

不同配料颗粒秸秆施用对土壤速效养分及小麦生长的影响

范庭¹, 刘娜¹, 张霞¹, 张育林^{1,2}, 王旭东¹, 于坚³

(1.西北农林科技大学资源环境学院,农业部西北植物营养与农业环境重点实验室,陕西 杨凌 712100;
2.陕西省土地整治重点实验室,陕西 西安 710075;3.北京新禾丰农化资料有限公司,甘肃 兰州 730000)

摘要:我国西北地区气温较低,秸秆直接还田腐解慢、养分循环慢、当季利用率低、影响作物出苗,导致秸秆还田率不高。针对以上问题,本研究以小麦秸秆为原料,以硫磺粉(养分活化剂)和麦秸生物炭(养分吸附剂)为外源添加材料,制成秸秆颗粒。硫磺粉的添加质量比为 3%(WS3)、5%(WS5)、10%(WS10),生物质炭的添加质量比为 5%(WC5)、10%(WC10)、15%(WC15),以秸秆颗粒(WK)、剪碎秸秆(W, W6)及无秸秆(CK)为对照,通过盆栽试验探究了秸秆颗粒对土壤速效养分及小麦生长的影响。结果表明:秸秆颗粒较剪碎秸秆处理相比,能显著提高土壤速效养分及小麦生物量和植株全量氮、磷、钾含量,添加硫磺或生物炭的秸秆颗粒提升效果更明显。各处理土壤硝态氮含量以 WS3 处理最高,较 W 处理提高 14.44%;铵态氮含量以 WC5 处理最高,较 W 处理提高 40.93%;速效磷含量以 WS10 处理最高,较 W 处理提高 23.42%;速效钾含量以 WC5 处理最高,较 W 处理提高 9.05%;差异均达显著水平($P<0.05$)。小麦生物量以 WS5 处理最高,较 WK 处理提高 29.61%;全氮含量以 WS10 最高,较 WK 处理提高 11.44%;全磷含量以 WS10 处理最高,较 WK 处理提高 21.82%;全钾含量以 WC15 最高,较 WK 处理提高 12.53%;差异均达显著水平($P<0.05$)。综上可知,秸秆颗粒在西北地区实现秸秆还田和养分循环,维持土壤肥力等方面具有很大应用前景。

关键词: 秸秆颗粒;硫磺粉;生物炭;小麦;土壤养分
中图分类号: S141.4 **文献标志码:** A

Effects of application of granular straw with different ingredients on available plant nutrients in soil and wheat growth

FAN Ting¹, LIU Na¹, ZHANG Xia¹, ZHANG Yulin^{1,2}, WANG Xudong¹, YU Jian³

(1. Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-Environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Shaanxi Key Laboratory of Land Consolidation, Xi'an, Shaanxi 710075, China;
3. Beijing Xinhefeng Agrochemical Information Co., Ltd., Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: In the northwest of China, as the temperature is low, the straw returning to the field is slow in decomposition rate, nutrient circulation, and nutrition utilization rate. The crop emergence is also affected by straw, so the straw returning rate is low. To solve the above problems, straw granules were made of wheat straw, combined with sulfur powder (as nutrient activator) and biochar (as nutrient adsorbent) as exogenous materials. The mass ratios of sulfur powder were 3% (WS3), 5% (WS5), and 10% (WS10); the mass ratios of biochar were 5% (WC5), 10% (WC10), 15% (WC15), straw granule (WK), chopped straw (W, W6), and no straw returning (CK) were used as control. A pot experiment was carried out to explore the effects of straw treatment granules on available crop nutrients in soil and wheat growth. The results showed that compared with crop straw, straw granules

收稿日期:2020-04-16 修回日期:2020-10-10

基金项目:陕西省土地整治重点实验室开放基金(2018-ZD08);国家重点研发计划项目(2018YFD0200405);国家自然科学基金青年项目(41601324)

作者简介:范庭(1996-),男,内蒙古乌兰察布人,硕士研究生,研究方向为土壤养分管理。E-mail: fanting0822@126.com

通信作者:王旭东(1965-),男,教授,博士生导师,主要从事土壤与环境化学研究。E-mail: wangxudong01@126.com

张育林(1984-),男,副教授,硕士生导师,主要从事土壤养分管理研究。E-mail: yulinzhangbest@126.com

significantly improved the available nutrients in soil, the biomass of wheat and the total N, P, and K content of the plant, and the straw granules added with sulfur or biochar significantly improved the nutrient availability in soil. (1) WS3 treatment had the highest nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$), which was 14.44% higher than W treatment did; WC5 treatment had the highest $\text{NH}_4\text{-N}$ content, which was 40.93% higher than W treatment; WS10 treatment had the highest available P content, which was 23.42% higher than W treatment; WC5 treatment had the highest available K content, which was 9.05% higher than W treatment ($P<0.05$). (2) WS5 treatment had the highest biomass, 29.61% higher than WK treatment; WS10 treatment had the highest total N content, 11.44% higher than WK treatment; WS10 treatment had the highest total P content, 21.82% higher than WK treatment; WC15 treatment had the highest total K content, 12.53% higher than WK treatment ($P<0.05$). To sum up, this study found that straw granules returning had great potential in the northwest of China to achieve straw returning and nutrient cycling, and maintain soil fertility.

Keywords: straw granule; sulfur powder; biochar; wheat; soil nutrient

随着集约化农业生产的发展,耕地土壤质量出现了普遍下降的现象。化肥的施用在很大程度上补充了土壤中一些大量元素,但同时也带来了部分地区养分不平衡^[1]、土壤板结^[2]和重金属污染^[3]等问题。秸秆还田不仅可以补充土壤养分,减少化肥的投入量,还可以改善土壤理化性状,促使作物增产^[4]。由于地理位置特殊,河西走廊多地出现盐渍化、板结化等土壤质量下降的问题。盐渍化不仅影响作物吸收土壤中的水分和养分,甚至对农作物还有离子毒害作用^[5]。有研究表明,秸秆还田可以有效降低土壤盐渍化引发的问题^[6]。但我国西北地区由于土壤温度普遍较低,加上不合理的灌溉措施,常规秸秆还田技术在当地存在一定的弊端,如秸秆直接还田腐解慢,易造成土壤空洞现象,不利于土壤团聚体的形成和农作物扎根;秸秆覆盖还田在播种时容易堵塞机具,有的种子被秸秆覆盖压实,影响正常出苗,导致当地秸秆还田数量少,且还田效果差,最终导致大量的作物秸秆被用作牲畜的草料,甚至向省外输出^[7]。因此,怎样更好地将作物秸秆这一农业“垃圾”变废为宝,推进可持续农业的发展是众多农业研究人员致力解决的热点问题^[8-10]。最新研究表明,秸秆造粒还田能够提高秸秆有机碳矿化率及养分释放速率^[11]。张莉等^[12]发现玉米秸秆颗粒还田可以快速提高土壤及小麦植株养分含量。因此,将秸秆进行压缩造粒还田在西北地区是一种应用前景非常可观的还田技术。

缺磷是盐碱土作物普遍出现的症状。河西走廊地区由于土壤高 pH 值的影响,土壤中磷的有效性很低。目前有许多关于磷素活化剂在盐碱土改良中应用的研究^[13-14]。其中硫磺和生物炭是两种常见的改良材料,在盐碱土中施用是比较经济的。有研究表明,施用硫磺粉处理的土壤有效磷含量较

对照显著提高^[15]。此外,氮肥配施硫肥能显著提升小麦干物质积累量及籽粒产量^[16]。因此,硫磺不仅可以作为磷素活化剂的代表性物质,还可以作为中量元素补充作物的养分。生物炭在农业领域具有极大的潜在研究价值,其本身含有大量的矿质营养元素,施入土壤可将这些营养元素归还到土壤中。有研究显示,在土壤中添加生物炭可有效提高土壤中的速效养分含量,增强土壤保肥能力^[17];其施入土壤中可作为可溶性养分被作物吸收利用,促进植物生长。李伟^[18]研究发现,氮肥配施生物炭显著提升了冬小麦-夏玉米轮作体系下的作物产量。

现阶段秸秆颗粒还田的研究主要集中在以玉米秸秆为原料制作秸秆颗粒的基础上,且对西北地区春小麦种植土壤环境条件未曾开展研究。目前针对硫磺粉、生物炭和秸秆配施的研究较少,两者配施是否能提升土壤养分含量和作物产量,还需深入研究。为响应国家“粮藏于地,粮藏于技”的可持续发展战略方针,解决常规秸秆还田在我国西北地区养分利用率低的问题,本研究以小麦秸秆为原料,添加不同配比的硫磺粉和麦秸生物炭,研制新型秸秆颗粒并进行盆栽试验,研究不同配料秸秆施用对土壤速效养分及小麦生长的影响,以寻求适合我国西北地区的秸秆还田技术,实现土壤与作物间的养分高效循环,为当地农作物增产增收提供技术指导 and 理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤于2018年8月采自甘肃省高台县巷道镇红联村,土壤类型为灌耕土,系统命名为灌淤旱耕人为土。采样深度为耕层0~20 cm。采集的土壤风干后过2 mm筛备用。供试土壤基础理化性质

为:黏粒 (<0.002 mm) 24.28%、粉粒 (0.002 ~ 0.05 mm) 29.43%、砂粒 (0.05 ~ 1 mm) 46.29%, pH 值为 8.12, 有机碳为 8.2 g · kg⁻¹, 全氮 0.85 g · kg⁻¹, 速效磷 20.70 mg · kg⁻¹, 速效钾 25.88 mg · kg⁻¹。

供试秸秆颗粒的原料为小麦收获后地上部, 于 2018 年 6 月采自甘肃省高台县红联村。秸秆颗粒中添加的外源材料选用硫磺粉(养分活化剂)和麦秸生物炭(养分吸附剂)。不同处理方式及秸秆养分含量见表 1。小麦秸秆的 C、N、P、K 百分含量分别为 47.50%、0.78%、0.13%、1.66%。生物炭的裂解温度为 350℃, 其 C、N、P、K 百分含量分别为 51.40%、1.27%、0.11%、5.43%。硫磺粉为天津市天力化学试剂公司生产, S 含量 ≥ 99.50%。供试小麦品种为永良 11 号。

秸秆颗粒造粒方法:造粒前将部分小麦秸秆晾晒风干(含水率低于 10%)后打碎成糠状(过 2 mm 网筛), 并喷施尿素溶液, 调节其 C : N 为 25 : 1。选用 SKJ-220 型造粒机进行造粒。其生产工艺流程为:将备用秸秆原料送到震动料斗, 由送料器送到加料器口, 在螺旋搅拌器的作用下推到制粒机内, 由于制粒机中 2 个齿轮反向等速转动和碾压, 使秸秆粉末通过碾压后制成秸秆颗粒。成品颗粒为直径 8 mm, 长度约 1~2 cm 的圆柱体。

1.2 试验方法

采用盆栽试验, 于 2019 年 5 月在西北农林科技大学科研教学旱棚试验区进行。选取直径为 15 cm、深度为 17 cm 的塑料盆, 每盆装土 2 kg, 共设 10 个处理, 具体处理方式见表 1。分别将各处理材料与土样充分混匀后装盆, 重复 4 次, 共计 40 盆, 随机排列, 使盆栽土壤的含水量保持在田间持水量的

50%, 培养一个星期。培养结束后每盆种植小麦 2 株, 使土壤含水量维持在田间持水量的 80%。小麦种植 28 d 后于拔节中后期收获地上部, 再分别采集各处理土壤样品。土样风干后测定各处理土壤硝、铵态氮含量(1mol · L⁻¹KCL 浸提, 流动分析仪测定)、速效磷含量(钼蓝比色法)、速效钾含量(火焰光度法)。植物样用去离子水冲洗干净, 60℃烘干至恒重, 测定其生物量及全氮含量(半微量开氏法)、全磷含量(钒钼黄比色法)、全钾含量(火焰光度计法)^[19]。

1.3 数据统计

数据处理选用 SPSS 19.0 软件, 采用单因素方差分析, 多重比较选用 LSD 法对各处理土壤速效养分含量、植株生物量和植株养分含量进行差异显著性分析。运用 Origin Pro 9.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理秸秆颗粒添加后土壤速效养分含量的变化

2.1.1 土壤硝态氮、铵态氮含量变化 由图 1 可知, 秸秆处理方式不同, 土壤硝态氮含量有所不同。各处理土壤经 28 d 培养后, WK 处理的硝态氮含量为 3.34 mg · kg⁻¹, WK、W、W6 与 CK 处理间均无显著差异; 添加硫磺的 3 个处理中, 土壤硝态氮含量随硫磺粉用量的增加而降低, WS3、WS5、WS10 处理的土壤硝态氮含量分别为 3.95、3.52、3.47 mg · kg⁻¹, 3 个处理间无显著差异, 其中 WS3 较 W 和 WK 处理分别提高 14.44%、15.44%, 差异均达显著水平 (P < 0.05); 添加生物炭的 3 个处理间无显著差异, WC5、WC10、WC15 的硝态氮含量分别为 5.56、3.91、3.45

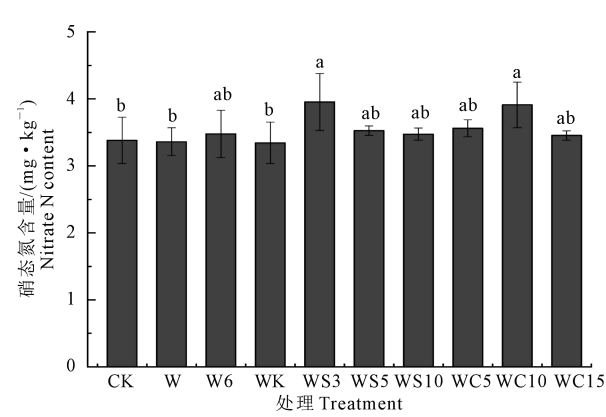
表 1 不同秸秆处理及其基础性状

Table 1 Different straw treatments and their basic properties

处理 Treatment	处理方式 Treatment method	堆积密度 Bulk density/(g · cm ⁻³)	秸秆养分含量 Availability nutrient in straw			
			C/%	N/%	P/%	K/%
CK	无秸秆 No straw	0	0	0	0	0
W	剪碎秸秆 Chopped straw	123	47.50	1.43	0.13	1.66
W6	剪碎秸秆 Chopped straw	123	47.50	1.43	0.13	1.66
WK	秸秆颗粒 Straw granule	782	49.60	1.44	0.13	1.58
WS3	添加 3% 的硫磺秸秆颗粒 Adding 3% sulfur straw granule	773	47.08	1.48	0.12	1.60
WS5	添加 5% 的硫磺秸秆颗粒 Adding 5% sulfur straw granule	785	46.29	1.47	0.12	1.56
WS10	添加 10% 的硫磺秸秆颗粒 Adding 10% sulfur straw granule	779	45.95	1.46	0.09	1.46
WC5	添加 5% 的生物炭秸秆颗粒 Adding 5% biochar straw granule	783	48.50	1.46	0.14	1.83
WC10	添加 10% 的生物炭秸秆颗粒 Adding 10% biochar straw granule	765	47.65	1.48	0.12	1.88
WC15	添加 15% 的生物炭秸秆颗粒 Adding 15% biochar straw granule	732	49.29	1.50	0.12	1.96

注: W 处理为每公斤土施用 12 g 秸秆, W6、WK、WS3、WS5、WS10、WC5、WC10、WC15 处理为每公斤土施用 24 g 秸秆。

Note: W: 12 g straw per kg of soil; W6, WK, WS3, WS5, WS10, WC5, WC10, WC15: 24 g straw per kg of soil.



注:CK(无秸秆),W(剪碎秸秆,每公斤土施用 12 g 秸秆),W6(剪碎秸秆,每公斤土施用 24 g 秸秆),WK(秸秆颗粒),WS3、WS5、WS10 分别代表添加 3%、5%、10%的硫磺秸秆颗粒,WC5、WC10、WC15 分别代表添加 5%、10%、15%的生物炭秸秆颗粒。颗粒用量为每公斤土施用 24 g 秸秆。不同小写字母代表各处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: CK (no straw), W (chopped straw, 12 g straw per kg of soil), W6 (chopped straw, 24 g straw per kg of soil), WK (straw granule), adding 3% (WS3), 5% (WS5), 10% (WS10) sulfur straw granule, adding 5% (WC5), 10% (WC10), 15% (WC15) biochar straw granule, granule amount was 24 g straw per kg of soil. Different lowercase letters represent significant differences between treatments ($P<0.05$). The same below.

图 1 不同处理土壤硝态氮含量

Fig.1 Nitrate N content of soil in different treatments

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中以 WC10 处理最高,较 W 和 WK 处理分别提高 13.56%、14.58%,差异显著($P<0.05$)。添加外源材料的 6 个处理间无显著差异。各处理土壤硝态氮含量以 WS3 处理最高。

由图 2 可知,不同的秸秆处理方式土壤铵态氮含量有所不同。各处理土壤经 28 d 培养后,WK 处理的铵态氮含量为 $1.84 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,较 CK 提高 52.72%,较 W 处理提高 26.19%,差异均达显著水平($P<0.05$),但与 W6 处理无显著差异;添加硫磺的 3 个处理间无显著差异,WS3、WS5、WS10 处理的土壤铵态氮含量分别为 1.69 、 1.83 、 $1.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,较 W 处理分别提高 24.02%、34.56%、32.35%,差异显著($P<0.05$),与 WK 处理相比,均无显著差异;添加生物炭的 3 个处理中,土壤铵态氮含量随生物炭用量的增加而降低,WC5、WC10、WC15 的铵态氮含量分别为 1.92 、 1.83 、 $1.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,3 个处理间无显著差异,但较 W 处理分别提高 40.93%、34.80%、27.70%,差异显著($P<0.05$),与 WK 处理相比,均无显著差异。添加外源材料处理中,WC5 显著高于 WS3 处理。总体上,以 WC5 处理的土壤铵态氮含量最高。

2.1.2 土壤速效磷含量变化 由图 3 可知,秸秆处理方式不同,土壤速效磷含量也不同。WK 处理的

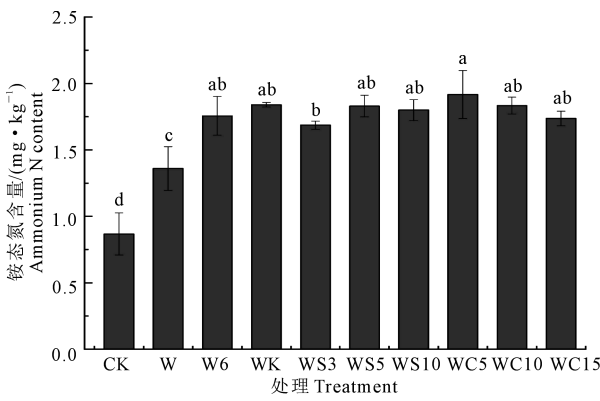


图 2 不同处理土壤铵态氮含量

Fig.2 Ammonium N content of soil in different treatments

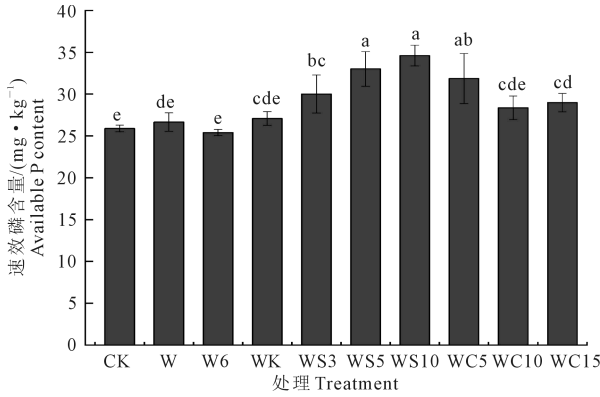


图 3 不同处理土壤速效磷含量

Fig.3 Available P content of soil in different treatments

速效磷含量为 $27.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,WK、W、W6 和 CK 处理间无显著差异;添加硫磺的 3 个处理中,土壤速效磷含量随硫磺用量的增加而升高,WS5 和 WS10 显著高于 WS3 处理,WS3、WS5、WS10 处理的土壤速效磷含量分别为 30.01 、 33.01 、 $34.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,较 W 处理分别提高 11.20%、19.72%、23.42%,差异均达显著水平($P<0.05$),其中 WS5 和 WS10 较 WK 处理分别提高 18.00%、21.77%,差异显著($P<0.05$);添加生物炭的 3 个处理中,WC5 显著高于 WC10 和 WC15 处理,WC5、WC10、WC15 处理的速效磷含量分别为 31.87 、 28.36 、 $28.99 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中 WC5 处理较 W 和 WK 处理分别提高 16.38%、15.07%,差异均达显著水平($P<0.05$)。添加外源材料的土壤速效磷含量表现为 $\text{WS10}>\text{WS5}>\text{WC5}>\text{WS3}>\text{WC15}>\text{WC10}$ 。总体上,土壤速效磷含量以 WS10 处理最高。

2.1.3 土壤速效钾含量变化 由图 4 可知,秸秆处理方式不同,土壤速效钾含量有所不同。WK 处理的速效钾含量为 $54.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,较 CK 提高 44.03%,差异达显著水平($P<0.05$),WK 与 W、W6 处理间无显著差异;添加硫磺的 3 个处理间无显著差异,WS3、WS5、WS10 处理的土壤速效钾含量分别

为53.94、55.13、52.73 mg · kg⁻¹,与 W、W6 和 WK 处理均没有显著差异;添加生物炭的 3 个处理间无显著差异,WC5、WC10、WC15 处理的速效钾含量分别为 57.73、55.17、56.70 mg · kg⁻¹,其中 WC5 处理较 W 处理提高 9.05%,差异达显著水平($P<0.05$),但与 W6 和 WK 处理相比,无显著差异。添加外源材料的处理中,WC5 显著高于 WS10 处理。总体上,土壤速效钾含量以 WC5 处理最高。

2.2 不同处理秸秆颗粒添加对春小麦生长的影响

2.2.1 不同处理秸秆颗粒添加对春小麦生物量的影响 从图 5 可以看出,各秸秆颗粒处理的小麦地上部生物量均显著高于 CK、W 和 W6 处理;W6 与 W 处理相比,无显著差异;WK 处理的小麦地上部生物量为 0.56 g,较 W 和 W6 处理分别提高 46.14%、34.86%,差异达显著水平($P<0.05$);在秸秆颗粒中添加硫磺对小麦地上部生物量也有增加作用,各处理小麦的生物量表现为 WS5>WS10>WS3,处理间没有显著差异,但 WS5 处理的小麦地上部生物量较 WK 处理提高 29.61%,差异达显著水平($P<0.05$);添加生物炭的各秸秆颗粒处理中,小麦的地上部生物量随生物炭用量的增加而增加,但处理间无显著差异,其中 WC15 处理较 WK 处理提高 29.48%,差异显著($P<0.05$)。添加硫磺和生物炭的各秸秆颗粒处理间没有显著差异。总体上,各处理小麦地上部生物量从高到低的顺序为 WS5>WC15>WS10>WC10>WS3>WC5>WK>W6>W>CK。

2.2.2 不同处理秸秆颗粒添加对春小麦植株全氮含量的影响 由图 6 可知,各秸秆颗粒处理的小麦全氮含量均显著高于 CK,且均显著高于 W 和 W6 处理。WK 处理的小麦植株氮含量为 0.44 g · kg⁻¹,较 W 和 W6 处理分别提高 81.94%和 32.73%,差异均达显著水平($P<0.05$);添加硫磺的各秸秆颗粒处理中,小麦全氮含量表现为随硫磺用量的增加而增

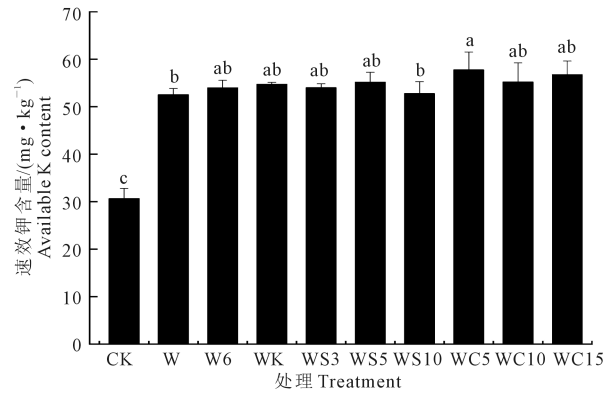


图 4 不同处理土壤速效钾含量

Fig.4 Available K content of soil in different treatments

加,WS10 显著高于 WS3 处理,WS3 和 WS5 处理与 WK 处理无显著差异,但 WS10 较 WK 处理提高 11.44%,达显著水平($P<0.05$);添加生物炭的 3 个秸秆颗粒处理间无显著差异,且均与 WK 处理无显著差异,但均显著高于 W 和 W6 处理。添加外源材料的处理中,WS3 显著低于其他处理。总体上,各处理小麦植株全氮含量表现为 WS10>WS5>WC15>WC5>WC10>WK>WS3>W6>CK>W。

2.2.3 不同处理秸秆颗粒添加对春小麦植株全磷含量的影响 由图 7 可知,各秸秆颗粒处理的小麦全磷含量均显著高于 CK、W 和 W6 处理。W 和 W6 处理间无显著差异;WK 处理的小麦全磷含量为 0.03 g · kg⁻¹,较 W 和 W6 处理分别提高 93.11%、62.57%,差异均达显著水平($P<0.05$);添加硫磺的各秸秆颗粒处理中,小麦全磷含量表现为 WS10>WS3>WS5,3 个处理的小麦全磷含量无显著差异,但都明显高于 WK 处理,其中 WS10 较 WK 处理提高 21.82%($P<0.05$);添加生物炭的各秸秆颗粒处理之间,小麦全磷含量无显著差异,其中 WC10 处理的

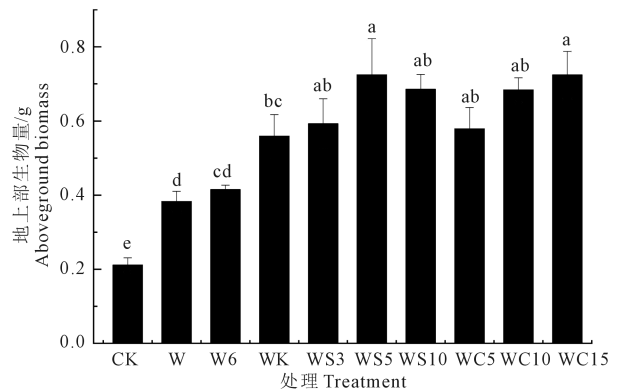


图 5 不同秸秆处理春小麦生物量

Fig.5 Biomass of spring wheat treated in different straw treatments

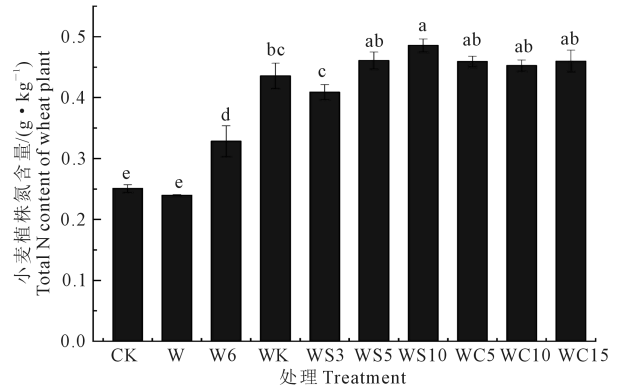


图 6 不同秸秆处理春小麦植株全氮含量

Fig.6 Total N content of spring wheat plants in different straw treatments

小麦全磷含量较 WK 处理提高 19.80% ($P<0.05$)。添加外源材料的 6 个处理间无显著差异。总体上,小麦全磷含量整体趋势表现为 $WS10>WC10>WS3>WS5>WC5>WC15>WK>W6>CK>W$ 。

2.2.4 不同处理秸秆颗粒添加对春小麦植株全钾含量的影响 由图 8 可知,各秸秆颗粒处理与 CK 相比,小麦全钾含量均显著提高,W6 与 CK 相比无显著差异。各秸秆颗粒处理中,WK 处理的小麦全钾含量为 $0.52\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,与 W 处理无显著差异,但显著高于 W6 处理;添加硫磺的 3 个秸秆颗粒处理中,小麦全钾含量表现为随硫磺用量的增加而增加,WS5 和 WS10 处理显著高于 WS3 处理,3 个处理均显著高于 W6 处理,且 WS5、WS10 较 W 处理分别提高 9.50%、14.96%,差异显著 ($P<0.05$),但与 WK 处理无显著差异;添加生物炭的 3 个秸秆颗粒处理中,WC15 处理显著高于 WC5 和 WC10 处理,3 个处理的小麦全钾含量均显著高于 W6 处理,且 WC15 处理较 W 和 WK 处理分别提高 16.14%、12.53%,差异显著 ($P<0.05$)。添加外源材料的处理中,WS3 显著低于其他处理。总体上,各处理小麦全钾含量表现为 $WC15>WS10>WS5>WC5>WC10>WK>W>WS3>CK>W6$ 。

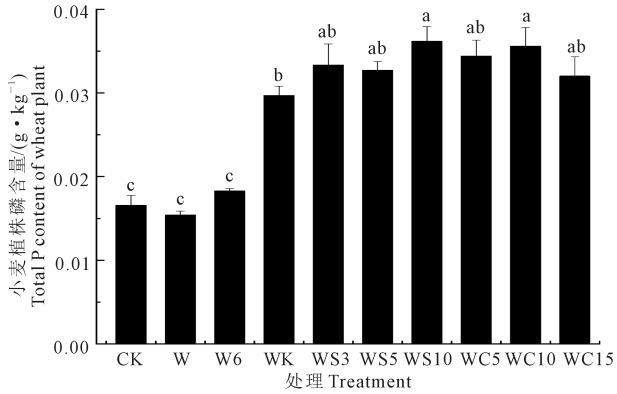


图 7 不同秸秆处理春小麦植株全磷含量
Fig.7 Total P content of spring wheat plants in different straw treatments

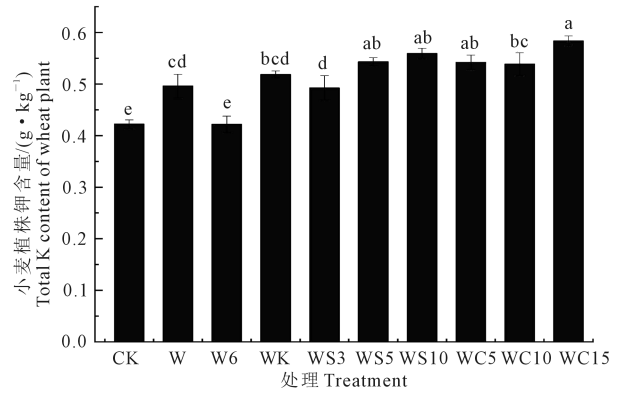


图 8 不同秸秆处理春小麦植株全钾含量
Fig.8 Total K content of spring wheat plants in different straw treatments

3 讨 论

3.1 不同处理秸秆颗粒添加对土壤速效氮、磷、钾含量的影响

本研究发现,添加 3% 硫磺秸秆颗粒处理的土壤硝态氮含量较对照、剪碎秸秆、秸秆颗粒处理均显著提高,这很可能是由于适量的硫磺粉添加后,加速了土壤中微生物对其的分解,使氮素转化过程加快;添加 10% 生物炭秸秆颗粒处理的土壤硝态氮含量较对照、剪碎秸秆、秸秆颗粒处理也显著提高,这应该是由适量的生物炭添加后导致颗粒中的氮素更易释放。土壤中施入秸秆后,其铵态氮含量较对照显著提高,且各秸秆颗粒处理的铵态氮含量较剪碎秸秆更高,这是由于秸秆颗粒制作前进行了粉碎处理,吸水膨胀后加大了颗粒与土壤的接触面积,使微生物活性增强;添加硫磺的颗粒与秸秆颗粒处理无明显差异;添加生物炭的颗粒处理较秸秆颗粒处理的土壤铵态氮含量略有提高,这应该是由生物炭本身含有的部分氮素释放的结果。这与张珺瑾等^[20]发现秸秆粉碎后造粒还田,能够快速提高土壤中的氮含量的研究结果相一致。秸秆颗粒中添加硫磺粉后,土壤速效磷含量较对照、剪碎秸秆、秸秆颗粒显著提高,且随硫磺粉用量的增加而增加,这很可能是由于添加硫磺粉后,秸秆颗粒中的硫磺部分氧化,活化了秸秆颗粒中的磷和土壤固定的磷,从而使土壤速效磷含量升高;添加 10%、15% 生物炭秸秆颗粒处理的速效磷含量较秸秆颗粒处理略有提高,添加 5% 生物炭处理的速效磷含量最高,这应该是由生物炭浓度高会导致一部分磷被颗粒吸附。施用秸秆能快速提高土壤中的速效钾含量,秸秆颗粒和剪碎秸秆相比无明显差异,这是由于秸秆中的钾大多以离子态的形式存在,不论是剪碎秸秆,还是秸秆颗粒中的钾均能快速释放;秸秆颗粒中添加硫磺后土壤速效钾含量变化不大,颗粒中添加生物炭后,土壤速效钾含量略有提高,这是由于生物炭本身含有较高的钾素释放到土壤中引起的。这与有关研究认为将秸秆高温裂解为生物炭后再还田,土壤速效钾含量明显提高的结果^[21]相一致。因此,秸秆颗粒在提升土壤肥力方面明显优于剪碎秸秆,秸秆颗粒中添加适量外源材料可进一步提升土壤肥力。

3.2 不同处理秸秆颗粒添加对春小麦生物量及植株全量氮、磷、钾含量的影响

小麦地上部生物量是反映其后期产量的重要指标。本研究发现,与对照和剪碎秸秆处理相比,

秸秆颗粒能够显著增加小麦地上部生物量。这一方面是由于秸秆颗粒是经粉碎后挤压成型,在其造粒之前就已经把较难腐解的纤维素、木质素结构破坏,其施入土壤后遇水膨胀分散,比表面积增加,导致颗粒中的养分较剪碎秸秆更易释放到土壤中,从而被小麦吸收利用^[11];另一方面是由于秸秆颗粒施入土壤后,吸入一定水分发生膨胀,降低了土壤紧实度,进而改善土壤孔隙结构,秸秆颗粒吸水膨胀后还能与土壤充分接触,避免了添加剪碎秸秆造成小麦扎根困难的缺陷。这与丛萍等^[22]的研究结果相一致。此外,还有研究认为秸秆颗粒还田提高了小麦的光合性能,促进了植株碳水化合物化合物的合成,从而使其积累较高的生物量^[12]。本研究结果还表明向秸秆颗粒中添加硫磺粉之后,小麦的生物量较秸秆颗粒均有所提升。这可能是因为秸秆颗粒中的硫磺活化了土壤中原有的难以被植株吸收利用的磷,降低了土壤中的 C/P,提高了土壤微生物的活性^[23]。在秸秆颗粒中添加生物炭后,小麦生物量也有提升。这是由于生物炭本身就含有一定养分,不仅能够释放自身养分,还能够吸附离小麦根系较远土壤中的养分,从而被小麦吸收利用^[24]。因此,秸秆颗粒与剪碎秸秆处理相比,能有效提升小麦的生物量,在颗粒中添加适量的外源材料,颗粒的养分有效性更高。

本研究发现,与对照和剪碎秸秆相比,秸秆颗粒处理能显著增加小麦植株的全氮和全磷含量,这是因为秸秆颗粒较剪碎秸秆腐解速率加快,提高了秸秆养分的当季利用率^[11]。秸秆颗粒中添加硫磺粉对小麦氮、磷含量也有增加作用。这一方面可能是由于亲水性较差的硫磺粉添加使秸秆颗粒遇水更易松散,微生物分解作用加快;另一方面应该这是由于秸秆颗粒中的硫磺部分氧化,形成 SO_4^{2-} ,促进了磷酸盐释放,更利于小麦植株吸收^[25]。秸秆颗粒中添加生物炭对小麦氮、磷含量也有增加作用,这是由于生物炭释放自身养分所致。秸秆颗粒与剪碎秸秆处理相比,全钾含量无显著差异,这是由于秸秆中的钾素大多以离子态的形态存在,易于释放,被小麦吸收利用。而秸秆颗粒中添加 15% 的生物炭后,小麦全钾含量显著增加,这是因为生物炭中钾素含量较高,由于高浓度的生物炭添加,使秸秆颗粒中本身含有的钾素增多,其腐解释放后能被小麦吸收利用。此外,有研究显示,秸秆颗粒中的养分含量还会随其腐解时间延长而释放到土壤中,补充土壤中被小麦吸收利用的养分,改善土壤肥力状况,使土壤与作物秸秆间的养分处于良性循环的

状态^[26]。因此,秸秆颗粒在提升小麦养分含量方面,较剪碎秸秆更有优势,在颗粒中添加适量的外源材料,能进一步提升小麦植株的养分含量。

4 结 论

1) 与剪碎秸秆相比,施用秸秆颗粒在提升土壤速效养分方面更有优势,添加适量的硫磺粉和生物炭效果更明显。土壤硝态氮含量以 WS3 处理最佳,较 W 处理提高 14.44%;土壤铵态氮含量以 WC5 处理最佳,较 W 处理提高 40.93%;土壤速效磷含量以 WS10 处理最佳,较 W 处理提高 23.42%;土壤速效钾含量以 WC5 处理最佳,较 W 处理提高 9.05%。

2) 与剪碎秸秆相比,秸秆颗粒显著促进了小麦生长,添加适量的硫磺粉和生物炭进一步提升了小麦的生物量和养分含量。小麦地上部生物量以 WS5 处理最高,较 WK 处理提高 29.61%;小麦全氮、全磷含量均以 WS10 处理最高,分别较 WK 处理提高 11.44%、21.82%;小麦全钾含量以 WC15 处理最高,较 WK 处理提高 12.53%。

参 考 文 献:

- [1] 唐继伟,徐久凯,温延臣,等.长期单施有机肥和化肥对土壤养分和小麦产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2019,25(11):1827-1834.
- [2] 张春梅,闫治斌,王学,等.有机营养土壤改良剂对河西灌漠土壤理化性质和饲用高粱种植效益的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(3):260-265.
- [3] 王腾飞,谭长银,曹雪莹,等.长期施肥对土壤重金属积累和有效性的影响[J].农业环境科学学报,2017,36(2):257-263.
- [4] 白伟,安景文,张立祯,等.秸秆还田配施氮肥改善土壤理化性状提高春玉米产量[J].农业工程学报,2017,33(15):168-176.
- [5] 王俭珍,刘倩,高娅妮,等.植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J].生态学报,2017,37(16):5565-5577.
- [6] 侯贤清,吴鹏年,王艳丽,等.秸秆还田配施氮肥对土壤水肥状况和玉米产量的影响[J].应用生态学报,2018,29(6):1928-1934.
- [7] 殷文,陈桂平,柴强,等.河西灌区不同耕作与秸秆还田方式对春小麦出苗及产量的影响[J].中国生态农业学报,2017,25(2):180-187.
- [8] Wang Y, Li M, Pei J B, et al. Dynamics of maize straw-derived nitrogen in soil aggregates as affected by fertilization [J]. Journal of Soils and Sediments, 2019, 19(7): 2882-2890.
- [9] Zhao H L, Shar A G, Li S, et al. Effect of straw return mode on soil aggregation and aggregate carbon content in an annual maize-wheat double cropping system [J]. Soil and Tillage Research, 2018, 175: 178-186.
- [10] Zhao X L, Wang H Y, Lu D J, et al. The effects of straw return on potassium fertilization rate and time in the rice-wheat rotation [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2019, 65(2): 176-182.
- [11] 王婧,张莉,逢焕成,等.秸秆颗粒化还田加速腐解速率提高培肥效果[J].农业工程学报,2017,33(6):177-183.

(下转第 120 页)