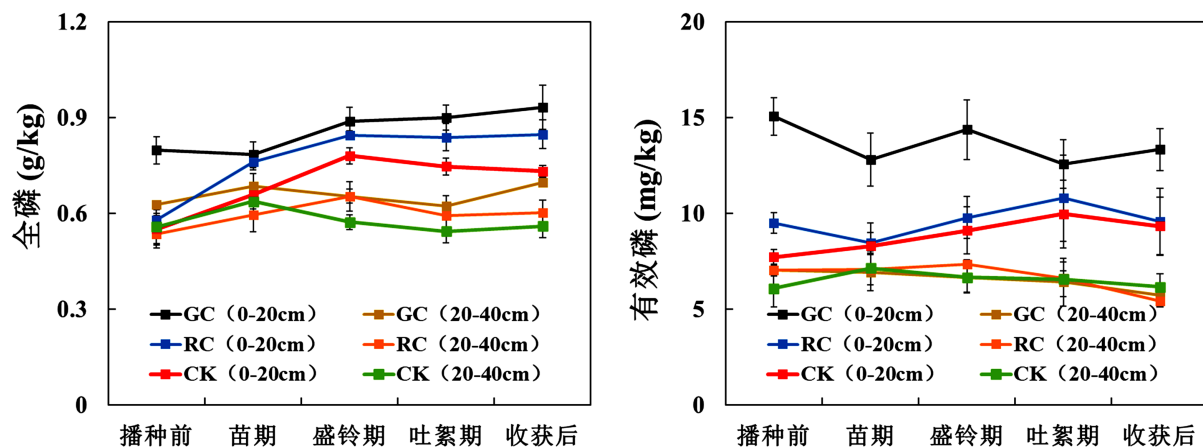


Figure 3. Changes of soil phosphorus content at different growth stages of cotton

图 3. 棉花不同生育期土壤磷含量的变化

3.4. 棉花不同生育时期土壤钾含量的变化

由图 4 可知,不同种植模式下,土壤全钾在棉花不同生育期基本维持稳定,全钾含量在 16.2~20.7 g/kg 之间,且 0~20 cm 土层的土壤全钾与 20~40 cm 土层类似。随棉花生长发育,土壤速效钾含量逐渐升高,且 0~20 cm 土层的土壤速效钾含量要大于 20~40 cm 土层。油菜绿肥-春棉轮作显著提高了 0~20 土层的土壤速效钾,在棉花播种前、苗期、盛铃期、吐絮期和收获后分别为 157.3 mg/kg、207 mg/kg、230.9 mg/kg、257 mg/kg 和 299.6 mg/kg,比棉花单作分别提高了 43%、65.9%、19%、25.7%和 35.6%。

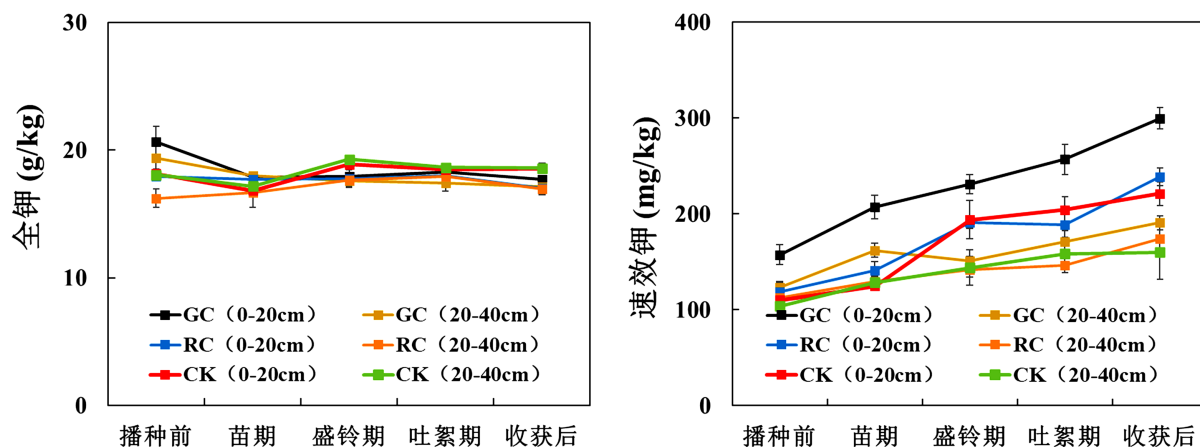


Figure 4. Changes of soil potassium content at different growth stages of cotton

图 4. 棉花不同生育期土壤钾含量的变化

3.5. 不同棉花种植模式下的经济生态效应

如表 2 所示, 油菜 - 短季棉轮作和油菜绿肥 - 春棉轮作中的棉花产量要高于棉花单作处理。不同的是, 油菜 - 短季棉轮作和油菜绿肥 - 春棉轮作充分利用冬闲空地进行了油菜种植, 而油菜 - 短季棉轮作依靠短季棉生长周期短的优势, 收获了 190 公斤/亩的油菜籽。综合各项支出和收入, 油菜 - 短季棉轮作亩产纯收益最高(1900 元), 棉花单作次之(915 元), 油菜绿肥 - 春棉轮作最差(620 元)。

Table 2. Economic benefits of different planting patterns

表 2. 不同种植模式收益

指标	CK	GC	RC
棉花产量(kg·667m ⁻²)	282	300	302
油菜产量(kg·667m ⁻²)	0	0	190
棉花收益(元)	2115	2250	2265
油菜收益(元)	0	0	1440
合计收益(元)	2115	2250	3705
人工成本投入(元)	800	1200	1300
化学品投入(元)	280	280	400
其他投入(元)	120	150	150
合计投入(元)	1200	1630	1850
最终利润(元)	915	620	1900

4. 讨论

4.1. 绿肥油菜还田对土壤肥力状况的影响

油菜本身富集各种营养元素, 翻压还田后经矿化作用将自身大部分营养元素归还到土壤中。同时作为外源有机物, 会增加土壤微生物的种类和数量, 激发原有土壤养分活性。在油菜绿肥 - 春棉轮作中, 油菜

连续两年压青后,春棉不同生育时期土壤有机质含量明显高于仅用化学肥料的春棉单作处理。而对于油菜-短季棉轮作,油菜秸秆还田量相对较少,其土壤有机质仅略高于春棉单作处理(图 1)。因此,油菜作绿肥与棉花轮作可以有效改善土壤中有机质含量。与春棉单作处理相比,油菜绿肥-春棉轮作处理中的棉花不同生育时期土壤中氮、磷、钾含量均有不同程度的提高,尤其是速效氮、磷、钾更加明显(图 2~4),表明油菜压青后复种棉花可有效提高棉花各个时期土壤营养成分。已有研究表明,油菜生长中可分泌苹果酸、柠檬酸等有机酸,形成的酸性环境会加快土壤有机质及难溶性矿质离子的矿化,增强土壤养分活性[14] [15] [16]。李红燕等(2016)研究发现,油菜种植后,土壤有机质、有效磷和速效钾含量都显著高于冬闲田处理[17]。罗贞宝[18]和史昕倩等[19]也发现,油菜根系分泌物促进了土壤中难溶性磷释放,提高了磷有效性。与油菜绿肥-春棉轮作处理不同,油菜-短季棉轮作处理中油菜不做绿肥使用,油菜会从土壤摄取更多营养,在棉花生长的各生育期,土壤有效养分相对于春棉单作处理略有升高(图 2~4)。表明保证种植两季的情况下,油菜-短季棉轮作可以维持土壤现有肥力状况。

在棉花种植过程中,肥料主要施于地表,且在土壤表层中根系分布最多,这将导致施肥带入的养分和作物腐解带入的养分主要储存于土壤表层[20]。因此,在不同棉花种植模式下,0~20 cm 土壤养分明显高于 20~40 cm。另外,土壤有效磷的表聚现象明显高于其他养分,这可能是由于土壤中磷素的移动性小,使磷素相对其他养分更易在土壤表层被固定[21]。

4.2. 绿肥油菜还田对棉花产量和生态的影响

棉花长期连作会导致土壤板结、养分亏缺、土壤酶活性降低等土壤质量问题,形成连作障碍。充分利用棉田冬季空闲期种植绿肥,能够明显提高土壤速效养分,消减棉花连作障碍,减少病虫害发生[14] [22]。油菜绿肥-春棉轮作,油菜还田处理的棉田在棉花收获后土壤肥力状况要好于油菜不还田处理,更好的保护棉田地力和生态环境(图 1~4)。此外,油菜的引入可有效地改善棉田的生态结构,增加棉田的生物多样性,减少病虫害发生和农药使用;油菜还田后腐解会释放养分,减少化学肥料施用,减轻了农业面源污染风险,保护了生态环境[23] [24]。油菜-短季棉轮作中,充分利用短季棉生长周期短的特点,利用棉田冬季空闲期种植油菜,相对于棉花单作处理,每亩地可增加约 952 元,是解决近些年棉花种植效益偏低,农民种植积极性低问题的有效途径[23] [25]。

5. 结论

在油菜绿肥-春棉轮作模式下,油菜还田能够显著提高土壤中有机质、氮、磷、钾养分状况,尤其是速效养分;而在油菜-短季棉轮作模式下,在保证种植两季的情况下,可以维持土壤现有肥力状况,并且亩收益高于棉花单作。因此,油菜-短季棉轮作是解决近些年棉花种植效益偏低,农民种植积极性低问题的有效途径。

基金项目

泰山学者工程,国家自然科学基金(21806074),江苏省自然科学基金(BK20180345),山东省农业科学院农业科技创新工程项目(CXGC2023F03)。

参考文献

- [1] Chen, M., Zhang, J., Liu, H., *et al.* (2020) Long-Term Continuously Monocropped Peanut Significantly Disturbed the Balance of Soil Fungal Communities. *Journal of Microbiology*, **58**, 563-573. <https://doi.org/10.1007/s12275-020-9573-x>
- [2] 祁杰, 代建龙, 孙学振, 等. 短季棉的早熟性机制及栽培利用[J]. 棉花学报, 2018, 30(5): 406-413.

- [3] 王桂峰, 魏学文, 王琰, 等. 绿色发展视角下的山东棉花轻简化栽培技术[J]. 棉花科学, 2018, 40(1): 8-12.
- [4] Yan, S., Yu, J., Han, M., *et al.* (2020) Intercrops Can Mitigate Pollen-Mediated Gene Flow from Transgenic Cotton While Simultaneously Reducing Pest Densities. *The Science of the Total Environment*, **711**, Article ID: 134855. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134855>
- [5] Singh, R.J., Alam, N.M. and Kumar, S. (2017) Bt Cotton-Groundnut Intercropping System: A Pragmatic Approach for Increasing Edible Oilseeds Production in India. *Proceedings of the National Academy of Sciences India*, **87**, 761-767. <https://doi.org/10.1007/s40011-015-0643-5>
- [6] Zulfiquar, S., Yasin, M.A., Bakhsh, K., *et al.* (2019) Environmental and Economic Impacts of Better Cotton: A Panel Data Analysis. *Environmental Science and Pollution Research International*, **26**, 18113-18123. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05109-x>
- [7] 蒋冬艳. 绿肥在农业上应用综述[J]. 广西农学报, 2019, 34(6): 55-8.
- [8] 王丹英, 彭建, 徐春梅, 等. 油菜作绿肥还田的培肥效应及对水稻生长的影响[J]. 中国水稻科学, 2012, 26(1): 85-91.
- [9] 杨旭燕, 何文寿. 绿肥油菜翻压还田对土壤肥力及玉米产量的影响试验[J]. 吉林农业, 2019(3): 56-57.
- [10] 李军辉, 王凯, 杨珍平, 等. 夏休闲期复种饲料油菜提升后作冬小麦产量品质, 土壤肥力及周年经济效益研究[J]. 核农学报, 2020, 34(3): 610-620.
- [11] 张树杰, 陈灿, 张红升, 等. 绿肥油菜研究进展[J]. 安徽农业科学, 2020(15): 24-27.
- [12] 宫慧慧, 张玉娟, 赵军胜, 等. 棉花/芝麻间作模式对作物生长和产量的影响[J]. 棉花学报, 2019, 31(2): 147-155.
- [13] 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.
- [14] 顾焯明, 李银水, 谢立华, 等. 浅析油菜作为绿肥的应用优势[J]. 中国土壤与肥料, 2019(1): 180-183.
- [15] 刘慧, 李子玉, 白志贵, 等. 油菜绿肥翻压还田对新疆盐碱土壤的改良效果研究[J]. 农业环境与发展, 2020, 37(6): 914-923.
- [16] 王焯. 旱地不同绿肥和施磷量对土壤肥力、冬小麦生长及磷肥减量效应研究[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2018.
- [17] 李红燕, 胡铁成, 曹群虎, 等. 旱地不同绿肥品种和种植方式提高土壤肥力的效果[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5): 1310-1318.
- [18] 罗贞宝. 绿肥对烟田土壤的改良作用及对烟叶品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2006.
- [19] 史昕倩, 向春阳, 赵秋, 等. 翻压春油菜对土壤磷素及玉米磷吸收的影响[J]. 华北农学报, 2021, 36(3): 166-173.
- [20] 王学成, 刘冉, 杨莹攀, 等. 棉花秸秆不同埋深对土壤水盐分布及棉花根系构型的影响[J]. 节水灌溉, 2021(9): 77-82.
- [21] 李春林, 陈敏旺, 王寅, 等. 吉林省农田耕层土壤速效磷、钾养分的时空变化特征[J]. 中国土壤与肥料, 2019(4): 16-23.
- [22] 曹卫东, 黄鸿翔. 关于我国恢复和发展绿肥若干问题的思考[J]. 中国土壤与肥料, 2009(4): 1-3.
- [23] 廖良秀. 棉花-油菜轮作高效栽培模式研究[J]. 湖南农业科学, 2022(4): 15-8.
- [24] 苏港. 绿肥油菜还田和减施化肥对土壤微生物生态及玉米氮素积累、转运的影响[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津农学院, 2022.
- [25] 曾球, 梅正鼎, 郭莉莉, 等. 湖南棉花产业发展现状、政策环境、存在问题与建议[J]. 湖南农业科学, 2022(1): 88-90+5.