

保水剂和微生物菌肥配施对旱作燕麦土壤微生物生物量碳、氮含量及酶活性的影响

田露, 刘景辉, 赵宝平, 米俊珍, 李英浩, 王英, 费楠

(内蒙古农业大学农学院, 呼和浩特 010019)

摘要:为探讨保水剂和微生物菌肥配施后旱作燕麦土壤微生物生物量碳、氮含量及酶活性的影响,在内蒙古黄土高原旱作农田设置不施用保水剂和微生物菌肥(CK)、保水剂和微生物菌肥配施(A)、单施微生物菌肥(B)和单施保水剂(C)4个处理,分析燕麦全生育期内0—10,10—20,20—40 cm土壤微生物生物量碳、氮含量及酶活性时空动态变化和产量变化。结果表明:(1)全生育期,土壤微生物量碳含量呈“双峰”曲线变化,峰值均出现在孕穗期和灌浆期;氮含量呈先降低后升高再降低趋势,苗期含量最高;过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶活性均呈“单峰”曲线变化,过氧化氢酶、土壤蔗糖酶峰值在孕穗期,土壤脲酶则在抽穗期。(2)除CK外,土壤微生物量碳、氮含量及过氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶活性表现为0—10 cm > 10—20 cm > 20—40 cm,其中配施(A)对0—10,10—20 cm影响均显著($p < 0.05$),单施(B,C)仅对10—20 cm土层影响显著($p < 0.05$)。(3)10—20 cm土层,配施(A)与其他3个处理间差异均显著($p < 0.05$),提高微生物量碳含量4.82%~40.28%、微生物生物量氮含量8.44%~68.66%、过氧化氢酶活性13.32%~60.16%、蔗糖酶活性10.45%~39.14%、脲酶活性12.40%~55.62%。(4)配施(A)能同时显著($p < 0.05$)提高燕麦籽粒产量和生物产量,提高幅度分别为8.40%~20.12%和10.80%~25.09%。因此,保水剂和微生物菌肥配施在黄土高原旱作区具有较好改善土壤微生物活性效果,提高旱作燕麦产量。

关键词:保水剂;微生物菌肥;旱作燕麦;土壤微生物量;土壤酶活性

中图分类号:S513;O63

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2020)05-0361-08

DOI:10.13870/j.cnki.stbcbx.2020.05.050

Effects of Combination of Super Absorbent Polymer and Microbial Fertilizer on Soil Microbial Biomass Carbon, Nitrogen and Enzymes Activities of Oat Farmland in Dry Area

TIAN Lu, LIU Jinghui, ZHAO Baoping, MI Junzhen, LI Yinghao, WANG Ying, FEI Nan

(Agronomy College of Inner Mongolia Agriculture University, Hohhot 010019)

Abstract: In order to study the effects of combination of super absorbent polymer and microbial fertilizer on soil microbial biomass carbon, nitrogen and enzymes activities, four treatments, including no application of super absorbent polymer and microbial fertilizer (CK), combination of super absorbent polymer and microbial fertilizer (A), single application of microbial fertilizer (B) and single application of super absorbent polymer (C) were set up in the dryland area of the Loess Plateau. The spatial and temporal dynamics of soil microbial biomass carbon, nitrogen and enzymes activities of 0—10, 10—20, 20—40 cm soil layers during oat growth was analysed. The results showed that: (1) During the whole growth period, soil microbial biomass carbon showed a double-peak curve, the peaks appeared at the booting and filling stages. The soil microbial biomass nitrogen showed the trend of first decreasing, next increasing and then decreasing, with the highest content at the seeding stage. All the soil catalase, invertase and urease activities showed a single-peak curve, with the peak activities of soil catalase and invertase at the booting stage, and the peak of soil urease at heading stage. (2) Except CK, all the soil microbial biomass carbon, nitrogen, soil catalase, invertase and urease activities showed 0—20 cm > 0—10 cm > 20—40 cm. The combination treatment (A) had significant effects on 0—10, 10—20 cm soil layer ($p < 0.05$), the single treatments (B, C) had significant effects only on 10—20 cm soil layers ($p < 0.05$). (3) In 10—20 cm soil layer, compared with other three treat-

收稿日期:2020-03-04

资助项目:燕麦加工技术研究与旱作高产栽培示范推广项目(201802062);国家燕麦荞麦产业技术体系项目(CARS-08-B-5)

第一作者:田露(1988—),女,山西朔州人,博士研究生,主要从事作物栽培与耕作研究。E-mail:tltdl_hi@126.com

通信作者:刘景辉(1965—),男,内蒙古通辽人,教授,博士生导师,主要从事耕作制度与农业生态系统研究。E-mail:cauljh@163.com

ments, the combination treatment (A) all had the significant effects ($p < 0.05$). Soil microbial biomass carbon was improved by 4.82% ~ 40.28%, soil microbial biomass nitrogen improved by 8.44% ~ 68.66%, soil catalase activity improved by 13.32% ~ 60.16%, invertase activity improved by 10.45% ~ 39.14% and urease activity improved by 12.40% ~ 55.62%. (4) Combination treatment (A) had significant effects both on grain and biological yield ($p < 0.05$), the increasing range was 8.40% ~ 20.12% and 10.80% ~ 25.09%. So the combination of super absorbent polymer and microbial fertilizer had best effects on improving soil microbial activity and oat yield in the dry farmland of Inner Mongolia Loess Plateau.

Keywords: super absorbent polymer; microbial fertilizer; dry oats; soil microbial biomass; soil enzyme activities

黄土高原内蒙古段是我国北方典型的旱作农业生产区域,该区域降雨量少且分布不均匀,土壤水分亏缺是制约该区域农业生产的重要因素^[1]。如何有效提高该区域旱作农业生产效率,改善土壤供水供肥能力一直是该区域农业发展的重点。

土壤微生物是连接土壤和作物之间的桥梁,它们直接参与土壤中的生物化学过程,在土壤物质转化和养分驱动中起着重要作用^[2]。土壤微生物生物量碳、氮参与土壤碳素、氮素养分转化,能够直观地反映土壤微生物活性和土壤肥料状况^[2]。土壤酶参与土壤养分转化和运移,能够反映作物对养分吸收利用情况,是土壤供肥能力的生物活性指标^[3]。因此研究旱作农业中土壤微生物生物量碳、氮以及土壤酶活性的变化对有助于系统了解旱作土壤肥力的变化,能够为该区域土壤培肥提供一定的理论和技术指导。

保水剂是近年来被应用于旱作农业生产中具有较好保水改土效果的高分子材料,其在保持旱作农田土壤水分、改善土壤质量和促进作物增产上具有较好效果^[4-5],能够有效提高土壤微生物碳、氮含量,与其施入方式、施入量均有一定关系^[6-7],同时能促进土壤蔗糖酶、蛋白酶、多酚氧化酶和脲酶等活性改善,有利于氮素和碳素的循环和转化^[8-9]。目前关于保水剂对土壤微生物的研究还集中在其单独施用的种类、施用量以及施用方式等,且现与保水剂配施的研究多集中于与化肥、有机肥等^[10-11]。微生物菌肥是近年来研制的一种以添加有效微生物菌来改善土壤环境的有机肥料^[12],部分研究^[13-14]表明,微生物菌肥对土壤微生物的影响最为直接,通过直接改变土壤微生物分布,进而影响土壤微生物量含量,影响土壤酶活性,近年来微生物菌肥已广泛被应用于农业生产,但微生物菌肥施用受到环境条件的限制,有研究^[15]表明,微生物菌群的繁殖和生长需要良好的环境,在不同土壤环境下,其效果表现不一致。目前关于微生物菌肥对土壤微生物的研究多集中在设施土壤、连作土壤修复及其施用量上,且现与微生物菌肥配施的研究集中在其与生物炭、化肥的配合施用^[16-17]。目前关于将保水剂与微生物菌肥配施的研究仅见其应用于半干旱区造林研究中^[18-20],未

见相关应用于农作物生产上的相关研究。

本研究针对黄土高原旱作区土壤贫瘠、保水保肥能力差的现状,以保水剂、微生物菌肥单施的局限性为切入,拟通过将其配施,分析其对旱作燕麦土壤微生物生物量碳、氮和酶活性的影响,以期为黄土高原旱作区农田生产提供一种有效的保水培肥措施,为指导该区域旱作农业生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于内蒙古清水河县进行(111°39'E, 40°06'N)。试验地海拔 1 374 m,年平均温度 7.1 °C,有效积温 2 370 °C,无霜期 140 天,年均降水量 365 mm,年蒸发量 2 577 mm,属典型的中温带半干旱大陆性季风气候。供试土壤为黄绵土,0—20 cm 土层土壤容重为 1.49 g/cm³,田间持水量为 25%,凋萎湿度为 6%,有机质、全氮全磷、全钾含量分别为 10.96, 0.69, 0.43, 11.85 g/kg,碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为 37.1, 6.55, 118.9 mg/kg。试验地 2019 年试验期间降水量及气温数据见图 1。

1.2 试验材料与试验设计

1.2.1 试验材料 保水剂选用农林保水剂(钾盐型),选购于任丘市鹏宇化工有限公司。微生物菌肥选购于内蒙古阜丰生物科技有限公司,其有效活菌数 ≥ 1.0 亿/g,总养分 $\geq 15\%$,总 N $\geq 12.0\%$,有机质 $\geq 20\%$,水分 $\leq 3.0\%$ 。燕麦品种为“坝蓆 18 号”。

1.2.2 试验设计 试验于 2019 年 6—10 月进行,设不施保水剂和微生物菌肥(CK)、保水剂和微生物菌肥配施(处理 A)、单施微生物菌肥(处理 B)和单施保水剂(处理 C) 4 个处理,其中保水剂施用量为 22.5 kg/hm²、微生物菌肥施用量为 1 500 kg/hm²。试验采用随机区组设计,重复 3 次,共计 12 个小区,小区面积 5 m \times 8 m=40 m²。保水剂和微生物菌肥均在播种前与种肥进行混合,种肥采用磷酸二铵,施用量为 150 kg/hm²,燕麦采用机械条播,播种量 150 kg/hm²,种植行距 25 cm,保水剂、微生物菌肥、种肥均通过分层播种机随播种施入土壤,施入深度为 10—15 cm。2019 年 6 月 17 日进行播种,10 月 11 日收获。

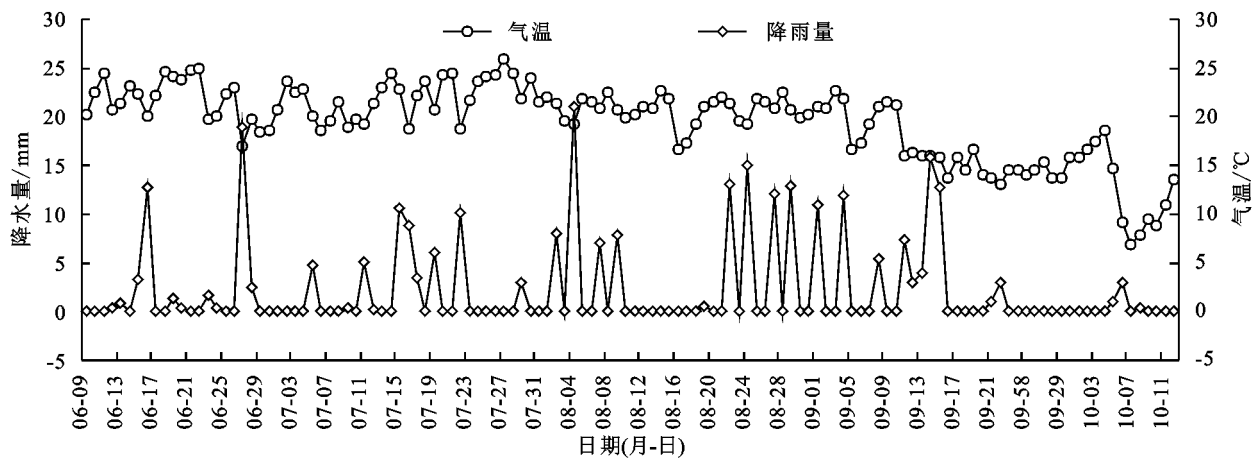


图1 2019年试验期间试验地降水量与气温

1.2.3 测定指标与方法 于燕麦苗期(7月2日)、拔节期(7月20日)、孕穗期(8月5日)、抽穗期(8月26日)、灌浆期(9月6日)和成熟期(10月11日)进行取样。取样采取蛇形方法,采取燕麦根部0—10,10—20,20—40 cm 土层土样,每个小区取3点,将3点进行混合后带回实验室。取回土壤样品一部分过2 mm 筛,置于4 °C 冰箱保存用于测定微生物量碳、氮,另一部分风干研磨后过2 mm 筛供土壤酶活性测定。

土壤微生物生物量碳采用熏蒸提取—容量分析法^[21]测定;土壤微生物生物量氮采用熏蒸提取—茚三酮比色法^[21]测定;过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法^[22]测定;蔗糖酶活性采用3,5—二硝基水杨酸比色法^[22];脲酶活性采用靛酚比色法^[22]测定。

燕麦成熟后,于每小区选取生育期内未取样的1 m²样点3个,晒干,带回实验室进行测产、考种,项目分别包括收获期穗数、穗粒数、单穗粒重、千粒重。

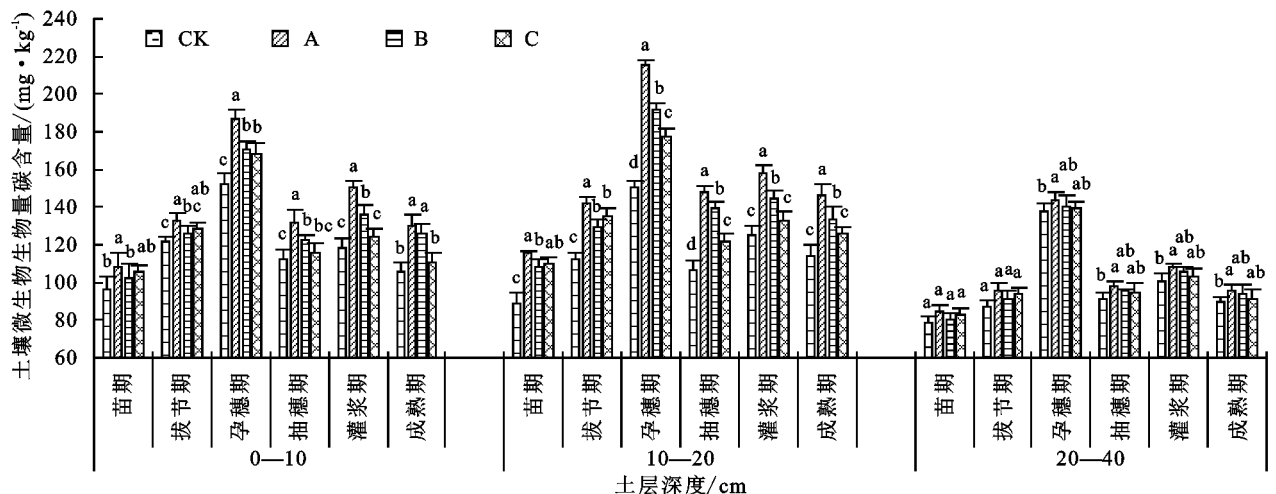
1.3 数据处理与分析

采用 Excel 2016 进行数据计算、处理,并作图,采用 SAS 9.0 软件进行显著性分析,采用 SPSS 17.0 软件进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 保水剂与微生物菌肥施肥对土壤微生物生物量碳含量的影响

不同处理对土壤微生物生物量碳含量的影响见图2。随着生育时期的推进,各处理土壤微生物生物量碳含量均呈现“双峰”曲线变化,且在3个土层生育时期变化基本表现一致。随着生育期的推进,土壤环境的不断改善,先呈现增加趋势,到燕麦孕穗期达到第1个峰值,之后随着土壤温度的不断升高,燕麦吸收养分增加,抽穗期含量下降,之后随着降雨量增多,气温下降,土壤环境又一次得到改善,较适宜土壤微生物生长,到灌浆期上升,达到第2个峰值,随后下降,但后期基本趋于稳定。



注:同一土层同一生育时期不同小写字母差异达0.05显著水平下同。下同。

图2 不同处理土壤微生物生物量碳含量

不同土层间,各处理土壤微生物生物量碳含量变化不一致,处理CK均表现为随着土层的加深,土壤微生物生物量碳含量逐渐下降,其余3个处理则表现为10—20 cm > 0—10 cm > 20—40 cm,不同土层间各处

理除苗期、拔节期,各处理间表现为处理A > B > C > CK,苗期、拔节期基本表现为处理A > C > B > CK,各处理对10—20 cm 土壤微生物生物量碳影响最为明显,且在该层处理间差异最大,0—10 cm 次之,对20—40 cm

土层影响不明显。与 CK 相比,处理 A 可在燕麦生长全生育时期显著提高 0—10,10—20 cm 土层微生物生物量碳含量,对 20—40 cm 土层在燕麦生长旺期后具有显著效果;处理 B 在生育前期对 0—10 cm 土层土壤微生物量碳含量影响不显著,随着生育期的推进,其对 0—10,10—20 cm 土层土壤微生物生物量碳含量影响显著,对 20—40 cm 土层无显著影响;处理 C 在生育前期对 0—10,10—20 cm 土层土壤微生物生物量碳含量影响显著,但生育后期其效果不显著,对 20—40 cm 土层无显著影响,同时处理 A 除生育前期(苗期、拔节期)外,对后期 0—10,10—20 cm 土层微生物生物量碳含量的影响均显著高于 2 个单施处理,2 个单施处理之间除在 10—20 cm 土层生长旺期(孕穗期、抽穗期)间存在显著差异,表现为处理 B 优于处理 C,其他生育时期和土层间基本表现差异不显著。

综上所述,保水剂和微生物菌肥配施可以显著改善土壤微生物生物量碳含量,单施保水剂在生长前期较单施微生物菌肥具有部分优势,但随着生育期的推进,单施微生物菌肥效果优于单施保水剂,以 10—20 cm 土层为例,配施处理与 CK 相比,土壤微生物生物量碳含量提高幅度为 26.72%~40.28%,与单施保

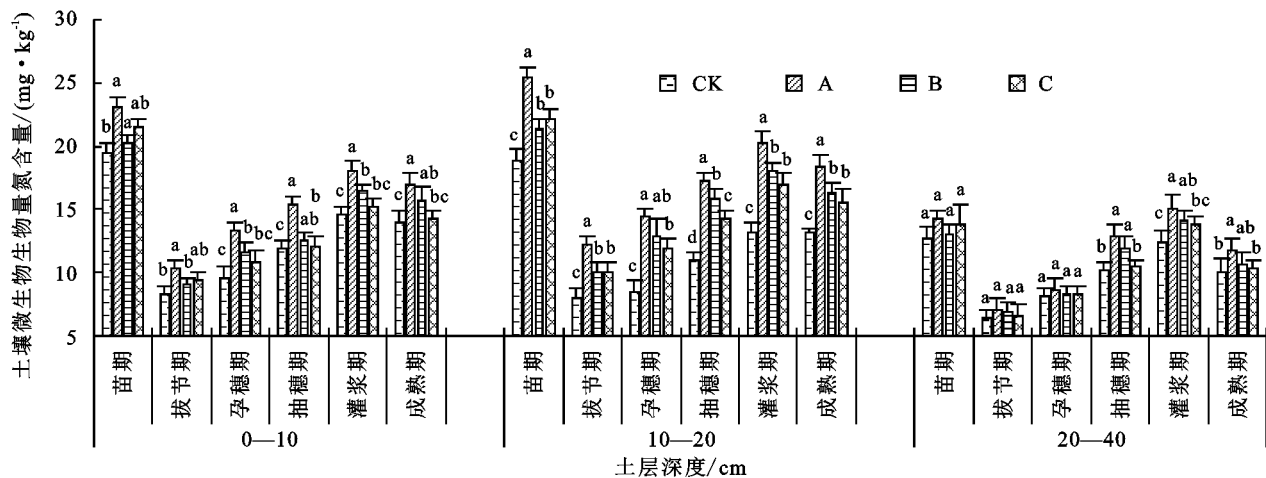


图 3 不同处理土壤微生物生物量氮含量

不同土层间,各处理土壤微生物生物量氮含量变化不一致,处理 CK 均表现为随着土层的加深,土壤微生物生物量氮含量逐渐下降,其余 3 个处理则表现为 10—20 cm>0—10 cm>20—40 cm,不同土层间各处理除苗期、拔节期,各处理间表现为处理 A>B>C>CK,苗期、拔节期基本表现为处理 A>C>B>CK,各处理对 10—20 cm 土壤微生物生物量氮影响最为明显,且在该层处理间差异最大,0—10 cm 次之,对 20—40 cm 土层影响不明显。与 CK 相比,处理 A 可在燕麦生长全生育时期显著提高 0—10,10—20 cm 土层微生物生物量氮含量,在生育后期显著提高 20—40 cm 土层含量;2 个单施处理对 10—20 cm 土层影响较为明显,对 0—10 cm 表现不同,处理 B 在生育后期显著影响该土层土壤微生物生物量氮

水剂处理相比,提高幅度为 4.82%~21.18%,与单施微生物菌肥相比,提高幅度为 6.60%~9.98%。以各处理差异最明显的孕穗期为例,配施(处理 A)、单施微生物菌肥(处理 B)、单施保水剂(处理 C)10—20 cm 土层土壤微生物量碳含量较 0—10,20—40 cm 提高 15.50%和 50.16%、12.44%和 36.56%、5.48%和 27.62%。

2.2 保水剂与微生物菌肥配施对土壤微生物生物量氮含量的影响

不同处理对土壤微生物生物量氮含量的影响见图 3。随着生育时期的推进,各处理各土层土壤微生物生物量氮含量均呈现先降低后增加再降低的趋势。自苗期到拔节期出现幅度较大的下降,由于肥料的施入使土壤中氮源增加,作物吸收利用少,苗期含量较高,随着作物生长,对氮素需求增多,使其含量下降,到拔节期达到最低,这与燕麦对养分吸收的敏感程度和土壤养分对微生物影响有关,燕麦拔节期对氮素的需求较大,使得一部分微生物生物量氮经过矿化后被作物吸收,使其含量降低,之后随着作物生长对氮素吸收量减少,加之土壤环境的不断改善,其含量升高,灌浆期达到第 2 个峰值,之后随着土壤温度下降,土壤环境条件较之前有所变化,成熟期下降,但下降不明显。

含量,处理 C 仅在苗期对该土层土壤微生物生物量氮含量影响显著;同时处理 A 除生育前期(苗期、拔节期)外,对后期 0—10,10—20 cm 土层微生物生物量氮含量的影响均显著高于 2 个单施处理,2 个单施处理之间除在 10—20 cm 土层生长旺期(孕穗期、抽穗期)间存在显著差异,表现为处理 B 优于处理 C,其他生育时期和土层间基本表现差异不显著。

综上所述,保水剂和微生物菌肥配施可以显著改善土壤微生物生物量氮含量,随着生育期的推进,单施微生物菌肥效果优于单施保水剂,以 10—20 cm 土层为例,配施处理与 CK 相比,土壤微生物生物量氮含量提高幅度为 34.89%~68.66%,与单施保水剂处理相比,提高幅度为 8.44%~22.97%,与单施微生物菌肥相比,提高幅度为 14.83%~21.63%。配施

(处理 A)、单施微生物菌肥(处理 B)、单施保水剂(处理 C)10—20 cm 土层土壤微生物量氮含量较 0—10,20—40 cm 提高 7.70%~18.68% 和 33.47%~78.43%、3.23%~27.06% 和 27.76%~63.64%、3.45%~17.24% 和 23.14%~60.91%。

2.3 保水剂与微生物菌肥配施对土壤酶活性的影响

由图 4 可知,随着生育时期的推进,各处理不同土层土壤过氧化氢酶、土壤蔗糖酶、土壤脲酶均活性整体呈现先增加后降低的“单峰”曲线变化。随着生育期推

进,土壤环境改善,作物生长,土壤和根系呼吸作用加强,土壤中氧化还原反应、碳素转化反应和氮素转化反应都随之增强,使得 3 种酶活性增强,其中土壤过氧化氢酶、土壤蔗糖酶在孕穗期达到最大值,土壤脲酶则在抽穗期,这可能是由于作物对养分的吸收敏感期不同造成的,随后随着土壤温度的升高和降雨的增多,影响了土壤中化学反应,3 种土壤酶活性表现降低,均在灌浆期较低,随后土壤过氧化氢酶和蔗糖酶活性均趋于稳定,脲酶活性则在成熟期略有增加。

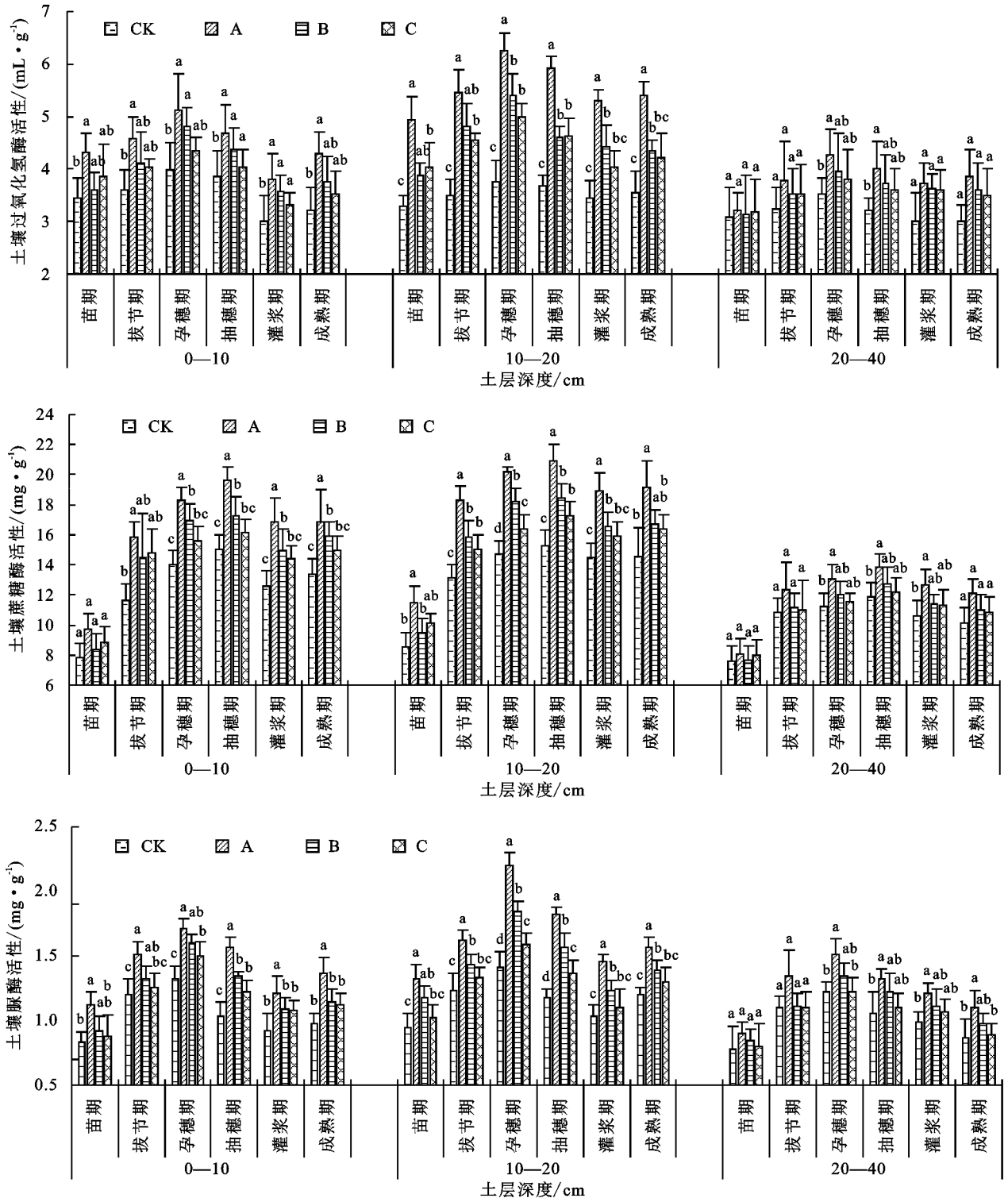


图 4 保水剂与微生物菌肥配施对土壤酶活性的影响

不同土层间,土壤过氧化氢酶处理 CK 表现为随着土层加深,酶活性降低,其他 3 个处理表现为 10—20 cm>0—10 cm>20—40 cm;土壤蔗糖酶、脲酶在 4 种处理间表现一致,均表现为 10—20 cm>0—10 cm>20—40 cm。土壤过氧化氢酶、蔗糖酶不同土层间各处理除苗期、拔节期,各处理间表现为处理 A>B>C>CK,苗期、拔节期表现为为处理 A>C>B>CK;土壤脲酶则在各处理间均表现为 A>B>C>CK,且各处理对 10—20 cm 土层 3 种酶活性影响较大,0—10 cm 土层次之,对 20—40 cm 土层影响不显著。其中,与 CK 相比,处理 A 能够在全生育时期保持 0—10,10—20 cm 土层 3 种酶活性均显著提高,处理 B、处理 C 仅在部分时期对 0—10 cm 土层 3 种酶活性有显著影响,对 10—20 cm 土层基本表现为全生育时期均有显著影响,但处理 B 和处理 C 之间对 3 种酶活性的影响仅在生长旺期基本表现显著,以处理 B 优于处理 C。

综上所述,保水剂和微生物菌肥配施可以显著提高土壤酶活性,单施则以微生物菌肥略优于保水剂。以 10—20 cm 土层为例,配施处理与 CK 相比,土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶活性提高幅度分别为 50.09%~60.16%,30.58%~39.14%,30.46%~55.62%;与单施保水剂处理相比,提高幅度为 20.10%~30.74%,13.41%~23.18%,20.18%~38.20%;与单施微生物菌肥相比,提高幅度为 13.32%~28.95%,10.45%~21.14%,12.40%~19.04%。配施(处理 A)、单施微生物菌肥(处理 B)、单施保水剂(处理 C)10—20 cm 土层土壤过氧化氢酶活性较 0—10 cm 和 20—40 cm 提高 13.87%~39.20%和 34.95%~53.64%,5.19%~24.44%和 20.99%~36.99%,4.98%~22.38 和 12.41%~31.14%;土壤蔗糖酶活性分别提高 6.74%~18.05%和

42.98~58.80%,4.96%~13.09%和 23.37%~50.68%,2.03%~14.57%和 27.53%~50.68%;土壤脲酶活性分别提高 7.61%~27.97%和 20.05%~46.87%,8.29%~28.61%和 10.93%~40.43%,2.79%~16.06%和 3.26%~45.77%。

2.4 保水剂与微生物菌肥配施对燕麦产量的影响

由表 1 可知,燕麦产量构成因素除千粒重外,收获穗数、穗粒数、单穗粒重均表现为处理 A>C>B>CK,千粒重表现为处理 A>B>C>CK。分析产量构成因素显著性可知,与不施用处理比较,仅有配施(处理 A)可以同时显著提高收获穗数、穗粒数和单穗粒重,单施保水剂(处理 C)和单施微生物菌肥(处理 B)仅能显著提高穗粒数,且两者之间以单施保水剂效果优于单施微生物菌肥;与单施保水剂相比,配施仅可以显著提高收获穗数,与单施微生物菌肥相比,配施可以显著提高收获穗数和穗粒数。以收获穗数为例,配施较单施保水剂、单施微生物菌肥和不施用分别提高了 11.53%,12.68%,18.27%。

分析籽粒产量和生物产量,籽粒产量表现为处理 A>C>B>CK。生物产量表现为处理 A>B>C>CK。显著性均表现为配施(处理 A)显著高于其他 3 个处理,单施处理中,单施保水剂在籽粒产量显著高于 CK,单施微生物菌肥在生物产量显著高于 CK,但 2 个单施处理在籽粒产量和生物产量之间差异均不显著。配施较单施保水剂、单施微生物菌肥、CK 在籽粒产量和生物产量上分别提高 8.40%和 11.69%,20.12%和 15.80%,10.80%和 25.09%。

综合分析产量构成因素和籽粒产量,可见相对于其余 3 个处理,保水剂和微生物菌肥配施在显著提高籽粒产量上主要是由于显著提高了收获成穗数。

表 1 不同处理下燕麦产量构成

处理	收获穗数/ ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	穗粒数/ 个	单穗粒重/ g	千粒重/ g	籽粒产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	生物产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
CK	215.44b	56.42c	1.41b	23.39a	2671.54c	9571.45c
A	254.79a	81.30a	1.87a	24.58a	3209.17a	11972.65a
B	226.11b	71.60b	1.54ab	23.99a	2873.35bc	10805.40b
C	228.45b	79.22a	1.79ab	23.79a	2960.42b	10338.50bc

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异达 0.05 显著水平。

2.5 燕麦产量与土壤微生物量碳、氮含量及土壤酶活性相关性

由表 2 可知,燕麦籽粒产量与土壤微生物生物量碳含量、土壤过氧化氢酶、土壤蔗糖酶和土壤脲酶均间具有极显著相关性,与土壤微生物生物量氮含量间具有显著相关性,由本文研究表明,保水剂和微生物菌肥配施能够在燕麦全生育时期提高 0—10,10—20

cm 土层土壤微生物量碳、氮含量、土壤过氧化氢酶、土壤蔗糖酶和土壤脲酶活性,这对促进燕麦籽粒产量形成具有重要意义。

3 讨论

保水剂具有特殊的分子结构,具有高分子链状,能够较好地保水蓄水,同时实现改善土壤环境,为微生物的生存提供良好的环境,促使微生物大量繁

殖,使得土壤微生物数量增加,土壤微生物生物量、土壤酶活性均受到影响,关于保水剂施用对土壤微生物量碳、氮和酶活性的影响,前人^[5-7]研究结果不尽一致,研究表明不同施用方式、不同施用量保水剂均能使土壤微生物生物量碳、氮含量增加,但关于其对不同土层的影响结果不一致,部分结果表明随着土层的加深,土壤微生物生物量碳、氮含量减少,部分研究^[6-7]结果表明,保水剂对其近施入层影响较为显著,这可能是由于土壤类型不同,作物根系分布不同,对碳、氮吸收利用能力不同造成的;前人^[8-9]研究表明,保水剂施用后土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶活性均有所提高,但曲贵伟等^[23]研究表明,保水剂施用可以提高土壤蔗糖酶活性,但显著抑制了土壤脲酶活性,分析原因可能是由于其研究为复垦区重金属污染土壤,与农田作物种植差生差异。微生物菌肥由于

其本身含有有效活菌,加入土壤后,在适宜土壤环境条件下有效活菌进行繁殖,直接改变了土壤中微生物数量与活性,对土壤微生物生物量碳、氮含量以及土壤酶活性都会起到影响,前人^[13]研究表明,微生物菌肥施用后土壤微生物数量增加,土壤由“真菌型”向细菌型转变,土壤微生物生物量碳、氮含量均表现显著增加,但未见对施入菌肥后不同土层微生物生物量碳、氮含量影响的相关分析;土壤过氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶活性均有所提高^[14],且随着土层的加深,土壤酶活性均呈现依次降低的趋势,但过高或过低施用量会造成土壤酶活性受到抑制,也有部分研究^[24]表明,施入微生物菌肥对土壤脲酶活性有促进作用,但对土壤过氧化氢酶和蔗糖酶影响不明显,分析其原因可能是由于研究所利用微生物菌肥种类以及作物对养分吸收的不同造成。

表 2 燕麦产量与土壤微生物量碳、氮含量及土壤酶活性相关性

指标	籽粒 产量	土壤 微生物量碳	土壤 微生物量氮	土壤 过氧化氢酶	土壤 蔗糖酶	土壤脲酶
籽粒产量	1.000					
土壤微生物量碳	0.789**	1.000				
土壤微生物量氮	0.692*	0.883**	1.000			
土壤过氧化氢酶	0.861**	0.917**	0.799**	1.000		
土壤蔗糖酶	0.776**	0.667*	0.760**	0.690*	1.000	
土壤脲酶	0.805**	0.837**	0.818**	0.886**	0.614*	1.000

注: * 表示在 0.05 水平显著相关; ** 表示在 0.01 水平极显著相关。

本研究得出,单施保水剂、单施微生物菌肥、保水剂和微生物菌肥配施均能提高土壤微生物生物量碳、氮含量和土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶活性,但不同土层间表现与前人^[6-7]研究不一致,这是由于本研究将保水剂、微生物菌肥与种肥混合,通过播种机进行施入,与前人^[6-7]施用方式不同,同时施入层为 10—15 cm,因此对 10—20 cm 土层影响最为显著,该层含量较大;本研究中发现,保水剂单施在生育前期改善土壤微生物活性略优于单施微生物菌肥,这是由于保水剂属于高分子材料,施入土壤后遇水可以迅速将水分蓄持,能够在短时间内土壤微生物的生长提供较好的水分条件,但随着生育时期的推进,单施微生物菌肥在改善土壤微生物活性的效果逐渐显现,这是由于微生物菌肥施入后具有适应环境的时间,随着有效菌的不断繁殖,土壤水分条件不断改善,土壤环境逐渐得到改善,其作用逐渐发挥;目前将保水剂和微生物菌肥配施的研究仅见于干旱区造林中,武毅等^[18]、宋双双等^[20]研究表明,将适宜用量的保水剂和微生物菌肥配施有效提高了旱区白蜡、樟子松土壤微生物生物量碳、氮含量,改善了土壤环境。本研究发现,将

保水剂和微生物菌肥配施后能够在全生育时期显著提高 0—10, 10—20 cm 土层土壤微生物生物量碳、氮含量和土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶活性,这正可弥补两者单施的局限,这是由于保水剂给微生物菌肥进入土壤的适应环境和菌种繁殖提供了良好的水分条件,同时微生物菌肥在菌种繁殖、肥力发挥作用的同时,由于其含有许多功能微生物,其施入土壤会产生大量的代谢产物,这些代谢产物会使土壤结构变得松散,良好的土壤结构又为保水剂的长效发挥提供了基础,保水剂在良好的土壤结构中能够较好发挥其保水蓄水功能,同时微生物菌肥能够增加土壤中养分含量,保水剂在锁住水分的同时也可以锁住养分,二者配合能够较好改善土壤生物学性状,为旱作区作物生长提供较好的水肥水平;同时本研究中燕麦籽粒产量与土壤微生物生物量碳含量、氮含量、土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶活性呈显著或极显著相关关系,从而促进了旱作燕麦产量形成,能够同时显著提高燕麦籽粒产量和生物产量,对该区域旱作农田生产有重要意义。

4 结论

本研究中随着燕麦生育时期的推进,土壤微生物

生物量碳含量呈双峰曲线变化,峰值出现在孕穗期和灌浆期;土壤微生物生物量氮含量呈现先降低再升高再降低的趋势,苗期含量最高;土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶均呈现先升高后降低“单峰”曲线变化趋势,其中土壤过氧化氢酶、土壤蔗糖酶在孕穗期达到最大值,土壤脲酶则在抽穗期。

除CK外,各处理不同土层旱作燕麦土壤微生物生物量碳、氮含量和过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶活性均表现为 $10-20\text{ cm} > 0-10\text{ cm} > 20-40\text{ cm}$,且对 $10-20\text{ cm}$ 土层具有最显著影响,保水剂、微生物菌肥单施和配施改善旱作燕麦土壤微生物生物量碳、氮含量和土壤酶活性均有一定效果,但配施较单施效果更为显著,能够在全生育时期显著提高 $0-10, 10-20\text{ cm}$ 土层土壤微生物生物量碳含量、氮含量、过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶活性 ($p < 0.05$),提高幅度分别为 $4.82\% \sim 40.28\%$, $8.44\% \sim 68.66\%$, $13.32\% \sim 60.16\%$, $10.45\% \sim 39.14\%$, $12.40\% \sim 55.62\%$ 。

保水剂单施、微生物菌肥单施、保水剂和微生物菌肥配施能够不同程度促进燕麦籽粒产量和生物产量形成,但仅有配施处理能够同时显著 ($p < 0.05$) 提高燕麦籽粒产量和生物产量,提高幅度为 $8.40\% \sim 20.12\%$ 和 $10.80\% \sim 25.09\%$ 。

参考文献:

- [1] 郭晓霞,刘景辉,田露,等.免耕轮作对内蒙古地区农田贮水特性和作物产量的影响[J].作物学报,2012,38(8):504-512.
- [2] Philippot L, Raaijmakers J M, Lemanceau P, et al. Going back to the roots: The microbial ecology of the rhizosphere[J]. Nature Reviews Microbiology, 2013, 11(11):789-799.
- [3] 杨宁,邹冬生,杨满元,等.衡阳紫色土丘陵坡地不同植被恢复阶段土壤酶活性特征研究[J].植物营养与肥料学报,2013,19(6):1516-1524.
- [4] 杨永辉,吴普特,武继承,等.保水剂对冬小麦不同生育阶段土壤水分及利用的影响[J].农业工程学报,2010,26(12):19-26.
- [5] 程闯胜,任树梅,杨培岭,等.保水剂对大田雨养玉米水肥利用效率影响的试验研究[J].灌溉排水学报,2014,33(6):141-144.
- [6] 李倩,巴图,李玉龙,等.保水剂施用方式对土壤含水量和微生物生物量及马铃薯产量的影响[J].西北农业学报,2017,26(10):1453-1460.
- [7] 王琰,井大炜,付修勇,等.保水剂施用量对杨树苗土壤物理性状与微生物活性的影响[J].水土保持通报,2017,37(3):53-58.
- [8] 李倩,刘景辉,巴图,等.保水剂施用方式对土壤酶活性及马铃薯产量的影响[J].西北农林科技大学学报,2017,45(5):116-122.
- [9] 李庆国,张晓文.保水剂施用方式对杨树苗根系特性和生长及土壤酶活性的影响[J].中国农学通报,2019,35(14):36-40.
- [10] 石正海,刘文辉,张永超,等.增磷减氮配合保水剂可提高多年生西北羊茅种子产量[J].植物营养与肥料学报,2019,25(11):1967-1976.
- [11] 陆文聪,刘聪.化肥污染对粮食作物生产的环境惩罚效应[J].中国环境科学,2017,37(5):1988-1994.
- [12] 张瑞福,颜春荣,张楠,等.微生物肥料研究及其在耕地质量提升中的应用前景[J].中国农业科技导报,2013,15(5):8-16.
- [13] 杨冬艳,冯海萍,桑婷,等.微生物菌肥对日光温室菜豆土壤生物活性的影响[J].内蒙古农业大学学报,2017,38(6):18-24.
- [14] 徐忠山,杨彦明,陈晓晶,等.菌肥对混播牧草土壤酶活性及微生物的影响[J].中国土壤与肥料,2018(6):77-83.
- [15] 许景钢,孙涛,李嵩.我国微生物肥料的研发及其在农业生产中的应用[J].作物杂志,2016(1):1-6.
- [16] 李鹏程,苏学德,王晶晶,等.腐植酸肥与菌肥配施对果园土壤性质及葡萄产量、品质的影响[J].中国土壤与肥料,2018(1):121-126.
- [17] 李琦,姚拓,杨晓玫,等.半干旱地区不同剂型微生物菌肥替代部分化肥对燕麦生长和品质的影响[J].干旱区资源与环境,2020,34(3):159-165.
- [18] 武毅,孙保平,张建锋,等.微生物菌肥和保水剂对干旱区土壤肥力的影响研究[C]//中国环境科学学会,中国环境科学学会科学技术年会论文集.西安:中国环境科学学会,2019:2755-2763.
- [19] 宋双双,孙保平,张建锋.保水剂和微生物菌肥对半干旱区造林和土壤改良的影响[J].水土保持学报,2018,32(3):334-339.
- [20] 宋双双,孙保平,张建锋,等.保水剂与微生物菌剂对土壤水分、养分的影响[J].干旱区研究,2018,35(4):761-767.
- [21] 吴金水,林启美,黄巧云,等.土壤微生物生物量的测定方法及应用[M].北京:气象出版社,2006:54-71.
- [22] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986:274-323.
- [23] 曲贵伟, De Varennes A, 依艳丽.聚丙烯酸盐对长期重金属污染的矿区土壤的修复研究:对土壤微生物数量和土壤酶活性的影响[J].农业环境科学学报,2008,28(4):653-657.
- [24] 贺文员,宋清晖,杨尚霖,等.生物有机肥对水稻土壤酶活性及微生物群落结构的影响[J].中国农学通报,2019,35(27):106-113.