

# 粉垄栽培对土壤性质及作物产量影响的研究进展

张柯雨<sup>1,2</sup> 陈彦云<sup>1,2</sup> 李国旗<sup>1,2</sup>

1. 宁夏大学西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地, 银川;
2. 宁夏大学西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 银川

**摘要** | 不同耕作方式对土壤理化性质影响不同, 合理的耕作方式能有效改善土壤的水、肥、气、热条件, 以物理方式提升土壤肥力, 从而达到作物增产提质的效果。粉垄栽培在打破犁底层的同时能够不翻动土壤的结构而使土壤松软, 增加土壤中、微团聚体含量, 而小粒级的团聚体养分储存量会得到提升, 更有利于作物对土壤养分的吸收。相比传统耕作, 粉垄栽培作为一种新型土壤耕作方法, 能够解决由于长期旋耕造成的犁底层变硬变浅问题, 改善土壤环境; 显著提高单位面积的穗数、穗粒数和千粒重, 对作物产量构成因素影响很大, 利于作物生长发育并提高产量。

**关键词** | 粉垄栽培; 土壤性质; 产量

Copyright © 2021 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



近年来, 农业生产上对农产品产量和质量的要求不断提高, 化肥、农药的投入水平又需得到有效控制; 连年旋耕导致耕层变浅、犁底层变厚变硬、耕层

基金项目: 宁夏重点研发计划项目(2019BBF02006)。

通讯作者: 陈彦云, 宁夏平罗人, 研究员。主要从事植物生态学研究。

文章引用: 张柯雨, 陈彦云, 李国旗. 粉垄栽培对土壤性质及作物产量影响的研究进展 [J]. 农业科学进展, 2021, 3 (2): 43-52.

<https://doi.org/10.35534/aas.0302006>

生产能力下降；在稳定“化学农业”投入的同时，如何采取其他有效措施提升土壤肥力具有重大的现实意义<sup>[1]</sup>。

研究表明，不同耕作方式对土壤理化性质影响不同，合理的耕作方式能有效改善土壤的水、肥、气、热条件，以物理方式提升土壤肥力，从而达到作物增产提质的效果<sup>[2-5]</sup>。农耕区多采用铧式犁作为耕地工具进行深翻旋耕（谭俊杰，2018；杨尚东，2018），虽然长期翻耕能有效除掉作物残茬、杂草并增加土壤的通气性等，但同时也破坏了对地面的保护，导致耕层变浅<sup>[6]</sup>，土壤结构紧实，土壤蓄水保肥能力严重下降等问题<sup>[7]</sup>。

广西农业科学院韦本辉研究员在研究木薯等根茎作物过程中，研制了新型土壤耕作机具——“粉垄耕作机”。所谓“粉垄”是“粉垄栽培技术”的简称，指应用“立式粉垄深耕深松机”（简称“粉垄机”），按照不同作物种植需求，以立式螺旋型旋削刀具快速扰动土壤，将土壤垂直旋磨粉碎并自然悬浮成垄，而不破坏土层，在垄面种植作物的配套栽培技术。这种新型土壤耕作方法结合了深松、旋耕和翻耕3种耕作方法的优点，在打破犁底层的同时还能不翻动土壤的结构而使土壤松软。研究表明，与传统耕作相比，粉垄栽培可明显提高木薯、甘蔗、水稻等作物的产量<sup>[8-11]</sup>。

## 1 粉垄栽培对土壤性质的影响

### 1.1 土壤蓄水量

在作物关键生育时期抽雄吐丝期，粉垄栽培后的土壤蓄水量显著高于传统耕作方式（旋耕处理和间隔深松处理）。至作物成熟期，由于降雨充足，土壤蓄水量与抽雄吐丝期相比有所升高，各处理间差异有所降低，但粉垄栽培的土壤蓄水量仍显著高于传统耕作。蓄水量对比降雨量情况，耕作处理对土壤蓄水量的影响较大，粉垄耕作具有很好的蓄水保墒能力，雨量大时利于降水入渗，减少地面径流，储蓄更多水分，并且越是干旱的时段，表现越突出；且田间作业深度越深，储蓄的水分越多；在降雨量较少时期，由于其蓄水能力强，从而能够很好地保存水分，为作物高产稳产提供良好的土壤水分条件，利于克服种

植地区缺水现状，改善土壤结构，进而实现高产。

## 1.2 土壤容重

土壤容重是反映土壤紧实度的一项重要土壤物理性质指标。耕作处理对土壤容重的影响很大，粉垄耕作处理在实施耕作后，容重一直保持显著低于传统处理的优势；这在土壤蓄水量中也可以看出其效果，传统耕作处理的效果只能维持一年。好的耕作方式通过改变土壤物理性质，从而改善土壤水气状况，利于作物根系下扎、生长发育，利于实现高产。

## 1.3 土壤团聚体结构

土壤团聚体分布及数量能直接表明土壤结构的抗蚀性和机械稳定性，靳晓敏等<sup>[12]</sup>研究了粉垄耕作对土壤养分的影响；张祥彩等<sup>[13]</sup>研究表明，深松能够明显增加土壤大团聚体含量；而王彩霞等<sup>[14]</sup>研究表明，旋耕和覆盖深松相对于传统耕作能够增加小于 0.01 mm 粒级的微团聚体。

### 1.3.1 机械稳定性团聚体分布特征

在不同耕作方式下，机械稳定性各粒径团聚体存在不同的差异。相对于其他耕作方式，粉垄耕作处理对土体的扰动强度和深度较大，减少了土壤的大团聚体，而增加了土壤中、微团聚体。Bailey 等<sup>[15]</sup>研究指出，较小的团聚体内部大孔隙较多，其形成的土壤总孔隙和孔隙表面积较大，更利于作物根系下扎和水分与养分的吸收。

### 1.3.2 水稳性团聚体分布特征

不同粒径团聚体在养分的转化和供应过程作用不同<sup>[16]</sup>，微团聚体较大团聚体具有较大的比表面，影响了土壤的物理、化学与生物特性。不同耕作方式对团聚体分散、破碎、重新排列和再团聚过程的改变影响土壤的结构和功能，导致作物根系吸收利用水分与养分的效率不同。粉垄耕作较传统耕作方式具有碎土性好、松土量大和机械钻头横向扰动土壤等特点，增加了土壤中、微团聚体含量，而小粒级的团聚体养分储存量会得到提升，更有利于作物对土壤养分的吸收，这可能是粉垄耕作能使作物增产提质的重要原因，对农业生产具有重要

意义。

### 1.3.3 不同耕作方式下土壤团聚体微形态特征

不同耕作处理对土壤微形态的影响变化存在差异，通过扫描电镜（SEM）三种不同视场观察表面超微形态，能够较清晰地看出土壤表面的孔壁、孔道和微孔隙，这些微孔隙具有通气性、水分储存的功能；土壤微孔隙的类型、数量、组合及剖面分布状况，对土壤肥力具有重要的意义<sup>[17]</sup>。粉垄耕作呈现出土壤表面骨骸颗粒细小，排列规整且紧密，表面更光滑和孔隙更发达等特点，对水分和养分吸收利用可能具有更大吸附性能；与传统耕作相比，不仅土壤各粒级团聚体含量分布存在差异，而且团聚体表面微形态也存在着差异；这些形态结构的差异，极可能是粉垄耕作技术能增产提质的重要原因之一。

### 1.3.4 不同耕作方式下土壤比表面积及孔结构变化

根据土壤孔隙性质和大小，可分为构造孔隙和结构孔隙。构造孔隙与土壤颗粒组成有关，主要指团聚体内部的孔隙或细小颗粒间的孔隙，具有较高稳定性。结构孔隙与土壤团聚体有关，主要指微团聚体之间和团聚体之间的孔隙，其稳定性易受外界环境的扰动；显然，耕作方式会对土壤构造孔隙，特别是结构孔隙产生影响。由等级理论可知，微团聚体依靠阳离子桥或有机聚合物形成有机—矿物复合体稳定自身结构，大团聚体则主要依靠多糖等有机物质<sup>[18]</sup>。

## 2 粉垄栽培对作物生长和产量的影响

耕作方式的不同对土壤性质有影响，并进而影响作物群体 LAI、干物质积累和灌浆速率以及产量的形成；粉垄耕作使作物增产显著。据相关研究报道<sup>[19]</sup>，粉垄耕作能使作物增产 10% ~ 30%，品质提升 5% 以上。2017 年以来，粉垄耕作被原农业部列为全国主推技术且评估达到国际领先水平，得到袁隆平院士、张洪程院士等专家学者的一致认可<sup>[20, 21]</sup>；目前，该技术已在全国 25 个省份、35 种作物上推广应用<sup>[22]</sup>。

### 2.1 对作物叶面积动态和干物质积累动态的影响

不同耕作方法处理下作物不同生育时期的群体叶面积指数（LAI），粉垄耕

作的群体 LAI、干物质积累与传统农耕处理间的差异大，说明粉垄耕作抗老化能力较强。不同耕作方法对作物群体 LAI 和干物质积累量有很大影响，选择合适的耕作方法可以改变土壤条件，进而促进作物植株的叶片营养生长，为生殖生长提供营养基础，利于作物生长发育，并达到高产。造成粉垄和传统耕作差异大的原因除土壤容重低，利于作物根系生长从而促进地上部生长外，与耕作的不同蓄水能力有更大关系。在相对干旱及缺水严重地区，由于粉垄耕作具良好蓄水能力，使其上种植的作物干物质积累显著增高。

## 2.2 对作物灌浆速率的影响

灌浆是作物籽粒产量的关键时期。从灌浆进程来看，粉垄耕作在灌浆前期会略低于传统农耕处理，但在中期和后期开始显著高于传统处理。

## 2.3 对作物经济产量的影响

作物产量受很多因素影响，对于这方面的研究也有很多，合理的耕作方式能够促进作物优质高产，节本降耗，达到增产增收目的<sup>[23]</sup>。作物经济产量由穗数、穗粒数及千粒重 3 个因素决定。作物实测产量的排序均为粉垄耕作 30 cm>传统耕作。相比传统耕作，粉垄耕作措施对作物产量构成因素影响很大，在作物中的增产能力大且效果稳定，显著地提高了单位面积的穗数、穗粒数和千粒重，大大提高了作物产量。

# 3 讨论

## 3.1 粉垄栽培技术的优势

与传统农耕相比，粉垄耕作不仅可以打破犁底层，并且能够更大程度的疏松土壤，因此在保持土壤蓄水量、降低土壤容重方面显示了较大优势，同时由于改善了土壤的水热条件，改善了作物根系生长的环境，作物地上部可以更好的生长，利于增加作物的群体 LAI、干物质积累和灌浆速率，进而增加作物产量。在马铃薯高产栽培技术中，许多学者都主张进行深耕垄栽，目的就是为马铃薯

生长提供一个良好的土壤环境,如王绍林等<sup>[24]</sup>提出马铃薯种植前进行土壤深翻、深松、耕翻深度 20 ~ 25 cm; 郑龙川<sup>[25]</sup>提到,冬种马铃薯应机械深翻破碎田块,再人工起成小高垄。

农田尤其是板田,一般都比较板结,采用常规拖拉机整地种植农作物,其土壤也往往是块状和碎土相间。利用粉垄专用机械进行垂直旋磨整地,可一次性完成深耕起垄作业,具有深耕深松的作用,与传统农耕整地相比,其土壤环境发生了以下的改变:(1)加深了活土层,粉垄整地将松土层由 20 cm 左右提高到 30 cm 左右,松土层增加了 50% 左右;(2)土壤疏松细碎通透性好,经过旋磨的土壤比常规整地细碎且疏松程度较高,通透性也较好;(3)种植带地下约有 5 cm 的“凹”状储水槽,利于保水保肥。这就是粉垄种植作物植株健壮、根系发达、产量提高、商品性好的主要原因。

### 3.2 当下存在的问题

首先,传统农耕后的效果在第二年已经逐渐消退,而粉垄耕作后在第二年的效果仍然显著高于土壤初始状态。可见粉垄耕作的效果延续更长,但是对于其适用的年限还需要进一步验证。

其次,粉垄 20 cm 与常规旋耕 20 cm 土壤结构体破坏率差异极小,即稳定性差异不明显。相关研究中耕作机械力与土层翻动共同影响着土壤结构体,因而对其进行量化且明确作用机理是今后研究的重点和难点之一。

研究表明(Jung et al, 2016; Hochella, 2008)<sup>[26, 27]</sup>,土壤纳米级孔隙表面能发生许多化学反应,养分在土壤颗粒上的吸脱附行为,与纳米孔隙有关。在今后的研究中,应注重研究不同耕作方式下土壤对养分的吸附与解吸效应,进一步验证各耕作处理产生的化学反应差异。土壤的团聚体和土壤孔隙是构成土壤结构的重要组成部分,土壤结构的差异决定了土壤的水、肥、气、热状况,也决定了土壤生物、微生物的“生活”场所及运动通道。不同耕作方式下农田土壤不同尺度的孔隙度动态变化有待进一步研究,进而探明不同耕作下土壤团聚体及孔隙大小变化机理。

粉垄技术可将目前大田相对浅薄的耕层进行加深,且细碎土壤;而且通过粉垄栽培,在不破坏犁底层的前提下,起到了一定的深耕深松、客土改土和培肥地力,提高大田生产能力的作。总之,粉垄栽培作为一种新型的耕作法,能够解决由于长期旋耕造成的犁底层变硬变浅问题,改善土壤环境,利于作物生长发育并提高产量。

## 参考文献

- [1] 李素丽, 黄金玲, 韦本辉, 等. 李志刚. 粉垄耕作对甘蔗光合生理特性及产量品质的影响 [JOL]. 热带作物学报: 1-8 [2021-01-15].  
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1019.S.20200813.1115.002.html>.
- [2] Kay B D, Vandenbygaart A J. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil & Tillage Research*, 2002, 66 (2): 107-118.
- [3] Hou X, Rong L, Jia Z, et al. Effects of rotational tillage practices on soil properties, winter wheat yields and water-use efficiency in semi-arid areas of north-west China [J]. *Field Crops Research*, 2012, 129 (1): 7-13.
- [4] 何鑫. 不同耕作方式对农田黑土理化性质及玉米叶片 PS II 功能的影响 [D]. 东北农业大学, 2017.
- [5] 成臣, 汪建军, 程慧煌, 等. 秸秆还田与耕作方式对双季稻产量及土壤肥力质量的影响 [J]. *土壤学报*, 2018, 55 (1): 247-257.
- [6] 屈通, 李霞, 汤明军, 等. 自激振动深松对土壤物理特性的影响 [J]. *农机化研究*, 2018, 40 (12): 179-183.
- [7] 刘波, 吴礼树, 鲁剑巍, 等. 不同耕作方式对土壤理化性质影响研究进展 [J]. *耕作与栽培*, 2010 (2): 55-58.
- [8] 韦本辉, 何虎翼, 俞健, 等. 旱地土壤耕作生态对木薯生长及环境的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2010, 38 (2): 668-671.
- [9] 申章佑. 土壤耕作疏松生态可增 15% 以上 [N]. *广西日报*, 2009-

- 11-20 (5) .
- [10] 韦本辉, 甘秀芹, 申章佑, 等. 粉垄栽培甘蔗试验增产效果 [J]. 中国农业科学, 2011, 44 (21): 4544-4550.
- [11] 韦本辉, 刘斌, 甘秀芹, 等. 粉垄栽培对水稻产量和品质的影响 [J]. 中国农业科学, 2012, 45 (19): 3946-3954.
- [12] 靳晓敏, 杜军, 沈润泽, 等. 宁夏引黄灌区粉垄栽培对玉米生长和产量的影响 [J]. 农业科学研究, 2013, 34 (1): 50-53.
- [13] 张祥彩, 李洪文, 何进, 等. 耕作方式对华北一年两熟区土壤及作物特性的影响 [J]. 农业机械学报, 2013, 44 (s1): 77-82.
- [14] 王彩霞, 岳西杰, 葛玺祖, 等. 保护性耕作对土壤微团聚体碳、氮分布的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (3): 642-649.
- [15] Bailey V L, Mccue L A, Fansler S J, et al. Micrometer-scale physical structure and microbial composition of soil macroaggregates [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2013, 65: 60-68.
- [16] 刘文利, 吴景贵, 傅民杰, 等. 种植年限对果园土壤团聚体分布与稳定性的影响 [J]. 水土保持学报, 2014, 28 (1): 129-135.
- [17] 何毓蓉, 徐祥明, 刘黎. 西南地区水耕人为土诊断层土壤特性及 SEM 特征 [J]. 山地学报, 2009, 27 (6): 727-734.
- [18] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water-stable aggregates in soils [J]. European Journal of Soil Science, 2010, 33 (2): 141-163.
- [19] 韦本辉. 粉垄“4453”增产提质效应及其利民利国发展潜能 [J]. 安徽农业科学, 2014, 42 (27): 9302-9303.
- [20] 冯粒, 熊旭. 农业部: 粉垄耕作国际领先 [EB/OL]. (2018-01-17) [2019-04-06].  
<http://scitech.people.com.cn/n1/2018/0117/c1007-29770591.html>
- [21] 魏艳, 赵竹青. 首次采用粉垄技术栽培, 袁隆平超级水稻欲冲新高 [EB/OL]. (2016-12-26) [2019-04-06].

<http://scitech.people.com.cn/n1/2016/1226/c1007-28976556.html>.

- [22] 徐国信. 粉垄技术: 无限时空释放“自然力”造福人类 [EB/OL]. (2018-10-31) [2019-04-06].

<http://www.ceh.com.cn/syzz/1094010.shtml>.

- [23] 赵秉强, 李凤超, 薛坚, 等. 不同耕法对冬小麦根系生长发育的影响 [J]. 作物学报, 1997, 23 (5): 587-596.
- [24] 王绍林, 和平根, 李春华, 等. 丽江市冬早马铃薯栽培技术 [J]. 中国马铃薯, 2010, 24 (5): 294-295.
- [25] 郑龙川. 龙海市冬种马铃薯高产栽培技术 [J]. 中国马铃薯, 2010, 24 (3): 145-147.
- [26] Jung H B, Xu H, Konishi H, et al. Role of nano-goethite in controlling U (VI) sorption-desorption in subsurface soil [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2016, 169: 80-88.
- [27] Hochella M F. Nanogeoscience: From origins to cutting-edge applications [J]. Elements, 2008, 4 (6): 373-379.

## Research Progress on the Effects of Fenlong Cultivation on Soil Properties and Crop Yield

Zhang Keyu<sup>1,2</sup> Chen Yanyun<sup>1,2</sup> Li Guoqi<sup>1,2</sup>

1. Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration in Northwest China, Ningxia University, Yinchuan;
2. Key Laboratory for Recovery and Restoration of Degraded Ecosystem in North-western China of Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan

**Abstract:** Different farming methods have different effects on soil physical and chemical properties. Reasonable farming methods can effectively improve soil water, fertilizer, gas and heat conditions, and improve soil fertility by physical means, so as to enhance the effect of increasing crop yield and improving quality. Fenlong cultivation can not only break the bottom of plough pan, but also make the soil soft and increase the content of soil and microaggregates, while the nutrient storage of small aggregates will be increased, which is more beneficial to the absorption of soil nutrients by crops. Compared with traditional farming, Fenlong cultivation, as a new type of soil farming method, can better the hardened and shallowed plough pan caused by long-term rotary tillage, improve the soil environment, and significantly increase the number of panicles per unit area, grain number per panicle and 1000-grain weight, which has a great influence on crop yield components, which is conducive to crop growth and development and increase yield.

**Key words:** Fenlong cultivation; soil properties; yield