




# 不同土壤耕作模式下 双季稻田生态特征的研究

唐海明 肖小平 ○ 著

BUTONG TURANG GENGZUO MOSHIXIA  
SHUANGJI DAOTIAN SHENGTAI TEZHENG DE YANJIU

本书稿以定位试验为研究平台，在紫云英-双季稻多熟种植模式条件下，开展了不同土壤耕作方式（翻耕、旋耕、免耕等）结合秸秆还田条件下水稻生育期双季稻田生态功能变化特征的研究，主要从稻田的土壤理化性状、土壤碳库及碳库管理指数、土壤微团聚体和腐殖质、水稻植株生理生化特性、水稻植株生物学特性和产量、水稻植株养分积累特性等方面进行了研究，并对上述各个方面的研究进展进行了综述。

非外借

 中国农业出版社

# 不同土壤耕作模式下 双季稻田生态特征的研究

BUTONG TURANG GENGZUO MOSHIXIA  
SHUANGJI DAOTIAN SHENGTAI TEZHENG DE YANJIU

唐海明 肖小平 著



中国农业出版社  
北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

不同土壤耕作模式下双季稻田生态特征的研究 / 唐海明, 肖小平著. —北京: 中国农业出版社, 2019. 3  
ISBN 978-7-109-25315-5

I. ①不… II. ①唐… ②肖… III. ①双季稻—土壤耕作—模式—农业生态学—研究 IV. ①S511.406.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 044915 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 郭晨茜 浮双双

北京印刷一厂印刷 新华书店北京发行所发行  
2019 年 3 月第 1 版 2019 年 3 月北京第 1 次印刷

开本: 880mm×1230mm 1/32 印张: 4

字数: 180 千字

定价: 48.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

# 编著人员

EDITORS

(按姓名笔画排序)

刘国平	汤文光	许晓玲	孙 耿	孙玉桃
李 永	李 超	李微艳	肖小平	何 炜
汪 柯	张 帆	易镇邪	罗尊长	胡赛晶
徐一兰	郭立君	唐海明	黄凤球	黄桂林
黄新杰	屠乃美	程凯凯	程爱武	傅志强
谭饰宇	潘孝晨			

长江中下游是我国重要的双季稻区，湖南省是该区域的粮食主产区，位于长江中游江南地带，省境绝大部分在洞庭湖以南。地处东经  $108^{\circ}47' \sim 114^{\circ}15'$ 、北纬  $24^{\circ}38' \sim 30^{\circ}08'$ ，东以幕阜山、武功山诸山系与江西交界，西以云贵高原东缘连贵州，西北以武陵山脉毗邻重庆，南枕南岭与广东、广西相邻，北以滨湖平原与湖北接壤。湖南省土地面积  $21.18$  万  $\text{km}^2$ ，户籍人口为  $7\ 119.34$  万人，常住人口  $6\ 568.37$  万人。湖南地处亚热带地区，属中亚热带季风湿润气候，年平均气温  $16 \sim 18^{\circ}\text{C}$ ，积温  $5\ 000 \sim 5\ 800^{\circ}\text{C}$ ，光照时数  $1\ 300 \sim 1\ 800\text{h}$ ，太阳总辐射能  $3\ 330 \sim 4\ 040\text{MJ}/\text{m}^2$ ，年降水量  $1\ 300 \sim 1\ 600\text{mm}$ ，无霜期  $270 \sim 310\text{d}$ 。湖南省具有优越的自然条件和气候资源，具有光热资源丰富、雨量充沛、雨水集中和无霜期长的气候特点。

湖南省是我国重要的粮食生产基地之一，其粮食生产的持续发展，对保障国家粮食安全、稳定粮食供给具有重要的战略意义。湖南省地处湿润多雨地区，全省年平均降水量  $3.18 \times 10^{11}\text{m}^3$ ，全省人均综合用水量  $493\text{m}^3$ ；平均降水量为全国平均降水量的  $2.2$  倍，居全国第七位；但水资源在时间上分布极不均匀，全年  $50\% \sim 70\%$  的降水集中在  $4 \sim 7$  月，其余月份则较少；年际变化较大，地区间分布也极不均匀。

湖南省是我国中部地区典型的农业大省，其农作物生产在全

国具有举足轻重的地位；农作物以水稻为主，旱粮作物主要有大麦、小麦、玉米、甘薯、高粱和豆类；油料作物主要有油菜、花生、大豆和芝麻等；其他经济作物主要有棉花、麻类、茶叶、果树、烟草、甘蔗、蚕桑、蔬菜和药用植物等。2014年全省主要农作物播种面积，早稻 145.33 万  $\text{hm}^2$ ，中稻 117.37 万  $\text{hm}^2$ ，晚稻 149.38 万  $\text{hm}^2$ ，油菜 77.01 万  $\text{hm}^2$ ，棉花 15.57 万  $\text{hm}^2$ ，玉米 34.57 万  $\text{hm}^2$ ，大豆 19.34 万  $\text{hm}^2$ ，薯类 28.46 万  $\text{hm}^2$ ，苕麻 5.43 万  $\text{hm}^2$ ，烤烟 8.58 万  $\text{hm}^2$ 。该区域具有优越的土地、温光等自然资源，且农作物种类丰富，有利于发展农作物生产和多熟种植，形成了多种具有当地特色的种植模式。

目前，湖南省稻田多熟种植模式主要有紫云英—双季稻、马铃薯—双季稻、黑麦草—双季稻、油菜—双季稻、麦类（大麦、小黑麦）—双季稻和蔬菜—双季稻等。农田覆盖作物是可持续农业发展的重要组成部分，利用冬闲田发展稻田冬季绿色覆盖作物生产，可充分利用冬闲期间的光、温、水、土资源，有利于增加单位面积生物产量和土壤有机碳，抑制硝态氮淋溶，减少稻田冬季裸露，减轻农田水土侵蚀和化学径流，增加碳、氮蓄积，促进土壤微生物活动，提高土壤质量、土壤养分利用率和作物产量，能够在一定程度上起到替代化肥的作用，确保粮油作物生产安全。其中，冬季作物紫云英是豆科黄芪属植物，又名红花草子，属一年生或多年生草本植物；其作为我国南方主要绿肥作物之一，翻压或覆盖还田对于改善土壤结构、培肥地力及维持土地可持续生产力具有重要作用。紫云英作为绿色、有机农产品重要肥源之一越来越受到关注并被广泛应用。

土壤耕作是农业生产重要的环节之一，通过采用不同的土壤耕作措施结合秸秆还田，可调控土壤耕层的理化性质，改善

作物生长的土壤环境，促进作物的生长发育，形成良好的群体结构，增加光合面积，增强植株光合能力。近年来，随着社会经济与农业科技的发展，以及国家土地流转政策不断推进完善，土地逐渐集中，农业机械化技术水平也在不断提高，其相应的土地耕作方式也变得多样化。在水稻生产过程中所采用的稻田土壤耕作措施发生了明显的改变，传统的土壤翻耕比例逐渐减少，而土壤旋耕和免耕的耕作措施逐渐被农民所采用。当前，农业机械化水平虽然得到了快速提高，但农机小型化现象明显，特别是土壤耕作机械。长期连续采用小型机械耕作导致农田的耕层普遍浅化，犁底层变得坚硬，土壤库容逐年降低，土壤生产及供肥能力逐年下降，肥料利用率降低，水稻的生长发育受到限制，水稻生产和经济效益也受到影响，从而造成了稻田肥力水平下降、水稻减产和环境污染等一系列问题。因此，在稻田土壤耕作时如何采取合理的土壤耕作方式结合秸秆还田措施，以改善稻田土壤理化特性，增强土壤的蓄水保肥能力，促进水稻的生长和高产、稳产，这是当前湖南省水稻生产中所面临的重要任务之一。

因此，如何采取合理的土壤耕作措施以确保协调土壤水热关系，为作物创造适宜的生长发育环境，保证作物持续高产、稳产等研究具有重要的战略意义。针对上述问题，探讨如何充分利用现有耕地资源，对紫云英—双季稻种植模式中采取不同土壤耕作方式结合秸秆还田培肥土壤条件下进行研究，通过探讨不同土壤耕作方式对稻田土壤和水稻植株的影响，建立科学合理的土壤轮作模式，以提升耕地综合生产能力，从而为南方双季稻区水稻高产选择合理的土壤耕作方式提供科学理论依据。

为了系统揭示在紫云英—双季稻种植模式条件下，采取不

同土壤耕作方式结合秸秆还田培肥土壤条件下对双季稻田生态功能变化特征的影响，我们在国家公益性行业（农业）科研专项“湖南双季稻三熟区耕地培肥与合理农作制构建集成研究与示范”（201503123）、湖南省自然科学基金杰出青年基金项目“长期施肥下双季稻田根际微生物对土壤碳、氮转化的影响机制”（2017JJ1018）、国家重点研发计划“湘中东水稻绿色丰产技术集成与示范”（2018YFD0301004）、国家重点研发计划“双季稻稻田培肥与丰产增效耕作模式”（2016YFD0300906）、国家自然科学基金“长期施肥下双季稻田根际微生物对土壤碳、氮转化机制研究”（31872851）等项目的资助下，系统开展了在紫云英—双季稻种植模式采取不同土壤耕作方式结合秸秆还田培肥土壤条件下南方双季稻田生态功能变化特征的研究，其研究结果对指导我国南方双季稻区进行评价和科学选择土壤耕作模式具有十分重要的指导意义。

近年来，我国农业机械化水平迅速发展，但在生产过程中各种农机类型并存，特别是一些小型机械的大面积使用造成了农田耕层变浅、理化结构变差，降低了农田土壤的蓄水保肥能力，影响水稻的生长和高产、稳产。因此，本书系统梳理了在紫云英—双季稻种植模式定位试验条件下，采取不同土壤耕作方式结合秸秆还田培肥土壤的措施双季稻田生态功能变化特征，重点介绍了不同土壤耕作模式下（翻耕、旋耕和免耕）双季稻田的土壤理化性状、土壤碳库及碳库管理指数、土壤微团聚体和腐殖质、水稻植株生理生化特性、水稻植株生物学特性和产量、水稻植株养分积累特性等方面的内容，为南方双季稻生产的可持续发展选择高效合理的土壤耕作模式提供科学理论依据。

本研究成果是基于湖南省宁乡市回龙铺镇回龙铺村定位试

## 前 言

---

验田的观测结果，由参加上述课题的湖南省农业科学院土壤肥料研究所、湖南农业大学、湖南生物机电职业技术学院等单位科研人员共同编写而成，本书成果是集体智慧的结晶；试验研究得到了宁乡县农业局的大力支持，在此致以诚挚的谢意；部分引用的成果在文后进行了标注，也一并致谢！

本书可作为广大稻田生态和稻田多熟种植研究人员、技术推广人员和科技管理人员的参考书籍，也可为相关领域研究人员提供借鉴。希望本书的出版对我国南方双季稻区水稻可持续生产及其土壤耕作等相关领域的研究与发展起到积极的推动作用。

受著者水平的限制，书中错误和不足在所难免，欢迎广大读者批评指正。

唐海明 肖小平

2018年7月

## 前言

第一章 绪论 .....	1
第一节 土壤耕作模式稻田土壤理化性状研究进展 .....	1
第二节 土壤耕作模式稻田土壤碳库及碳库管理指数 研究进展 .....	5
第三节 土壤耕作模式稻田土壤微团聚体和腐殖质 研究进展 .....	8
第四节 土壤耕作模式水稻植株生理生化特性研究进展 .....	11
第五节 土壤耕作模式水稻植株生物学特性研究进展 .....	14
第六节 土壤耕作模式水稻植株养分积累特性研究进展 .....	17
第二章 不同土壤耕作模式双季稻田试验设计与研究方法 .....	20
第一节 研究区域背景 .....	20
第二节 不同土壤耕作模式试验设计 .....	21
第三节 研究方法 .....	23
第三章 不同土壤耕作模式双季稻田土壤理化性状研究 .....	29
第四章 不同土壤耕作模式双季稻田土壤碳库及碳库 管理指数研究 .....	35
第五章 不同土壤耕作模式双季稻田土壤微团聚体和 腐殖质研究 .....	46

第六章	不同土壤耕作模式双季稻植株生理生化特性研究 .....	54
第七章	不同土壤耕作模式双季稻植株生物学特性研究 .....	68
第八章	不同土壤耕作模式双季稻植株养分积累特性研究 .....	81
参考文献	.....	94
附录 缩略词表	.....	113

# 第一章 | CHAPTER 1

## 绪 论

笔者团队以定位试验为研究平台，在紫云英—双季稻多熟种植模式下，开展了不同土壤耕作模式（翻耕、旋耕、免耕等）结合秸秆还田条件下水稻生育期双季稻田生态功能变化特征的研究，主要从稻田的土壤理化性状、土壤碳库及碳库管理指数、土壤微团聚体和腐殖质、水稻植株生理生化特性、水稻植株生物学特性和产量、水稻植株养分积累特性等方面进行了研究，并对上述各个方面的研究进展进行了综述。

### 第一节 土壤耕作模式稻田土壤理化性状研究进展

土壤与水稻相互作用、相互影响，土壤环境的改变会影响水稻植株的生长，同时植株生长的改变又会通过根系的生理活动作用于土壤。前人的研究表明，通过合理的土壤耕作可以改良土壤结构，改善土壤碳（carbon, C）循环，调节土壤中固、液、气的三相比，为水稻生长提供良好的条件，促进水稻产量的形成。常见的传统耕作措施有免耕、少耕、浅耕、旋耕和深松耕等方式，这些耕作措施不仅影响土壤微生物及其多样性，还会影响土壤肥力，决定土壤变化的方向和程度。近年来，由于人们长期采用浅旋耕方式进行稻田耕种，稻田耕层深度变浅，犁底层变得坚硬，土壤库容逐年降低，使得土壤生产及供肥能力逐年下降，肥料利用率降低，水稻的生长发育受到限制，水稻生产和经济效益也受到影响，从而造成了稻田肥力水平下降、水稻减产和环境

污染等一系列问题。

在不同的土壤耕作措施中，免耕减少了对土壤的扰动，保持了土壤的原状结构及肥力分布梯度、省工节本，是土壤耕作的一大进步，但是长期免耕易造成土壤板结，降低了土壤的通透性和保水保肥能力。与免耕相比，翻耕能够在一定程度上改善土壤理化性质、土壤生物学特性，促进水稻的生长，但翻耕增加了生产成本，而且长期翻耕破坏了土壤的原状稳态结构，加剧了土壤侵蚀，导致土壤地力退化。另外翻耕条件下，土壤养分渗漏流失较严重，不仅会降低肥料利用率，对水体也造成了一定的污染。旋耕作业简化了整地程序，有效清除了杂草，促进了水稻生长，是一项省工、节本的耕作措施；此外，旋耕作业能形成土块细碎的耕作层，保水、保肥效果较好。但是旋耕作业耕作深度偏浅，碎土较多，长期应用这种方法进行稻田耕作也会破坏土壤结构，降低土壤通透性和渗水性。

前人就不同土壤耕作措施对农田土壤理化性状等方面进行相应的研究，如土壤养分含量、土壤物理结构、氧化还原电位（soil redox potential, Eh）等。其中，氮素是土壤中活跃的营养元素，是植物合成氨基酸、蛋白质及其他含氮有机物的营养物质，在植物的生命活动中发挥着十分重要的作用。免耕后土壤氮有富集于表层的趋势，表层土壤氮含量高于常规翻耕，并随着免耕年限的延长而逐年上升，而亚表层土壤氮含量则低于翻耕。土壤翻耕搅动土壤，使肥土相融，上下层有机物料分布在土壤上下层，土壤肥力较为均匀。徐阳春等研究认为，长年翻耕与连续免耕处理相比，0~5cm 土层土壤全氮和速效氮的含量低于免耕，5~10cm、10~20cm 土层的全氮和速效氮含量均明显高于免耕。吴建富等研究结果表明，传统翻耕（CT）和机械旋耕（RT）处理 0~10cm 土层土壤有机质、全氮含量差异不明显，但 CT 处理下层土壤有机质和全氮含量均显著高于 RT 处理（ $P < 0.05$ ），增幅分别为 8.9%~9.2% 和 9.0%~15.2%。

植物的生长发育离不开磷，磷参与植物物质代谢、化合物合

成、细胞分裂等许多生理生化过程，在植物的生命过程中发挥着重要的作用。有学者指出，免耕处理土壤速效磷含量随土层深度增加而降低，与翻耕相比，免耕提高了表层土壤的磷素含量，降低了亚土层土壤的磷素含量。还有研究者提出，免耕土壤整个耕作层的速效磷含量均要大于翻耕，有利于土壤有效磷的富集。也有研究结果表明，翻耕土壤的磷素由于耕作而分布相对较均匀，土壤有效磷含量在 5~10cm 土层最高，随深度增加，磷含量下降较慢。一些学者认为，与免耕相比，翻耕降低了 0~5cm 土层的磷素含量，提高了 5~20cm 土层的磷素含量。另一些研究者则持不同意见，他们的研究表明，翻耕处理土壤有效磷含量在整个耕层均高于免翻土壤，这可能是各地的地域、气候、田间管理方式不同而引起的差异。

钾是植物的必需营养元素，土壤中的钾素是植物所需钾的重要来源，对植物生长发育起着举足轻重的作用。国内多数研究表明，免耕土壤速效钾主要在表层（0~5cm）富集，表层土壤速效钾含量高于翻耕，而中下层（5~20cm）则低于翻耕。免耕土壤速效钾含量随耕层深浅的变化较大，从上到下逐层递减，且土壤速效钾含量随着免耕年限的增加而增加。但也有研究者认为，免耕土壤表层速效钾含量和翻耕相比差异不显著，亚表层速效钾含量低于翻耕。翻耕土壤上、下层钾分布较均匀，优化了土壤结构，加速了土壤中矿物质的转化，增加了土壤中可供根系吸收利用的速效钾含量。李凤博等研究表明，土壤速效钾含量随耕层的加深而增加，翻耕处理土壤速效钾含量显著高于免耕处理。

土壤有机质指的是土壤中含碳的有机化合物，几乎含有植物和微生物需要的所有营养元素，其含量与土壤肥力水平密切相关。土壤有机质的分布受土壤耕作方式影响较大，随耕作方式的改变而改变。免耕方式下有机质主要聚集在土壤表层，表层土壤有机质含量高于下层；与翻耕相比，免耕土壤表层有机质含量明显增加，亚表层土壤有机质含量则降低。长期免耕有利于土壤有机质的积累，土壤有机质含量随着免耕年限的增加而逐年增加。翻耕处理土壤有机

质较均匀地分布于整个耕层，整个耕层的土壤有机质平均含量在翻耕与免耕处理间无明显差异，只是在各深度土层的分布有所不同。长期翻耕有利于肥土的混溶，将大部分有机物料随耕作翻入土壤下层；另外由于翻耕频繁扰动土壤，增加了土壤通气性，破坏了土壤团聚体，增大了有机质与微生物的接触面积，加快了土壤原有有机质和外加有机质的矿化分解速率；因此，翻耕土壤中的有机质总量与免耕相当，只是表层土壤有机质含量低于免耕的。甚至还有研究表明，土壤有机质含量随耕作深度的增加而增加。Yang 等的研究显示，长期免耕较翻耕提高了表层 0~10cm 土壤有机碳含量，但降低了 10~20cm 土壤有机碳 (soil organic carbon, SOC) 含量；而免耕与翻耕处理下，20~30cm 土壤有机碳含量差异不显著。Deen 等通过长期试验，比较了免耕、犁耕和秸秆覆盖等不同耕作制度对土壤固碳的影响，结果表明不同耕作制度下土壤有机碳与耕作强度和深度有关。

汤文光等研究指出，耕作措施主要影响 0~10cm 耕层土壤性状，翻耕和旋耕均提高了稻田土壤养分含量。李凤博等的研究表明，深耕有利于培肥地力，增加稻田土壤养分含量。张大伟等的研究表明，耕作方式对稻田土壤有机质含量、土壤全氮含量影响显著，但是对土壤有效磷含量影响不显著。曾可等的研究认为，常耕稻田土壤碱解氮、有效磷和有机质含量均高于免耕稻田，免耕稻田 pH、土壤速效钾含量却高于常耕稻田。刁伟伟等研究表明，水稻节水保护性耕作能降低土壤容重、增大土壤孔隙度，提高土壤速效养分。武际等的研究指出，免耕促进了稻田土壤有机质和全氮在表层土壤的富集；0~10cm 土层有机质和全氮含量比翻耕处理显著增加，而 10~20cm 土层上述养分含量明显低于翻耕处理。徐尚起等的研究认为，免耕有利于改善双季稻田的土壤质量。上述大量研究结果表明，从稻田耕作措施对土壤理化性质、生物学特性的影响可知，众多学者得出的结果并不完全一致，这可能是研究的土壤状况、轮作制度、栽培方式及时间阶段存在差异所导致的。

目前,中国南方双季稻主产区,在紫云英—双季稻种植模式采取不同土壤耕作模式(翻耕、旋耕和免耕)结合秸秆还田培肥土壤条件下对双季稻稻田土壤理化性质的影响还有待进一步开展。因此,本研究以紫云英—双季稻种植模式大田定位试验田为基础,开展不同土壤耕作模式(翻耕、旋耕和免耕)条件下稻田土壤理化性质变化的研究,从而为南方双季稻区选择培肥地力的土壤耕作模式提供科学理论依据。

## 第二节 土壤耕作模式稻田土壤碳库及碳库管理指数研究进展

世界土壤中总碳量大约在 2 500 Gt ( $1 \text{ Gt}=10^9 \text{ t}$ ),是空气中总碳量的 3 倍;土地从森林、草地变成耕地的过程中损失了大量的碳,美国阿林顿草原在成为耕地之后损失了高达 63% 的土壤碳。采用适宜的农业措施能够恢复 60%~70% 的耕地损失碳量,Smith 等指出全球农业减排的自然总潜力高,利用耕地固碳将对温室气体减排做出巨大贡献。由此可见,通过合理的农业措施可以使耕地更加有效地固碳,对气候变暖引起的一系列环境问题的解决有积极的意义。

农田生态系统土壤有机碳的转化和稳定性与土壤可持续利用及碳循环关系密切。作为反映碳循环和土壤质量、土壤健康的指标,SOC 是国内外学者开展研究的重点。目前,国内外针对各种不同的农业措施对于稻田土壤有机碳和碳库管理指数(carbon pool management index, CPMI)和有机碳储量、土壤微生物量碳(soil microbial biomass carbon, SMBC)、土壤微生物量氮(soil microbial biomass nitrogen, SMBN)及微生物熵(microbial quotient, MQ)的影响均进行了深入研究,如少免耕、秸秆还田、施肥、轮作和灌溉等方面。其中,土壤耕作是对土壤的直接扰动,土壤碳随着表层土壤分布的变化也会在土壤中重新分配,能够直接影响土壤理化性质,提高土壤的透气性和微生物活性等,

对土壤碳的分解过程产生最直接的影响。Busse 等认为, 大团聚体中的碳最易受到耕作的影响, 而少免耕减少了土壤扰动, 使得大团聚体中的碳不易分解。West 等对比研究了免耕和传统耕作后认为, 免耕可以减缓土壤有机物质的矿化率, 有利于土壤有机碳的积累。Paustian 等研究认为, 5~20 年的免耕可以使土壤有机碳较常规耕作增加  $285\text{g}/\text{m}^2$ 。David 等认为, 经过多年免耕后土壤耕层有机碳含量会显著高于耕作处理。West 等分析了全球有关常规耕作和免耕的试验结果表明, 由翻耕转到免耕持续 15~20 年, 土壤平均固碳速率可以达到  $570.0\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{年})$ 。Al-kaisi 等研究认为, 相对于常规翻耕, 短期内 (3 年) 免耕并不能显著增加土壤有机碳。

在稻田生态系统中, 土壤耕作和秸秆还田是广泛使用的人为管理措施, 随着社会和生产的发展, 秸秆还田的方式和数量都在不断变化, 尤其是部分地区禁烧秸秆和留高茬直接还田技术的推广, 使秸秆直接还田的数量不断增加。前人的研究表明, 采用少、免耕以及秸秆还田等保护性耕作措施可以有效增加土壤有机碳储量。Rittera 等研究认为, 在保护性耕作条件下, 少耕、免耕和秸秆还田能增加土层的总有机碳、稳态碳和碳库指数。何莹莹等的研究表明, 耕作措施和秸秆还田对土壤有机碳和活性有机碳 (active organic carbon, AOC) 含量均产生不同程度的影响, 旋耕秸秆还田使土壤有机碳储量明显增加。孙国峰等认为长期免耕后, 连续免耕秸秆还田会增加表层土壤有机碳储量; 而翻耕、旋耕秸秆还田会提高下层土壤有机碳储量。Yang 等的研究显示, 长期免耕较翻耕提高了表层 0~10cm 土壤有机碳, 但降低了 10~20cm 土壤有机碳含量。许淑青等定位试验研究的结果证明, 有无秸秆还田下免耕处理较常耕处理均能不同程度地提高 0~5cm、5~10cm 和 10~30cm 土层有机碳含量。Wander 等和张志丹等的研究结果均表明, 免耕并未比翻耕增加有机碳含量。李琳等的研究结果是, 免耕对 0~10cm 土层有机碳的提高不具有可持续潜力, 而翻耕对 10~20cm 土层有机碳含量的提高具有可持续潜力。Deen 等