

赵亚慧, 贺笑, 王宁, 等. 不同理化调控措施缓解麦秸对水稻生长负面效应[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(18): 300–305.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.18.057

不同理化调控措施缓解麦秸对水稻生长负面效应

赵亚慧¹, 贺笑^{1,2}, 王宁¹, 赵颖¹, 杨四军¹, 周枫¹, 于建光^{1,2}

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏南京 210014; 2. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏南京 210095)

摘要: 稻麦轮作系统中, 麦秸还田产生的有害物质可对下茬作物产生不利影响, 有效减缓其负效应对植株生长尤为重要, 合理的苗床环境是减缓麦秸还田负效应的关键。通过盆栽模拟试验, 采用不同调理剂(生物炭、粉煤灰等)和不同耕作措施(秸秆深埋、多次旋耕等), 筛选适宜减缓麦秸还田负效应的理化措施。结果表明, 施用生物炭和过氧化钙能提高过氧化物酶、超氧化物酶活性, 无水层处理增加了植株丙二醛、脯氨酸含量; 对苗床进行多次旋耕处理优于添加生物炭和有氧肥料等调控技术, 减缓了麦秸还田后对水稻生长发育的抑制作用, 但未恢复到对照水平。麦秸还田深埋处理可显著提高株高、叶面积, 促进根系形态发育, 利于水稻生长。

关键词: 理化措施; 麦秸; 水稻; 秸秆还田; 调理剂; 耕作措施; 负面效应

中图分类号: S154.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)18-0300-06

秸秆还田作为一种保护性耕作措施因具有良好的农业效应和生态效应近年来被广泛应用^[1-2]。在我国长江中下游稻麦轮作区, 作物收获后产生大量的秸秆, 大面积实施秸秆直接还田技术易对下茬作物产生负面影响, 加大病虫害发生风险^[3]; 同时, 秸秆腐解产生的毒害物质(如酚酸等)可产生化感效应, 抑制水稻生长发育, 最终会造成作物减产^[4]。近年来土壤调理剂和合理的耕作方式为减缓秸秆还田负效应开拓了新思路。有关土壤调理剂的研究表明, 生物炭可优化水稻根系形态, 提高水稻根冠比, 增强水稻生理功能^[5-6]; 煤粉灰能够改善土壤结构, 促进作物根系生长^[7]; 施用生物质焦能提高水稻生育前期土壤温度, 促进水稻干物质积累, 提高水稻产量^[8]。麦秸深埋会影响秸秆腐解速率和养分释放, 适宜深埋可促进水稻生长和产量提高^[9]。本试验采用土培法育秧, 在秧苗移栽后对苗床进行理化性状调控, 以期在降解酚酸类物质的同时改善土壤理化性状, 进而减缓麦秸还田负效应, 为大田栽培提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2015 年在江苏省农业科学院资源与环境研究所人工气候室开展。供试小麦秸秆选取成熟干燥未腐烂小麦秸秆, 粉碎至 2~5 cm 备用。供试土壤采自江苏省宜兴市周铁镇章茂村, 土壤基础性质为 pH 值 6.3、有机质含量 26.89 g/kg、全氮含量 2.26 g/kg、碱解氮含量 174.80 mg/kg、有效磷含量 10.55 mg/kg、速效钾含量 107.47 mg/kg。水稻品种选用南粳 9108。

1.2 试验设计

试验共设 8 个处理, 每个处理重复 3 次(表 1)。采用土培法育秧, 所用育秧盆钵长 31 cm、宽 23 cm、高 10 cm, 苗床施用适量化肥和有机肥, 水稻种子经浸种催芽后播种移栽后所用盆钵(直径 15 cm×高 13 cm)培养 20 d。每盆钵装风干土 1 kg、秸秆 20 g, 施用化肥处理中的氮磷钾用量为每 1 kg 风干土施纯氮 0.15 g、五氧化二磷 0.10 g、氧化钾 0.15 g。除秸秆深埋(FSD)处理外, 其他各处理盆钵所施用秸秆、化肥与土壤需充分混匀; 除无水层(FSd)处理和浅水层(FSW1)处理外, 其他各处理加水达田间饱和和持水量的 150%。所有处理盆钵均在移栽前一天加水。

培养温度为 00:00—04:00: 27℃, 04:00—08:00: 28℃, 08:00—11:00: 30℃, 12:00—15:00: 35℃, 15:00—20:00: 32℃, 20:00—24:00: 28℃;

收稿日期: 2019-09-27

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(17)1001]; 公益性行业(农业)科研专项(编号: 201503136); 国家自然科学基金(编号: 41271308)。

作者简介: 赵亚慧(1990—), 女, 山西长治人, 硕士, 研究方向为土壤生态学。E-mail: zhaoyahui0805@163.com。

通信作者: 于建光, 博士, 研究员, 研究方向为土壤生态学与退化土壤修复。E-mail: yujg@jaas.ac.cn。

光照时间为 07:00—17:00[采用 100 W 发光二极管(LED)植物灯照射]。培养时间为 30 d,每 3 d 左右进行称质量加水。培养结束后所有盆钵均破坏性

采样,部分用来统计株高和地上部鲜质量等,部分新鲜植株冷藏用于测定植株丙二醛和脯氨酸等的含量。

表 1 试验设计

处理	秸秆情况	肥料类型	处理描述
CK	施秸秆	化肥	
FSCa	施秸秆	化肥	过氧化钙 0.5 g
FSB	施秸秆	化肥	生物炭 20 g
FSF	施秸秆	化肥	粉煤灰 398 g
FSD	施秸秆	化肥	小麦秸秆施入盆钵底部且不经混匀
FSd	施秸秆	化肥	盆钵水分达田间饱和持水量
FSW1	施秸秆	化肥	盆钵建立浅水层(达田间饱和持水量的 130%)
FSR	施秸秆	化肥	秸秆经两次人工搅拌以模拟田间旋耕

1.3 测定指标及方法

株高、叶面积用直尺测量获得,水稻植株鲜质量通过称质量获得,植被覆盖指数采用 Green Seeker 手持式光谱仪测定,植株叶绿素含量采用 SPAD502 型叶绿素仪测定,超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑法^[10]测定,过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法^[10]测定,脯氨酸(Pro)含量采用磺基水杨酸法^[11]测定,植株丙二醛含量采用硫代巴比妥酸法^[12]测定,根系形态采用 WinRHIZO 根系分析系统测定。

1.4 数据处理

数据统计分析采用 Excel 2007、Origin 8.0 和 SPSS 19.0 软件进行,差异显著性采用 Duncan's 法进行分析,因素分析采用广义线性模型(GLM)。

2 结果与分析

2.1 不同理化调控措施对水稻株高和生物量的影响

从图 1 可以看出,秸秆深埋处理显著增加了水稻幼苗株高($P < 0.05$),相比对照处理提高 21.2%,其余各处理均不同程度地抑制了水稻幼苗生长,其中施加过氧化钙、生物炭和粉煤灰的处理与对照相比均差异显著($P < 0.05$);FSCa、FSB、FSF、FSd、FSW1 和 FSR 处理均降低了水稻植株地上部鲜质量,下降幅度最大为 FSd 处理,达 55.1%,其次为施加生物炭处理;地下部鲜质量以秸秆深埋处理最大,FSd 处理最小,施加过氧化钙、生物炭和粉煤灰处理间无显著差异。与对照相比,各处理根冠比均降低,其中施加过氧化钙处理显著降低($P < 0.05$)。

2.2 不同理化调控措施对水稻叶面积、植被覆盖指数和叶绿素含量的影响

从图 2 可以看出,水稻叶面积大小表现为 FSD > CK > FSR > FSCa > FSF > FSW1 > FSB > FSd。相比空白对照,秸秆深埋处理显著增加了水稻植株叶面积和水稻植被覆盖指数(NDVI)($P < 0.05$),其余各处理均使水稻幼苗叶面积降低。叶面积下降幅度最大的处理为无水层处理,达 34%;生物炭、无水层和浅水层处理的 NDVI 与对照相比均差异显著($P < 0.05$)。叶绿素含量反映了植株生长状况。除深埋处理外,其他处理均不同程度地降低了叶绿素含量,下降幅度为无水层处理 > 浅水层处理 > 多次旋耕处理,施加生物炭、过氧化钙和粉煤灰处理的叶绿素含量以 FSB 最小,其中生物炭、无水层和浅水层处理与对照相比差异显著($P < 0.05$)。

2.3 不同理化调控措施对水稻生理生化过程的影响

从图 3 可以看出,施用生物炭处理的 SOD 活性高于施加过氧化钙和粉煤灰处理,施加生物炭处理与无水层处理差异不显著,其他处理表现为 FSd > FSW1 > FSR > FSD,各处理间差异显著($P < 0.05$)。POD 活性表现为 FSd 处理最大,秸秆深埋处理最小,施加生物炭处理较施加过氧化钙和粉煤灰处理分别提高 3.0 倍和 2.2 倍。丙二醛含量反映了植物的受损程度。试验中除 FSD 处理外,其他处理的丙二醛、脯氨酸含量都升高;丙二醛含量以无水层处理升高得最为明显,与其他处理相比差异显著($P < 0.05$);其次为 FSB 处理,施加生物炭、过氧化钙和粉煤灰处理间差异不显著;在施加生物炭、过氧化钙和粉煤灰的处理中,脯氨酸含量以施加生物炭处

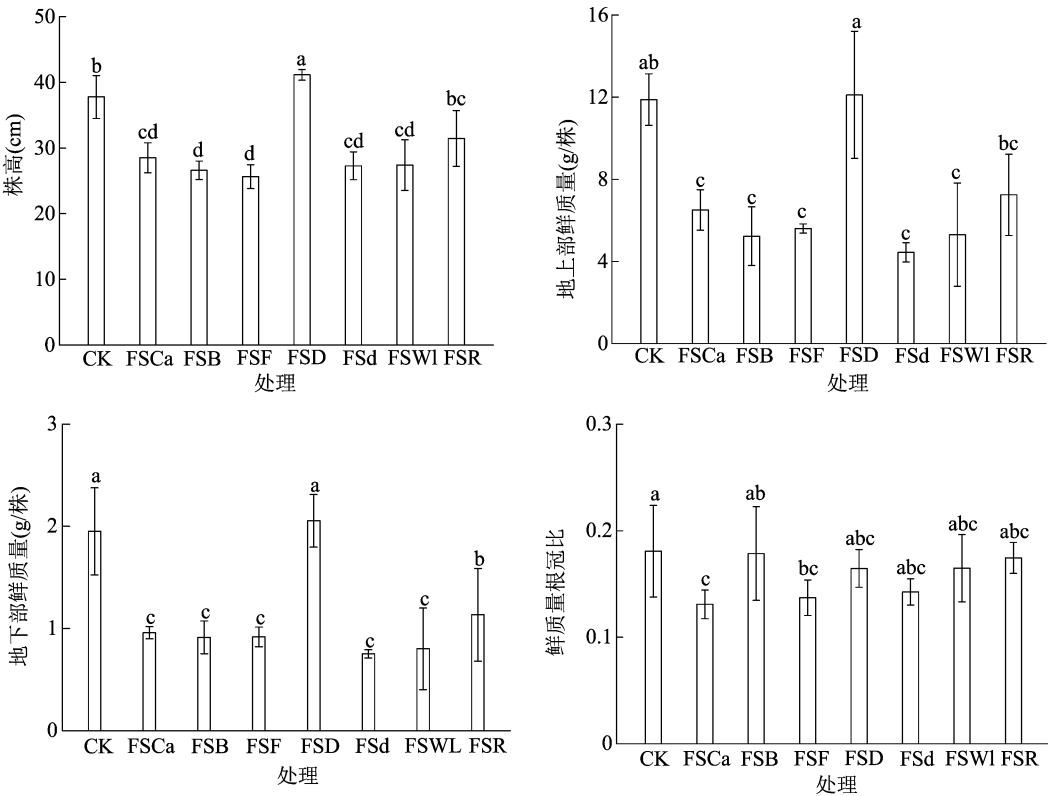


图1 不同理化调控措施对水稻株高和生物量的影响

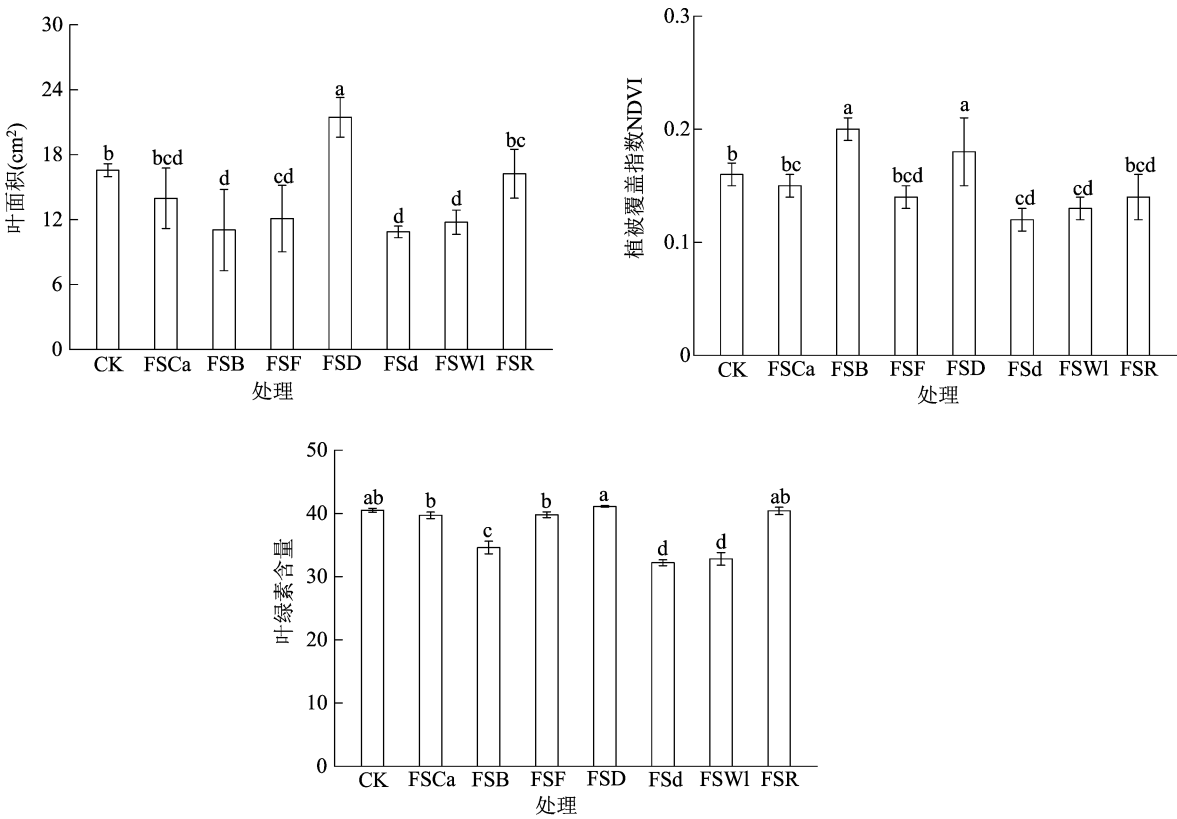


图2 不同理化调控措施对水稻苗期叶面积、NDVI 和叶绿素含量的影响

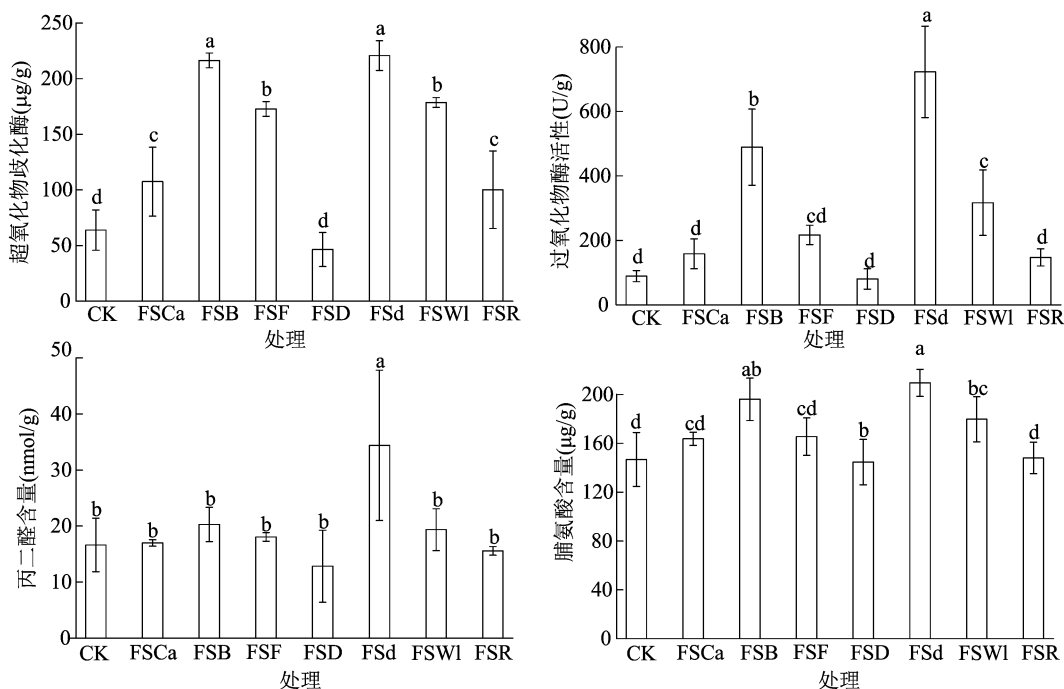


图3 不同理化调控措施对水稻生理生化过程的影响

理最高,比施加过氧化钙和粉煤灰处理分别提高 19.5% 和 18.0%,无水层处理与浅水层处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.4 不同理化调控措施对水稻根系形态的影响

由图 4 可知,与对照相比,秸秆深埋处理可增加水稻根系长度和根表面积 ($P < 0.05$);施加粉煤灰、过氧化钙和生物炭处理间根系长度和根表面积无显著差异,其他处理表现为 $FSD > FSR > FSWI > FSd$ 。施加过氧化钙、生物炭、粉煤灰处理以及无水层、浅水层处理的根系长度和根表面积与对照相比均差异显著 ($P < 0.05$)。根体积和根尖数均表现为秸秆深埋处理增加,其他处理降低。在根体积指标中施加粉煤灰处理和无水层处理与对照均差异显著 ($P < 0.05$);分枝数表现为施加生物炭处理高于施加粉煤灰和过氧化钙处理,施加粉煤灰和过氧化钙处理间差异不显著,与对照差异显著 ($P < 0.05$)。FSD 处理的根尖数显著高于除对照外的其他处理 ($P < 0.05$)。添加生物炭处理的根直径显著高于 FSd 处理,其他处理间无显著差异。

2.5 水稻生理生态和根系形态指标与生长发育指标间的相关性

相关性分析结果(表 2)显示,对水稻株高和生物量的影响表现为叶绿素含量、叶面积和 NDVI 达极显著水平 ($P < 0.01$),根系形态中除根直径外,其他指标均达极显著水平 ($P < 0.01$),丙二醛含量和

POD 活性未达到显著水平,SOD 活性、Pro 含量达负向极显著水平 ($P < 0.01$)。

3 讨论与结论

本试验中秸秆深埋处理提高了根系长度、根体积及根表面积等,维持了适宜的根冠比,有助于延缓作物衰老,对水稻的生长发育产生了促进作用,这与前人的研究结果^[5]相类似。根系吸收水分和营养物质供应地上部,试验发现,秸秆深埋后可增加植株叶面积和叶绿素含量,进而促进植物光合作用,增加生物量。水分作为光合作用的重要原料,在无水层条件下,根系水分摄入不足,水稻叶绿素含量下降,丙二醛和脯氨酸积累量增加,过氧化物酶、超氧化物歧化酶活性增强^[12-13],加重麦秸还田对水稻的负面影响,这与孙小霞等的研究结果^[14]一致。相比秸秆深埋处理,麦秸还田后进行多次旋耕,可使麦秸更加均匀地分布于土壤中,增大麦秸与土壤的接触面积,从而更有利于麦秸的腐解。本试验中,多次旋耕调控技术对水稻的生长发育产生了抑制作用,可能的原因是人工气候室对大田光照及种植环境等因素的模拟还不完善。

已有大量文献报道,适量的过氧化钙施入土壤后,可改善土壤通透性,促进作物根系生长,提高作物产量和品质^[15-17]。本试验中,在麦秸还田并添加一定量的过氧化钙后,反而使水稻植株的生长受到

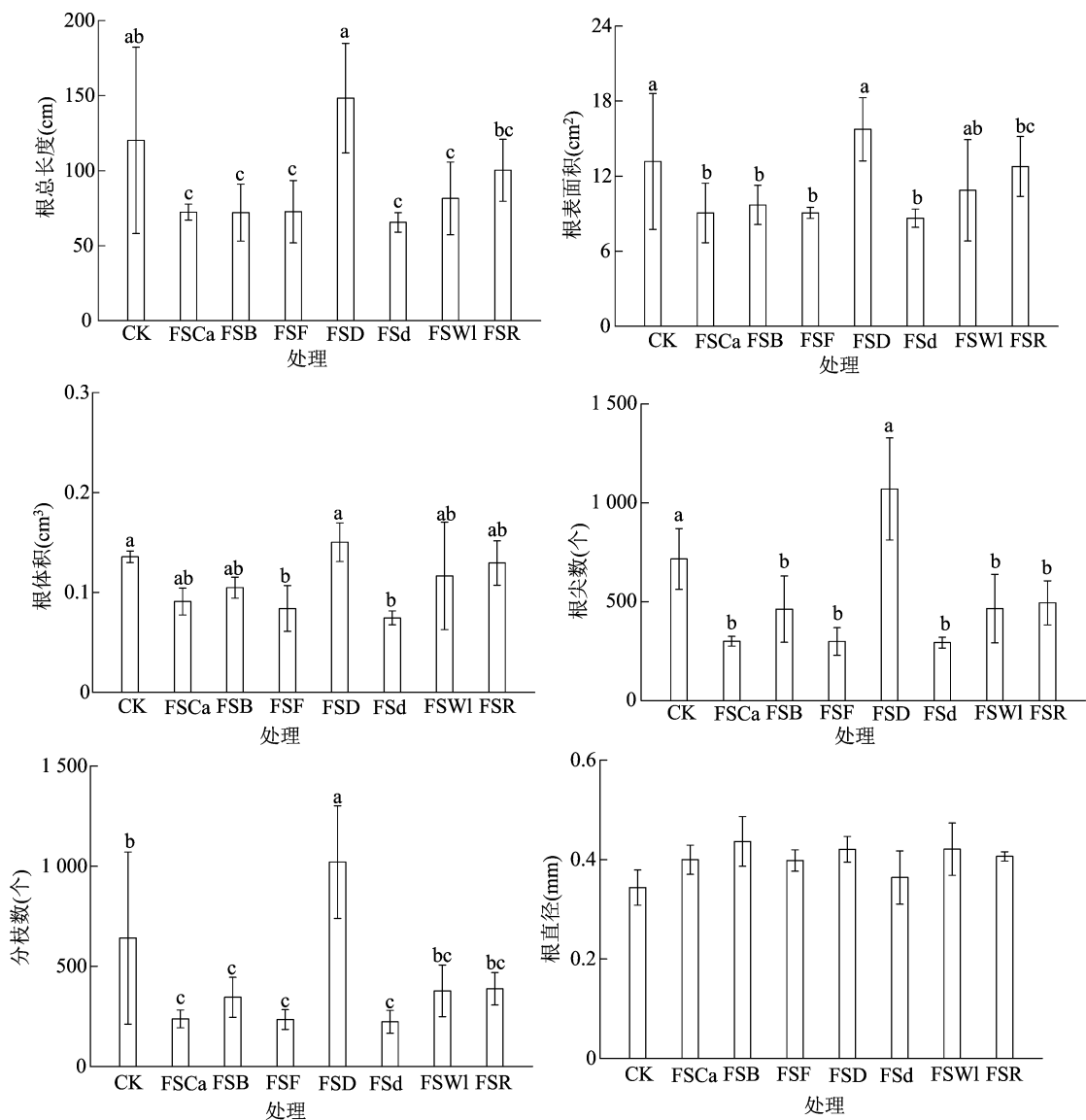


图4 不同理化调控措施对水稻根系形态的影响

抑制,这与前人的研究结果相悖,分析原因可能是过氧化钙的用量不足,达不到降解毒害物质的浓度。近年来生物炭因具有孔隙度大和吸附力强等优点被应用在农业、环境及能源等领域。国内外大量研究表明,生物炭施入土壤后,能够改善土壤理化性状,增加土壤养分,提高肥料利用效率^[18-25]。也有研究表明,施用生物炭显著抑制了玉米生长初期幼苗的生长,但随生育期的延长抑制作用逐渐消失^[26]。Asai等研究表明,生物炭不能促进作物产量的提高^[27]。试验中与添加过氧化钙和粉煤灰相比,添加生物炭对根系长度、根体积等根系形态的影响较小,可能是由于生物炭在水土交融下可能会释放一些小分子物质,对根系分泌物产生影响,从

而干扰根系生理,影响根系生长。过氧化钙、生物炭及粉煤灰三者相比,生物炭最有助于提高植株过氧化物酶及超氧化物歧化酶活性,其次为粉煤灰。粉煤灰作为一种质优价廉的选材,能供给作物生长所需要的微量元素,对减缓麦秸还田负效应的作用略小,究其原因可能与粉煤灰施入后导致土壤 pH 值升高有关^[28]。水稻育苗时土壤呈弱酸性,土壤 pH 值的改变不利于作物根系生长。另外,粉煤灰能够改变土壤氧化还原状态,使土壤矿物发生变化,导致土壤温度升高。

综上,多次旋耕处理能减缓麦秸还田对水稻生长发育的抑制作用,效果优于添加生物炭处理,深埋措施能克服麦秸还田负效应。

表 2 水稻生理生态和根系形态指标与生长发育指标间的相关性

指标	相关系数		
	株高	地上部鲜质量	地下部鲜质量
叶绿素含量	0.550 **	0.643 **	0.590 **
丙二醛含量	-0.279NS	-0.303NS	-0.348NS
脯氨酸含量	-0.568 **	-0.680 **	-0.659 **
POD 活性	-0.169NS	-0.169NS	-0.303NS
SOD 活性	-0.650 **	-0.590 **	-0.526 **
叶面积	0.833 **	0.779 **	0.751 **
NDVI	0.653 **	0.680 **	0.636 **
根总长度	0.848 **	0.804 **	0.856 **
根表面积	0.798 **	0.775 **	0.840 **
根体积	0.693 **	0.653 **	0.776 **
根尖数	0.768 **	0.759 **	0.802 **
根分枝数	0.871 **	0.798 **	0.828 **
根直径	0.005NS	0.033NS	0.119NS

注: ** 表示相关性极显著 ($P < 0.01$); NS 表示相关性不显著。

参考文献:

- [1] 王红新. 实施保护性耕作的目的及意义[J]. 吉林农业, 2018 (19): 49.
- [2] 康国平. 秸秆还田研究进展[J]. 现代农业, 2018(1): 53-54.
- [3] 李凤博. 不同耕作方式下稻秆还田对直播田生态环境的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [4] 顾元, 常志州, 于建光, 等. 外源酚酸对水稻种子和幼苗的化感效应[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(2): 240-246.
- [5] 张伟明, 孟军, 王嘉宇, 等. 生物炭对水稻根系形态与生理特性及产量的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(8): 1445-1451.
- [6] 董稳军, 郑华平, 黄旭, 等. 土壤改良剂对冷浸田水稻根系活力及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(36): 182-187.
- [7] Jala S, Goya D. Fly ash as a soil ameliorant for improving crop production - a review [J]. Bioresource Technology, 2006, 97: 1136-1147.
- [8] 王文军, 张祥明, 凌国宏. 生物质焦对冷浸田水稻生长·产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(14): 6220-6221, 6243.
- [9] 刘世平, 陈文林, 聂新涛, 等. 麦稻两熟地区不同埋深对还田秸秆腐解进程的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 1049-1053.
- [10] 郝建军, 康宗利, 于洋. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 159-160.
- [11] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 134-136.

- [12] 戴高兴, 邓国富, 周萌. 干旱胁迫对水稻生理生化的影响[J]. 广西农业科学, 2006, 37(1): 4-6.
- [13] 邱福林, 张伟平. 水分胁迫对水稻生长影响的研究进展[J]. 垦殖与稻作, 2000(2): 7-8, 13.
- [14] 孙小霞, 王海斌, 林辉锋, 等. 田间旱育条件下不同化感潜力水稻的抑草效应分析[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 842-846.
- [15] 邓育民. 过氧化钙的应用[J]. 广东化工, 2000, 27(6): 44-46.
- [16] 梅允福. 过氧化钙的制备和应用[J]. 四川化工与腐蚀控制, 2000, 3(4): 42-45.
- [17] 朱金伟, 张金泉, 李春玲. 过氧化钙的生产和应用[J]. 陕西化工, 1999, 28(4): 6-7.
- [18] Lehmann J, da Silva J P, Steiner C, et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments [J]. Plant and Soil, 2003, 249: 343-357.
- [19] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review [J]. Biology and Fertility Soils, 2002, 35: 219-230.
- [20] Steiner C, Glaser B, Teixeira W G, et al. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal [J]. Plant Nutrition and Soil Science, 2008, 171: 893-899.
- [21] Liang B, Lehmann J, Solomon D, et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soils [J]. Soil Science Society American Journal, 2006, 70: 1719-1730.
- [22] Steiner C, Teixeira W G, Lehmann J, et al. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil [J]. Plant and Soil, 2007, 291: 275-290.
- [23] 崔月峰, 曾雅琴, 陈温福. 颗粒炭及新型缓释肥对玉米的应用效应研究[J]. 辽宁农业科学, 2008(3): 5-8.
- [24] 张伟明, 张庆忠, 陈温福. 镉污染土壤中施用秸秆炭对水稻生长发育的影响[J]. 北方水稻, 2009, 39(2): 4-7, 11.
- [25] 胡茜, 赵远, 张玉虎, 等. 生物炭配施化肥对稻田土壤有效氮素以及水稻产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(15): 108-112.
- [26] 张晗芝, 黄云, 刘钢, 等. 生物炭对玉米苗期生长、养分吸收及土壤化学性状的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(11): 2713-2717.
- [27] Asaiah H, Samson B K, Stephan H M, et al. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos [J]. Field Crop Research, 2008, 111: 81-84.
- [28] 庞喆, 张卫华, 孙增慧, 等. 施用粉煤灰和有机肥对土壤温度和玉米生长发育及水分利用效率的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(24): 91-94.