

施用生物炭对玉米产量影响的 Meta 分析

陆 萍 罗 莉 齐婷婷 潘韩熠 李卓文 王景伟

黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院,黑龙江 大庆 163319

摘要:为定量研究生物炭对玉米产量的影响,收集国内外已公开发表的相关文献 225 篇,最终保留 8 篇文献共 18 组数据,在不同种植地区、不同施炭量下采用 Meta 分析方法研究生物炭施用对玉米产量的影响。结果表明:异质性检验的 $I^2=58.1\%>50\%$, $p=0.001<0.1$,纳入的研究有较高的异质性,因此选择随机效应模型,偏倚检验 $p=0.769>0.05$,表明纳入的数据无发表偏倚。分析施用生物炭对玉米产量的影响,变化率 $E=11.63\%$,说明施用生物炭能够显著提高玉米产量,幅度达 11.63% (95% CI: $8.33\%, 17.35\%$)。不同种植地区施用生物炭后,华中地区增产率最高,达 46.23% (95% CI: $25.86\% \sim 69.89\%$)。施加生物炭量增加,玉米产量也会增加,施炭量大于 40 t/hm^2 时,增产率达到 15.03% (95% CI: $5.13\% \sim 25.86\%$)。得出结论如下:生物炭的施用显著增加了玉米产量。

关键词:Meta 分析;生物炭;玉米;产量

中图分类号:S513

DOI: 10.3969/j.issn.2097-065X.2024.07.023

0 引言

玉米是我国最重要的三大粮食作物之一,其产量对保证我国粮食安全和农业可持续发展有着至关重要的作用^[1]。当前在农业生产中,为了提高产量,常常出现化肥和农药过度使用等问题,造成土壤质量持续下降,对玉米产量构成了严重威胁,已成为制约农业绿色发展的瓶颈^[2]。因此,寻找一种能够改善土壤质量、提高玉米产量的生态友好型方法显得尤为重要。

基金项目:大学生创新创业训练计划项目(S202310223063);黑龙江八一农垦大学博士科研启动项目(XDB 2015-25)

生物炭(Biochar)作为一种新型土壤改良剂,具有提高土壤有机质含量、改善土壤结构、增强土壤保水保肥能力等优点,有助于植物生长^[3]。生物炭是由生物残体在一定炭化温度条件下(900°C)限氧或缺氧条件下热解形成富碳固体产物^[4],其原料来源丰富,不以消耗不可再生资源和损害生态环境为代价,具有低成本、可再生、可持续的优势,其富碳多微孔结构,可作为载体、基质等“构架性”功能材料,发挥稳定的“结构重建”或“构相改良”作用^[5]。生物炭独特的来源、结构、特性及功效优势,使其有别于其他同类材料,具有显著的经济、生态和社会效益,发

况、底肥的施用量、小麦的生长状况以及当地的天气条件进行综合判断及调整。

3 结语

小麦种植过程中的施肥技术是确保高产高质小麦的关键。了解不同阶段小麦的生长情况,并在此基础上拟定施肥方案。通过科学分析小麦的养分需求、精确计算施肥量等技术应用,可以有效提高肥料利用率,降低环境负担。本研究强调了在小麦种植过程中应用科学施肥技术的重要性,为提升小麦种植效率和可持续性提供了理论依据。展望未来,通过进一步的研究和技术创新,有望在保障粮食安全的同时,实现农业生产的环境友好及资源高效利用。

参考文献:

- [1] 裴俊虎,张春颖. 探析小麦种植过程中的施肥技术应用要点[J]. 吉林蔬菜, 2022(2): 178.
- [2] 赵伟伟. 小麦施肥特点和技术[J]. 种子科技, 2023, 41(24): 121-123, 132.
- [3] 李瑞雪. 浅谈绿色小麦种植及田间管理技术推广[J]. 新农业, 2023(14): 9-10.
- [4] 韩同进,孟自力. 多元复配拌种剂对小麦病虫害防治效果及幼苗生长的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2023, 40(4): 44-49, 54.
- [5] 李越杰. 浅谈小麦施肥及病虫害防治技术[J]. 河北农业, 2023(5): 72-73.
- [6] 赵玲娟. 小麦种植过程中的需肥特性及施肥技术探究[J]. 种子科技, 2022, 40(5): 100-102.

作者简介:赵敬强,男,1981年生,助理农艺师。研究方向为农业技术。

展潜力和应用空间巨大^[6]。近年来,越来越多的研究开始关注生物炭对农作物产量的影响。然而,关于生物炭对玉米产量影响的研究结果并不一致,这可能与生物炭的制备工艺、施用量、所在地区自然条件、管理措施以及土壤类型等因素有关。

Meta 分析是一种统计学方法,可以整合多个研究的结果,得出更为可靠的结论,为现代科学研究提供有利依据^[7]。本研究以生物炭施用量为干预措施,以玉米种植区、降水量、施炭量等为亚组,以玉米产量为结局指标,对已发表的相关研究成果进行全面系统的评价,为生物炭对玉米产量的影响研究提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 实验来源

检索知网、万方、维普、PubMed、Google Scholar、Web of science 等数据库,中文检索词为“生物炭”“玉米”“产量”,英文检索词为“biochar”“corn”“production impact”等,检索时间为 2003 年 1 月至 3 月,检索范围为学术期刊、学位论文和会议论文等,采用主题词联合自由词的方法进行数据库检索。

1.2 纳入标准

(1)中文或英文文献;(2)均包含生物炭对玉米产量的影响;(3)试验包括试验地区、年平均降水量、施炭量等数据;(4)研究设计采用随机对照试验;(5)文中均列出处理与对照的产量均值、标准差(或标准误)、样本量。

1.3 提取要素

(1)篇名、第一作者、年份;(2)提取文章中与试验密切相关的信息,试验背景中的试验地区,气候条件,归纳出分类亚组:试验地区、年平均降水量(mm)、施炭量(t/hm²);(3)重要指标为施炭量对玉米产量的平均值、标准差、样本量^[4,8]。

1.4 统计分析

1.4.1 各观察指标数据的处理

计算均值比 In R 和方差 V_{lnR},再计算出标准差,将计算结果导入 Stata15.0 软件进行单臂连续型变量的统计分析,以 95% 置信区间(Confidence Interval,CI)为统计分析效应量,各观察指标分析结果绘制 Meta 分析森林图、柱形图。

(1)对数反应比^[8]:

$$\ln R = \ln \frac{\overline{X}_t}{\overline{X}_c} = \ln \overline{X}_t - \ln \overline{X}_c \tag{1}$$

其中, \overline{X}_t 为处理平均值; \overline{X}_c 为对照平均值。

(2)方差的计算公式:

$$V_{\ln R} = \frac{s_t^2}{n_t \overline{x}_t^2} + \frac{s_c^2}{n_c \overline{x}_c^2} \tag{2}$$

对该方差开方,得到标准差用于统计分析。

(3)效应值转化为百分比 E 的计算公式:

$$E = \frac{\overline{X}_t - \overline{X}_c}{\overline{X}_c} \times 100\% = (\exp^{(\ln R)} - 1) \times 100\% \tag{3}$$

如果 E 的 95% 的 CI>0,则认为生物炭对玉米增产有显著的促进作用($p<0.05$),即 \overline{X}_t 显著高于 \overline{X}_c ;如果 E 的 95% 的 CI<0,则认为生物炭对玉米有显著的减产作用($p<0.05$);如果 E 的 95% 的 CI 包含 0,则认为无显著作用。

1.4.2 异质性检验

采用 Q 值和 I-Squared(I²)值统计量检验法对纳入的研究进行异质性检验。根据异质性检验的结果决定 Meta 分析模型的选择。当各研究之间异质性较小(I²≤50%, $p>0.10$)时使用固定效应模型分析,异质性较大(I²>50%, $p\leq 0.10$)时,使用随机效应模型进行分析。

1.4.3 偏倚检验

发表偏倚是小样本数据效应的一种常见现象,通过漏斗图判断研究数据是否存在偏倚,若图中散点分布疏密不均,散布于漏斗外,则说明存在发表偏倚;使用 Egger's 检验定量检验发表偏倚,当 $p<0.05$ 时,表示存在发表偏倚。

2 结果与分析

2.1 文献筛选结果

共检索相关文献 225 篇,初步筛除文献 111 篇,对剩余 114 篇文献进一步阅读,按纳入标准保留数据完整的 8 篇文献^[9-16]。

2.2 纳入研究概况

纳入文献研究对象均为玉米。从以上随机对照试验中提取 18 组实验数据,对照组施炭量均为 0,试验组为生物炭不同施用量处理。对纳入研究以种植地区、年均降水量、施生物炭量为亚组分类指标,并对不同亚组指标进行编码,见表 1。

表 1 变量分类指标

编码	地区	降水量(mm)	施炭量(t/hm ²)
1	华北	≤400	≤20
2	东北	>400	20~30
3	西北		>30
4	华中		

2.3 Meta 分析结果

2.3.1 生物炭对玉米产量影响的 Meta 分析

将所有数据纳入 Stata 15.0 软件进行异质性检验,结果显示: $I^2=58.1\%>50\%$, $p=0.001<0.1$,表明纳入的研究有较高的异质性,因此选择随机效应模型,森林图见图 1。对纳入的文献采用漏斗图进行偏倚检验,见图 2,多数研究点均分布在漏斗内,均匀散布在中线两侧,上密下疏,初步判断无发表偏倚;进一步做 Egger's 偏倚检验, $p=0.769>0.05$,表明纳入的数据无发表偏倚。

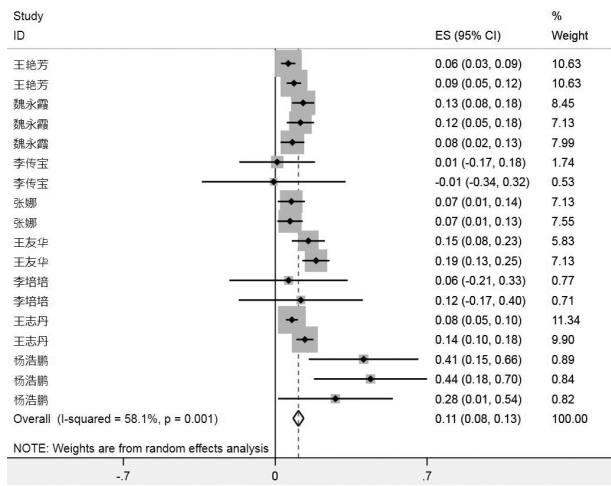


图 1 生物炭对玉米产量影响的森林图

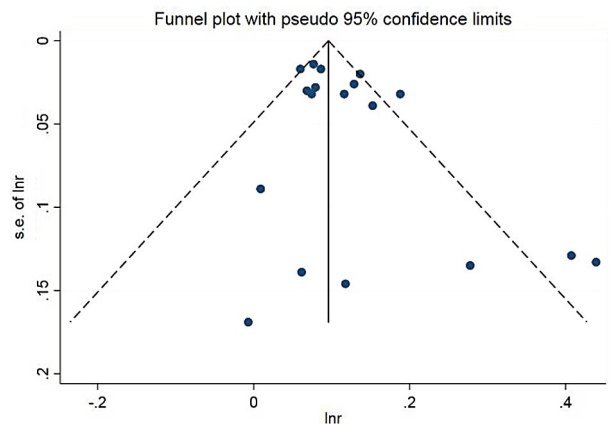


图 2 生物炭对玉米产量影响的漏斗图

ES 为合并后的效应值 $\ln R=0.11$,95% 的 CI 为(0.08,0.16)。把 $\ln R$ 转化为变化率 E ,计算得 $E=11.63\%$,表明施用生物炭能够使玉米提高 11.63%产量,其 95% 的 CI 为(8.33%,17.35%),未经过零点,说明施用生物炭后产量显著增加。

2.3.2 不同亚组对玉米施用生物炭增产影响的 Meta 分析

经回归分析,降水量组间异质性不显著,只进行种植地区和生物炭施用量的亚组分析。

(1)不同种植地区的影响。以种植地区为控制因素进行亚组分析,其异质性和偏倚检验结果见表

2,华北和西北地区的研究数据异质性稍大,其他地区均无异质性,究其原因,生物炭对作物产量的影响研究历史较短,可获取数据的文献量相对较少。各种植地区研究数据均无发表偏倚。

表 2 生物炭施用对不同地区玉米产量影响的异质性和偏倚检验

地区	P_Q	$I^2(\%)$	P_E
华北	0.010	67.0	0.410
东北	0.493	0.00	0.221
西北	0.070	57.5	0.995
华中	0.665	0.00	0.578

注: P_Q 表示 Q (卡平方)统计量的显著性; I^2 表示 I^2 统计量值, P_E 表示 Egger's 检验法发表偏倚统计量的显著性,下同。

不同种植地区施用生物炭对玉米产量均有显著提高作用,以华中地区增产率最高,达 46.23%(95% CI: 25.86%~69.89%),华北地区次之,为 11.63%(95% CI: 6.18%~17.35%),东北地区为 10.52%(95% CI: 7.25%~15.03%),西北地区为 9.42%(95% CI: 6.18%~13.88%),见图 3。

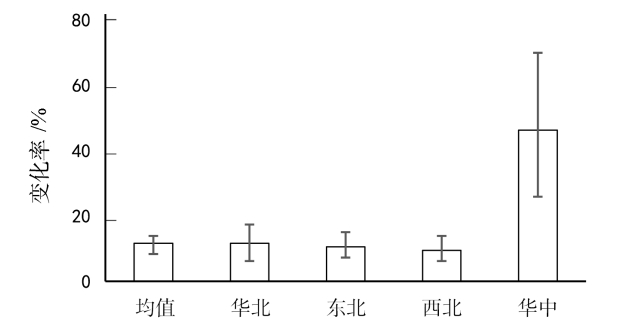


图 3 不同种植地区施用生物炭对玉米增产的变化率

(2)不同生物炭施用量的影响。对不同施炭量进行亚组分析,其异质性和偏倚检验结果见表 3,施炭量 20~30 t/hm² 数据组无异质性,其他组有轻异质性,各组施炭量数据均无发表偏倚。

表 3 不同生物炭施用量对玉米产量影响的异质性和偏倚检验

施炭量(t/hm ²)	P_Q	$I^2(\%)$	P_E
≤20	0.031	54.6	0.252
20~30	0.071	48.4	0.534
>40	0.014	76.6	0.578

生物炭施用量不同,对玉米产量影响各不相同。整体表现如下:随着生物炭施用量的增加,玉米产量持续增加,其中施炭量≤20 t/hm² 时,增产率为 9.42%(95% CI: 6.18%~13.88%),施炭量 20~30 t/hm² 时,增产率为 11.63%(95% CI: 7.25%~17.35%),施炭量>40 t/hm² 时,增产率为 15.03%(95% CI: 5.13%~25.86%),见图 4。

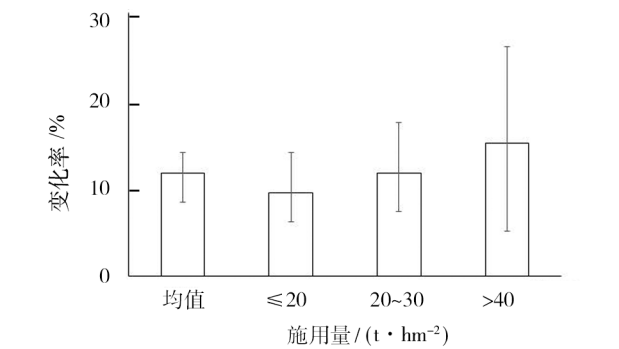


图 4 生物炭施用量不同对玉米增产的变化率

3 讨论

通过 Meta 分析发现,施加生物炭会显著提高玉米产量,产量受到玉米种植地区、施炭量等因素影响,不同亚组均显著增加了玉米产量。但研究文献中,有些亚组存在异质性,这可能与文献数量相对较少,以及玉米品种、土壤类型、种植方式、土壤有机质含量、管理措施等条件不同有关^[17]。后续研究中,随着研究数量的增加,通过补充文献数量,会降低异质性。以往研究发现,生物炭可以显著增加玉米产量,但各种控制因素不同,玉米产量增加的幅度不同^[18],这些因素包括种植地区、施炭量等。

本研究也存在以下局限性:(1)Meta 分析对数据信息量要求较高,但生物炭对作物产量的研究历史较短,文献数量不足,尤其是可提取数据的文献量不足,故结论的应用需慎重;(2)影响玉米产量的因素很多,包括土壤类型、种植方式、土壤有机质含量、管理措施等,本文纳入的研究以上因素各不相同。尽管如此,本文仍然可为生物炭对作物产量的影响提供理论依据。

参考文献:

[1] 侯贤清,李荣,韩清芳,等. 轮耕对宁南旱区土壤理化性状和旱地小麦产量的影响[J]. 土壤学报,2012,49(3): 592-600.

[2] GUO R Y, MIAO W, FAN C Y, et al. Exploring optimal nitro-gen management for high yielding maize in arid areas via 15Nlabeled technique [J]. Geoderma, 2021,38(2):114.

[3] 陈温福,张伟明,孟军. 生物炭与农业环境研究回顾与展望[J]. 农业环境科学学报,2014,33(5):821-828.

[4] 肖婧,徐虎,蔡岸冬,等. 生物质炭特性及施用管理措施对作物产量影响的整合分析[J]. 中国农业科学,2017,

50(10):1827-1837.

[5] 张玲椿,张馨月,高强,等. 基于 Meta 分析的我国华北地区氮肥施用对玉米增产效应研究[J]. 四川农业大学学报,2022,40(4):550-557.

[6] 陈键. 秸秆生物质转化为生物炭还田的固碳效益及其经济性研究[D]. 上海:上海交通大学,2020.

[7] 于滨杭,姬建梅,王丽学,等. 中国主粮作物生物炭产量效应的 Meta 分析 [J]. 环境科学,2023,44(1): 520-530.

[8] 杨竣皓,骆永丽,陈金于,等. 秸秆还田对我国主要粮食作物产量效应的整合(Meta)分析 [J]. 中国农业科学,2020,53(21):4415-4429.

[9] 魏永霞,朱畑豫,刘慧,等. 连年施加生物炭对黑土区土壤改良与玉米产量的影响[J]. 农业机械学报,2022,53(1):291-301.

[10] 王艳芳,李乾云,悦飞雪,等. 生物炭对豫西旱作玉米花后穗位叶光合生理特性及产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报,2021,49(11):125-133.

[11] 张娜,李佳,刘学欢,等. 生物炭对夏玉米生长和产量的影响[J]. 农业环境科学学报,2014(8):1569-1574.

[12] 李传宝,孟雨田,李晓庆,等. 生物质炭对玉米生长发育、产量及白浆土理化性状的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(8):56-60.

[13] 李培培,韩燕来,金修宽,等. 生物炭对砂质潮土养分及玉米产量的影响 [J]. 土壤通报,2014,45(5): 1164-1169.

[14] 王友华,许波,许海涛,等. 生物炭对夏玉米形态指标、生理特性和产量性状的影响[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2017,33(5):1-7.

[15] 杨浩鹏,李飞跃,索改弟,等. 生物炭配施化肥对土壤理化性质、氮素利用率和玉米产量的影响[J]. 安徽科技学院学报,2020,34(6):53-58.

[16] 王志丹,代晓华,刘吉利,等. 生物炭对宁夏干旱地区玉米生长及产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2022,57(1):4-82.

[17] 陆欣春,郑永照,陈旭,等. 施生物炭和有机肥对白浆土理化性质和玉米产量的影响[J]. 玉米科学,2021,29(6):137-143.

[18] 郭书亚,尚赏,张艳,等. 生物炭施用五年后对土壤生物化学特性及夏玉米产量的影响[J]. 土壤与作物,2022,11(3):290-297.

作者简介:陆 萍,女,2004 年生。研究方向为生物科学。王景伟(通讯作者),男,1973 年生,博士,副教授。研究方向为数据分析、试验设计等。