

长期秸秆还田对玉米产量及效益的影响

刘晋平

(山东省邹平市魏桥镇人民政府, 山东邹平 256212)

摘要: 【目的】研究长期秸秆还田对玉米产量及效益的影响。【方法】在大田试验中, 共设置4个处理, 分别为CK (不秸秆还田)、T1 (秸秆覆盖还田)、T2 (秸秆粉碎直接还田)、T3 (秸秆过腹还田), 并研究不同处理下玉米产量、效益、土壤的化学性质以及酶活性。【结果】秸秆覆盖还田、秸秆粉碎直接还田、秸秆过腹还田处理均能有效提升玉米的产量, 其平均增产率分别为18.17%、14.18%、18.61%, 能够有效提高玉米经济效益, 其经济效益的平均增加率分别为27.72%、20.48%、34.11%。另外, 长期秸秆过腹还田还能够提升土壤内全氮含量、全磷含量、全钾含量、有效氮含量、有效磷含量、有效钾含量, 而长期秸秆粉碎直接还田能够提升土壤内全氮含量、全钾含量、有效氮含量、有效钾含量, 长期秸秆覆盖还田可提升土壤内有效氮含量以及有效钾含量。长期过腹还田可提升土壤内蔗糖酶活性、纤维素酶活性、脲酶活性、碱性磷酸酶活性, 而长期秸秆粉碎直接还田以及秸秆覆盖还田可提升土壤内蔗糖酶活性以及纤维素酶活性。【结论】长期秸秆还田可有效提升玉米产量及效益, 对其大力推广意义重大。

关键词: 秸秆还田; 玉米; 产量; 效益

高土壤肥力是实现作物高产的基础。农作物秸秆内含有丰富的氮元素、磷元素、钾元素、镁元素、钙元素以及硫元素等, 是农业生产过程中一项重要的肥料资源。长期以来, 因受到资金、技术以及农业生产特点等影响, 我国农作物秸秆并未得到有效利用, 多采取焚烧或者丢弃方式处理, 不仅造成严重的资源浪费, 同时引发了环境污染问题。对农作物秸秆进行还田处理可实现化肥减施, 达到提质增效的目的。近年来, 秸秆资源的综合利用已逐渐成为国内外研究热点。武均等^[1]发现对秸秆还田处理可有效改善土壤容重以及孔隙度, 实现土壤理化性状的优化, 强化土壤内水分、肥料、气体以及热量的供给, 进而实现作物产量的提升。徐燕等^[2]发现, 连续秸秆还田可有效提升土壤碱解氮 (AN)、有效磷 (AP)、速效钾 (AK) 含量, 同时连续还田效果明显优于隔年还田。基于此, 笔者分析了长期秸秆还田对玉米产量及经济效益的影响, 研究长期秸秆还田方式对种植地块土壤养分以及酶活性影响, 希望为秸秆还田技术在玉米生产中的应用提供技术支撑, 为玉米产业的可持续发展奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

长期秸秆还田试验于某固定地点开展。当地海

拔高度为1130m, 年平均气温为8.5℃, 超过10℃积温为3400℃。当地无霜期为131日, 年日照时长达到2861.4h, 年平均降水量为499.2mm, 当地降水主要集中在6-9月, 属于暖温带半湿润地区。试验地块地势平坦, 土层深厚, 地下水埋深超过了10m。耕作层土壤pH值为8.4, 有机碳含量达到了13.6g/kg, 全钾含量达到了14.10g/kg, 有效钾含量达到了95mg/kg, 全氮含量为1.06g/kg, 有效氮含量为76.40mg/kg, 全磷含量为1.78g/kg, 有效磷含量为2.80mg/kg。

1.2 试验设置

本研究共设置四个处理, 分别为:

(1) 秸秆不还田 (CK);

(2) 秸秆覆盖还田 (T1): 即收获前茬玉米后, 铡碎上茬覆盖尚未腐解的秸秆, 在秋季深耕时将其直接翻耕还田, 翌年整地后即可直接播种, 并均匀覆盖秸秆。

(3) 秸秆直接还田 (T2): 即收获前茬玉米后, 铡碎玉米秸秆至15cm长, 随即撒入田中, 将其翻入田间以直接还田, 在翌年整地后即可直接播种。

(4) 秸秆过腹还田 (T3): 即收获前茬作物后, 铡碎玉米秸秆饲喂家畜, 秋季深耕时, 在地面均匀施撒腐熟的湿家畜粪 (45 000kg/hm²), 结合秋季深耕将其翻入田间并直接还田, 翌年整地后即可直接播种。

上述4个处理分别设置3个重复, 每个试验小区

作者简介: 刘晋平, 本科, 农业经济师 (中级), 研究方向: 农业经济。

面积为54m²，共12个试验小区。

试验自2012年4月开始，所种植玉米为一年一熟。在2012–2015年种植玉米品种为烟氮14号；在2016–2019年，种植玉米品种为强盛21号；2019–2021年，种植玉米品种为晋单81号。在4月15–25日对玉米播种，9月20日–10月10日对玉米收获。在田间，玉米种植密度为52 500株/hm²。在各个小区内，采取相同的栽培管理措施，主要为除草及病虫害防治措施。上述各个处理秸秆还田量统一为6t/hm²。

对各个小区统一施肥，施肥量一般为150kg/hm²化肥N以及84kg/hm² P₂O₅。氮肥一般采取尿素（含N量为46%），而磷肥一般采取普通过磷酸钙（P₂O₅含量为14%）。收获前茬作物后结合秋季深耕施入肥料，在玉米生长过程中无需对其施肥及灌溉。

1.3 样品采集及测定

在每年的10月5日左右对玉米收获，分别对各个处理小区内玉米穗装袋并风干，脱粒后称重，对玉米籽粒产量进行计算。

在2021年10月，收获玉米后，采用对角线法分别于各个小区内采集土壤混合样品，土层深度为0–20cm，带回实验室后，将土壤内存在的植物残体以及石砾等去除，将土壤置于阴凉处晾干并妥善保存。

土壤有机碳含量测定方法为重铬酸钾容量法；土壤全氮含量测定方法为凯氏定氮法；土壤有效氮含量测定方法为扩散法；土壤全磷含量测定方法为硫酸高氯酸消煮–钼锑抗比色法；土壤有效磷含量测定方法为碳酸氢钠浸提–钼锑抗比色法；土壤全钾含量测定方法为火焰光度法；土壤纤维素酶及蔗糖酶活性测定方法为3，5–二硝基水杨酸比色法；土壤脲酶活性测定方法为苯酚钠–次氯酸钠比色法；土壤磷酸酶活性测定方法为磷酸苯二钠比色法。

1.4 数据处理

本实验所获取各处理采用Excel 2003及SPSS 20.0处理。

2 结果与分析

2.1 长期秸秆还田对玉米产量的影响

2012–2021年长期秸秆还田对玉米产量的影响见表1。从表1中可以看出，2012–2015年，玉米产量为4.56–8.47t/hm²；2016–2018年，玉米产量为2.56–8.32t/hm²；2019–2021年，玉米产量为5.81–9.13t/hm²。秸秆覆盖还田、秸秆粉碎直接还田、秸秆过腹还田具备一定的增产效果。其中，除2015年外，其余9年过腹还田处理玉米产量明显高于无还田处理，在2015年，四个处理间不存在显著差异。对于秸秆覆盖还田处理，2012年、2015年、2019年三年玉米产量与无还田处理差异不显著，其余年份差异显著，高于无还田处理；对于秸秆粉碎直接还田处理，除2015年、2019年外，其余年份玉米产量明显高于无还田处理。

秸秆覆盖还田、秸秆粉碎直接还田、秸秆过腹还田三处理玉米累计产量均明显高于无还田处理，其中以秸秆过腹还田处理玉米产量为最高，达到了73.10t/hm²，秸秆覆盖还田与秸秆粉碎直接还田二者差异不显著。相较于不还田处理，秸秆覆盖还田、秸秆粉碎直接还田、秸秆过腹还田三种处理方式田间玉米的增产率分别为18.17%、14.18%及18.61%。

2.2 长期秸秆还田处理对玉米经济效益的影响

长期秸秆还田处理对玉米经济效益的影响见表2。从表2中可以看出，长期秸秆还田可以有效提高玉米种植的经济效益，其中2012–2021年，无秸秆还田处理（CK）玉米的经济效益为–1231~4731元/hm²，秸秆覆盖还田处理（T1）玉米的经济效益为–327–6451元/hm²，秸秆粉碎直接还田（T2）玉米的经济效

表1 长期秸秆还田对玉米产量的影响

	产量 (t/hm ²)										累计产量 (t/hm ²)	增加
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021		
CK	6.43b	7.72b	4.56b	7.79a	6.54b	2.56b	6.23b	6.93b	7.06c	5.81c	61.63b	
T1	6.67b	8.47a	6.47a	7.76a	8.32a	3.58a	7.09a	7.11b	10.26a	7.10a	71.83b	18.17%
T2	7.13a	8.15a	6.23a	7.99a	7.83a	3.42a	6.80a	7.28b	8.45b	6.79b	70.37b	14.18
T3	7.42a	8.43a	6.06a	8.38a	8.03a	3.40a	6.91a	9.13a	8.04b	7.30b	73.1a	18.61

注：同列不同小写字母表示不同处理间存在显著差异（P<0.05），以下同。

益为-598元/hm²-5944元/hm²，秸秆过腹还田（T3）玉米的经济效益为-834-6253元/hm²。秸秆覆盖还田、秸秆粉碎直接还田、秸秆过腹还田三个处理玉米的累计经济效益明显高于无还田处理，其中秸秆过腹还田处理玉米累计经济效益最高，达到38 911元/hm²，其余依次为秸秆覆盖还田T1处理（37 058元/hm²）、

秸秆粉碎直接还田T2处理（34 957元/hm²）。相较于无秸秆还田处理，秸秆过腹还田处理玉米经济效益增加了34.11%，秸秆覆盖还田处理玉米经济效益增加了27.72%，秸秆粉碎直接还田处理玉米经济效益增加了20.48%。由此可以看出，长期秸秆还田处理能够有效提升玉米的种植经济效益。

表2 长期秸秆还田处理对玉米经济效益的影响

	经济效益（元/hm ² ）										累计效益 （元/hm ² ）	增加
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021		
CK	1527	2731	2349	6118	3471	-1231	3249	3504	2584	4713	29015	
T1	1591	3141	4494	5925	4424	-327	3022	3468	4869	6451	37058	27.72%
T2	1836	2937	4210	6211	3592	-598	2953	4015	3857	5944	34957	20.48%
T3	1855	2936	4821	6471	4798	-834	3423	5321	3867	6253	38911	34.11%

注：玉米经济效益=总价值（玉米籽粒产值+玉米副产品产值）-总成本（物质投入费用+农业机械作业费用+用工价+税金等）。

2.3 长期秸秆还田处理对土壤土层化学性质的影响

长期秸秆还田处理对不同土层化学性质的影响见表3。从表3中可以看出，不同处理土壤有机碳、全氮、全磷、全钾、有效磷、有效氮、有效钾含量均存在显著差异。从土壤有机碳含量来看，秸秆覆盖还田、秸秆粉碎直接还田、秸秆过腹还田三者间不存在显著差异，但是明显高于无秸秆还田处理；从土壤全氮含量来看，秸秆粉碎直接还田与秸秆过腹还田二者间差异不显著，但是明显高于无秸秆还田处理以及秸秆覆盖还田处理；从土壤全磷含量以及全钾含量来看，秸秆过腹处理土壤全磷以及全钾含量明显高于其余三者，其余三处理间差异不显著；从土壤有效氮以及有效钾含量来看，秸秆过腹还田土壤含量最高，接着为秸秆覆盖还田以及秸秆粉碎直接还田，二者间差异不显著，不还田处理土壤有效氮及有效钾含量最低；从土壤有效磷含量来看，以秸秆过腹还田含量最高，其余三个处理间差异不显著。由此可以看出，长

期秸秆还田处理可以有效提升土壤内有机碳、全氮、全磷、全钾、有效氮、有效磷以及有效钾含量。

2.4 长期秸秆还田处理对土壤酶活性的影响

长期秸秆还田处理对土壤酶活性的影响见表4。从表4中可以看出，不同处理土壤内蔗糖酶活性存在显著差异，其中秸秆过腹还田处理土壤蔗糖酶活性最高，达到了42.17mg（glucose）·24h⁻¹·g⁻¹，秸秆覆盖还田及秸秆粉碎直接还田处理土壤蔗糖酶活性差异不显著，但均高于无还田处理，无还田处理土壤蔗糖酶活性为最低；不同处理土壤纤维素酶活性存在显著性差异，其中以秸秆粉碎直接还田土壤纤维素酶活性为最高，达到了1.53mg（glucose）·72h⁻¹·g⁻¹，秸秆覆盖还田以及秸秆过腹还田二处理间差异不显著，但均高于不还田处理，不还田处理土壤内纤维素酶活性为最低；不同处理土壤脲酶活性存在显著性差异，其中以秸秆过腹处理土壤脲酶活性为最高，达到了2.15mg（NH₃-N）·24h⁻¹·g⁻¹，其余三个处理间差异

表3 长期秸秆还田处理对土壤化学性质的影响

	有机碳 （g/kg）	全氮 （g/kg）	全磷 （g/kg）	全钾 （g/kg）	有效氮 （mg/kg）	有效磷 （mg/kg）	有效钾 （mg/kg）
CK	16.57±0.61b	1.23±0.02b	0.86±0.02b	18.28±0.35b	54.77±0.51c	29.99±0.91b	60.61±1.32c
T1	17.64±0.65a	1.27±0.06b	0.87±0.05b	19.03±0.63b	60.44±2.41b	33.22±0.61b	78.11±2.41Bb
T2	18.84±0.88a	1.38±0.03a	0.81±0.05b	19.78±0.34b	60.44±0.67b	33.41±0.78b	81.61±1.61b
T3	18.71±0.91a	1.38±0.05a	1.02±0.03a	22.04±0.31Aa	73.42±0.33a	74.83±0.56a	130.61±2.09a

表4 长期秸秆还田处理对土壤酶活性的影响

	蔗糖酶活性 mg (glucose) · 24h ⁻¹ · g ⁻¹	纤维素酶活性 mg (glucose) · 72h ⁻¹ · g ⁻¹	脲酶活性 mg (NH ₃ -N) · 24h ⁻¹ · g ⁻¹	碱性磷酸酶活性 mg (phenol) · 24h ⁻¹ · g ⁻¹
CK	19.61±0.23c	0.72±0.05c	1.74±0.21b	0.28±0.02b
T1	31.34±0.15b	1.10±0.03b	1.82±0.27b	0.31±0.01b
T2	26.90±0.33b	1.53±0.02a	1.98±0.32b	0.29±0.03b
T3	42.17±0.56a	1.01±0.01b	2.15±0.33a	0.35±0.02a

不显著；不同处理土壤碱性磷酸酶活性存在显著差异，其中以秸秆过腹处理土壤碱性磷酸酶活性为最高，达到了 $0.35\text{mg (phenol)} \cdot 24\text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ，其余三者间差异不显著。由此可以看出，秸秆还田处理可以有效提升土壤蔗糖酶活性、纤维素酶活性、脲酶活性以及碱性磷酸酶活性。

3 讨论

土壤内有机碳是实现作物高产以及稳产的一项重要条件，能有效提升和维持土壤内有机碳含量，促进农业实现可持续发展。在农田内，土壤内有机碳的固定过程尤为复杂，气候、土壤条件、耕作以及施肥等多个因素均会在一定程度上影响有机碳的固定。植物残体在进入土壤以后，会成为土壤内有机碳固定的一个重要影响因素。本研究结果表明，三种秸秆还田处理方式均可有效提升0–20cm土层内土壤有机碳含量，这与陈鲜妮等^[1]的研究结果相一致，其发现使用秸秆还田以及秸秆过腹后的厩肥还田，土壤内有机碳含量明显提高。武均等^[2]同样发现，秸秆直接还田能有明显提高土壤内有机碳含量以及储量。本研究发现，秸秆直接还田以及过腹还田可将土壤内有机碳含量提高13%左右，而秸秆覆盖还田方式仅可提升6%左右，这主要是因为不同秸秆还田模式内碳源供应方式不同。采取长期过腹还田方式时，因施入新鲜的牛粪以及秸秆残体的直接还田，其有机质外源供应量较大，可显著提升土壤内有机碳含量；而在秸秆覆盖还田时，由于其会在地表造成“低温效应”，导致其微生物活动受到影响，有机质矿化以及分解放缓，最终导致土壤内有机质含量受到了一定影响。另外，在秸秆还田后，玉米生产水平明显提升，这样可显著增多玉米根系，玉米收割后，残存的根系也有利于增加土壤内有机碳含量。由此可以看出，在玉米生产中，长期秸秆还田均可以有效提升土壤内有机碳含量。

在作物生长发育过程中，农田内土壤养分可为作物提供其所必须的各种营养元素，其直接决定着土壤肥力的高低。而将秸秆还田后，可为作物提供养分，为农业可持续发展以及生态平衡的维护奠定基础。本研究表明，长期过腹还田能够显著提升土壤内全氮含量、全磷含量、全钾含量、有效氮含量、有效磷含量以及有效钾含量，秸秆粉碎直接还田可显著提升土壤内全氮含量、有效氮含量以及有效钾含量。这与以往的研究存在一定差异，例如赵士诚等^[3]发现随着秸秆直接还田用量的增加，土壤内全氮含量以及全磷含量有所提高，但是全钾含量并无影响，而徐燕等^[4]发现，长期秸秆直接还田可有效提升土壤内无机氮含量、有效磷含量、有效钾含量。农作物内包含大量的氮元素、磷元素以及钾元素，长期的秸秆还田意味着连年向土壤内补充包含有氮、磷、钾的有机物，这将显著影响土壤内氮、磷、钾含量。土壤内植物残体的输入能够转化其中可溶性物质，进而提升土壤内养分的可利用性。秸秆覆盖还田主要是利用秸秆的降解以引发下层土壤的淋溶作用。由此可以看出，长期秸秆直接还田以及过腹还田更易对土壤内养分含量以及有效性造成深远影响。

土壤内酶活性可表明土壤内生物化学反应的强度以及方向，决定着土壤内养分循环以及能量转化，是土壤生态环境的一个重要表征指标，利用其可预测土壤内养分转化以及肥力演变趋势。本研究表明，秸秆过腹还田能够显著提升土壤内蔗糖酶活性、纤维素酶活性、脲酶活性以及碱性磷酸酶活性，而覆盖还田以及粉碎直接还田仅可提升蔗糖酶活性以及纤维素酶活性。需注意，在本研究当中，土壤蔗糖酶活性、脲酶活性以及碱性磷酸酶活性对过腹还田存在较大响应，而土壤内纤维素酶活性对秸秆直接还田存在较大响应。在参与土壤内有机质、物质转化以及能量交换时，土壤酶活性除共性关系外，更多的是专一性。在

秸秆还田后, 土壤内酶活性的提高主要是由于土壤内酶促反应底物量的增加。

在植物生长发育过程中, 土壤内养分、微生物以及酶均是不可缺少的因素, 各个因素的协同作用可推进玉米高产优质。在本研究当中, 10年的秸秆覆盖还田、秸秆粉碎直接还田、秸秆过腹还田对玉米的平均增产率分别为18.17%、14.18%、18.61%。土壤内蔗糖酶的存在可促进蔗糖分子内果糖基 β -葡萄糖苷碳键断裂, 使蔗糖分子水解为葡萄糖, 提升土壤内易溶性物质的含量。由此可以看出, 在持续秸秆还田时, 土壤酶活性以及作物的产量二者密切相关。

4 结论

秸秆覆盖还田、秸秆粉碎直接还田、秸秆过腹还田处理均能有效提升玉米的产量, 其平均增产率分别为18.17%、14.18%、18.61%, 能够有效提高玉米种植的经济效益, 其经济效益的平均增加率分别为27.72%、20.48%、34.11%。另外, 长期秸秆过腹还田还能够提升土壤内全氮含量、全磷含量、全钾含量、有效氮含量、有效磷含量、有效钾含量, 而秸秆

直接还田能够提升土壤内全氮含量、有效氮含量、有效钾含量, 长期秸秆覆盖还田可提升土壤内有效氮含量以及有效钾含量。长期过腹还田可提升土壤内蔗糖酶活性、纤维素酶活性、脲酶活性、碱性磷酸酶活性, 而秸秆直接还田以及秸秆覆盖还田仅可提升土壤内蔗糖酶活性以及纤维素酶活性。

参考文献

- [1] 陈鲜妮, 岳西杰, 葛玺祖, 等. 长期秸秆还田对壤土耕层土壤有机碳库的影响[J]. 自然资源学报, 2012, 27(1): 25-32
- [2] 武均, 蔡立群, 罗珠珠, 等. 保护性耕作对陇中黄土高原雨养农田土壤物理性状的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(2): 112-117.
- [3] 赵士诚, 曹彩云, 李科江, 等. 长期秸秆还田对华北潮土肥力、氮库组分及作物产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1441-1449.
- [4] 徐燕, 霍仕平, 邱诗春, 等. 玉米秸秆还田对土壤理化特性影响的研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(23): 87-92.

科技文摘

20230401 基于改进Logistic方程预测真菌生长和分解速率的数学模型//DOI: 10.25165/j.ijabe.20231601.7405

随着真菌分解的作用在全球碳循环中的研究日益深入, 探索真菌种群的分解速率具有重要意义。该研究逐步分析了环境因素与生物多样性的关系。为了探索真菌之间的相互作用以及真菌的分解速率与时间的关系, 在有限资源环境中两种真菌共存的情况下, 建立了基于Logistic方程的改进模型。通过该模型可以预测不同环境条件下真菌组合的种群数量和分解速率的变化趋势。为了说明该模型的适用性, 以松柏毒蛾(*Laetiporus conifericola*)和丝足毒蛾(*Hyphoderma setigerum*)两种真菌为例进行了研究。结果表明, 种群多样性程度越高, 分解速率越大, 生态系统分解效率越高。丰富的物种多样性有利于加速凋落物、木质纤维素分解, 以及整个生态系统循环。基于上述模

型, 使用在标准化实验室条件下在10℃、16℃和22℃下测量的菌丝伸长速率数据, 模拟了五种真菌组合的生长模式。结果显示, 随着温度升高, 生长率普遍增加, 这验证了模型准确性。此外, 还揭示了真菌掺入后的总分解速率与真菌单一作用的分解速率呈负相关。基于上述模型, 可以对不同环境中的真菌生长进行预测, 并可以确定适合真菌生长的环境。未来可以进一步优化模型, 加入木质素和纤维素分解因子来拟合原木分解。该模型的应用场景可以进一步拓宽, 有助于生态环境修复和管理, 在真菌辅助全球碳循环和土壤问题修复领域产生良好效用。

[编译自: Pan J Y, Le W X, Wang Z A, Chen J. Mathematical model for predicting fungal growth and decomposition rates based on improved Logistic equations. *Int J Agric & Biol Eng*, 2023; 16(1): 60-65.]