# 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

王 琰[1], 井大炜[1], 付修勇[1], 刘富刚[1], 段晓尘[1],
刘 芬[1], 郭艳玲[2], 咎林生[2], 张 红[2], 贾海慧[2]

(1. 德州学院 资源环境与规划学院, 山东 德州 253023; 2. 德州学院 生态与园林建筑学院, 山东 德州 253023)

**摘 要**: [目的] 探讨保水剂不同施用量对杨树土壤物理性状与微生物活性的作用效果,为中国杨树人工林节水高产实践模式提供理论依据与技术参考。[方法] 研究 CK(常规灌量)、CL(60%常规灌量配施10 g保水剂)、CM(60%常规灌量配施 30 g 保水剂)和 CH(60%常规灌量配施 50 g 保水剂)4 个处理对杨树苗土壤物理性状、水稳性团粒结构、微生物数量、微生物呼吸和代谢熵的影响。[结果] 同 CK 相比,CM 处理显著降低了土壤容重,并明显提高了非毛管孔隙度,其中土壤容重分别较 CK,CL 和 CH 处理显著下降 13.71%,5.31%和 7.76%;还明显促进了土壤大团聚体(>0.25 mm 团粒)的形成。同时,CM 处理明显增加了土壤微生物总量和微生物量碳、氮含量,并显著增强了土壤微生物呼吸作用,其微生物呼吸速率分别比 CK,CL 和 CH 处理提高 30.77%,11.84%和 7.59%。此外,CM 处理还降低了代谢熵,分别较 CK,CL 和 CH 处理下降 4.81%,8.29%和 9.74%。[结论] 适宜的节水灌溉措施(60%常规灌量与 30 g 保水剂组合)有助于改善杨树苗土壤的物理环境,并增强微生物活性。

**关键词**: 保水剂; 杨树苗; 土壤团聚体; 土壤微生物呼吸; 代谢熵

**文献标识码**: A **文章编号**: 1000-288X(2017)03-0053-06 **中图分类号**: S157.4, S728.2

**文献参数**: 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. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.009; Wang Yan, Jing Dawei, Fu Xiuyong, et al. Effects of application amount of super-absorbent polymer on soil physical characteristics and microbial activity under poplar seedlings[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017,37(3):53-58. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.009

# Effects of Application Amount of Super-absorbent Polymer on Soil Physical Characteristics and Microbial Activity Under Poplar Seedlings

WANG Yan[1], JING Dawei[1], FU Xiuyong[1], LIU Fugang[1],
DUAN Xiaochen[1], LIU Fen[1], GUO Yanling[2], ZAN Linsheng[2], ZHANG Hong[2], JIA Haihui[2]

(1. *College of Resources Environment and Planning, Dezhou University, Dezhou, Shandong* 253023, *China*; 2. *College of Ecology and Garden Architecture, Dezhou University, Dezhou, Shandong* 253023, *China*)

**Abstract**: [Objective] The effects of different application amounts of super-absorbent polymer(SAP) on soil physical characteristics and microbial activity under growing poplar were researched to provide theoretical basis and technical reference for high-yield and water-saving practice modes in Chinese poplar plantation. [Methods] Four treatments, including CK(conventional irrigation), CL(60% conventional irrigation quantity co-applied with 10 g SAP), CM(60% conventional irrigation quantity co-applied with 30 g SAP) and CH (60% conventional irrigation quantity co-applied with 50 g SAP) were set. Their effects on soil physical properties, water stability of crumb structure, microbial populations, microbial respiration and metabolic

**收稿日期**:2017-02-17 **修回日期**:2017-03-16

**资助项目**:国家自然科学基金项目"断根对杨树切口处不同根序细根的形态特征、解剖结构及生理代谢的调控机理研究"(31500513); 德州学院科技人才引进项目(311890)

**第一作者**:王琰(1998—),女(汉族),山东省聊城市人,本科,研究方向为自然地理与资源环境。E-mail:dlxwangyan@163.com。

**通讯作者**:井大炜(1982—),男(汉族),陕西省绥德县人,讲师,博士,主要从事植物营养机理与调控研究。E-mail:jingdawei009@163.com。

quotient under poplar seedlings grew in pots were determined. [Results] The CM treatment significantly reduced soil bulk density and obviously increased non-capillary porosity. The soil bulk densities decreased in 13.71%, 5.31% and 7.76% as compared with those of CK, CL and CH, respectively. The formation of soil large aggregate(>0.25 mm size) was also promoted by the CM treatment. Moreover, the CM treatment observably increased total microbial populations and the contents of microbial biomass carbon and microbial biomass nitrogen. And CM treatment significantly enhanced microbial respiration, having 30.77%, 11.84% and 7.59% increases in microbial respiration rate in comparison with the ones of CK, CL and CH, respectively. In addition, the metabolic quotient was reduced by the CM treatment, having 4.81%, 8.29% and 9.74% decreases as compared with the ones of CK, CL and CH, respectively. [Conclusion] As a result, the proper water-saving irrigation measure(60% conventional irrigation quantity co-applied with 30 g SAP) is beneficial to improve soil physical environment and enhance soil microbial activity under poplar seedlings.

**Keywords: super-absorbent polymer; poplar seedlings; soil aggregate; soil microbial respiration; metabolic quotient**

目前,全世界干旱半干旱地区的面积已超过地球陆地总表面积的1/3[1],中国干旱半干旱区面积约占全国陆地面积的47%,随着全球气候变暖,这种干旱化的趋势仍在继续增强[2]。部分地区虽雨量充沛但是降水季节性波动也比较大,经常出现季节性干旱,有效地利用有限的水资源也是解决水资源短缺的方法之一[2]。杨树是中国速生丰产林工程的主要造林树种,为了确保水资源的可持续利用,采取杨树节水灌溉技术显得尤为重要。

新型节水保水材料——保水剂的出现为节水灌溉技术的实施提供了一种新途径和新方法[3]。保水剂是一种交联密度很低、高水膨胀性、吸水力超强的高分子聚合物。它是土壤的良好胶结剂,有土壤"微型水库"之称,能迅速吸收并保持自身质量数百倍乃至上千倍的水分,而且所吸收水分的85%~95%以上是植物可以利用的有效水[4-5]。同时,施用保水剂可以提高水资源利用效率,调节水、肥、气、热状况,改善作物生长条件,在节水农业和生态环境恢复中得到广泛应用[6]。已有大量关于保水剂在玉米、白菜、棉花等农作物上的应用研究[7-9],但针对杨树的研究相对较少,尤其关于保水剂对杨树土壤物理性状与微生物活性的研究更是鲜见报道。土壤微生物量既是土壤有机质、土壤养分转化与循环的动力,还可作为土壤中植物有效养分的储备库[10]。土壤微生物活性调控着土壤碳矿化过程、养分循环及生态系统生产力,并且土壤微生物量与活性是表征土壤质量的主要微生物学指标,可快速地指示土壤质量的变化趋势[11]。此外,通过前期关于不同灌溉量与保水剂组合的研究发现[3],60%常规灌溉量配施保水剂仍能显著促进杨树林木的生长,但关于同一灌溉量与不同保水剂用量的组合研究尚未涉及。为此,本研究拟以一年生杨树苗为试材,以盆栽的方式,探讨保水剂不同用量对杨树苗土壤物理性状和微生物活性的影响机制及效应,进一步明确保水剂对杨树种植的节水效果,以期为中国杨树人工林节水高产实践模式提供理论依据与技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点与供试材料

试验地点设在山东省林业科学研究院试验苗圃,供试土壤为潮土,土壤速效氮含量27.89 mg/kg,速效磷含量25.76 mg/kg,速效钾含量78.52 mg/kg,有机质含量6.79 g/kg,pH 8.10。所用保水剂为XL型丙烯酰胺—丙烯酸钾交联共聚物,粒径为1.6~4.0 mm,其阴离子度为12.3%,含水率为9.7%,表观密度为0.78 g/cm$^3$,吸纯水倍数为350,吸1 000 mg/kg NaCl水溶液倍数为180。所用化肥为尿素(含N 46%)、过磷酸钙(含$P_2O_5$ 12%)与氯化钾(含$K_2O$ 60%)。杨树扦插苗品种为I—107欧美杨,接穗长15~16 cm,茎粗2 cm,重量为25~27 g。

### 1.2 试验设计

采用盆栽试验,每盆装土10.0 kg,随机区组设计,依据前期的研究[3],共设4个处理:(1) CK,常规灌溉量;(2) CL,60%常规灌溉量配施0.1%保水剂(10 g/盆);(3) CM,60%常规灌溉量配施0.3%保水剂(30 g/盆);(4) CH,60%常规灌溉量配施0.5%保水剂(50 g/盆)。每个处理15盆,共计60盆。每个处理的肥料施用量保持一致,N,P和K含量分别为3.55,1.94,3.94 g。试验用盆为塑料盆,盆高20 cm,直径30 cm。于2016年4月12日盆栽试验时,将保水剂、肥料与土壤充分混匀后装盆,控制装土容重为1.19 g/cm$^3$。在杨树苗整个试验期间,CK的常规灌水量为90 L,而CL,CM和CH处理的灌水量均为54 L。

### 1.3　测定项目与方法

在 2016 年 10 月 18 日(落叶前),用自制土钻分别取各盆土面至盆底的土壤,混合均匀后分成两份:一份新鲜土样于 4 ℃冰箱避光保存,尽快测定微生物数量、微生物量碳、氮和微生物呼吸;另一份样品自然风干,用于测定土壤水稳性团粒结构。同时,采用环刀法测定土壤容重,并计算土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度。

采用湿筛法[12]获得各级别土壤团聚体的含量,分别通过孔径为 5,2,1,0.5 和 0.25 mm 5 个筛级,并计算>0.25 mm 的团聚体含量。土壤微生物数量采用稀释平板计数法,细菌采用牛肉蛋白胨琼脂培养基;放线菌采用改良高氏 1 号培养基;真菌采用马丁—孟加拉红培养基[13]。土壤微生物量碳和氮的测定采用氯仿熏蒸 $K_2SO_4$ 浸提法[14]。土壤微生物呼吸的测定采用室内密闭培养法[3],并以单位质量土壤平均每小时释放的 $CO_2$-C 数量表示,单位为 mg/(kg·h)。代谢熵是土壤微生物呼吸与土壤微生物量碳的比值,用 mg/(g·h)表示。

### 1.4　统计分析

数据处理使用 SPSS 11.5 软件,采用 one-way ANOVA(单因素差异显著性分析法)中的 LSD(最小显著法)在 $\alpha=0.05$ 水平下检验不同处理对土壤物理性状与微生物活性等指标的影响。

## 2　结果与分析

### 2.1　土壤容重与孔隙度

从表 1 可知,同 CK 相比,CL,CM 和 CH 处理均明显降低了杨树苗的土壤容重,其中 CM 处理最低,分别较 CK,CL 和 CH 处理下降 13.71%,5.31%和 7.76%,差异均达显著水平。同时,CL,CM 和 CH 处理显著提高了土壤总孔隙度和毛管孔隙度,其中 CH 处理的毛管孔隙度显著高于其他处理,而 CM 处理的总孔隙度最高,并明显高于其他处理。此外,CM 处理的非毛管孔隙度、非毛管孔隙度/毛管孔隙度比值均最高,其中非毛管孔隙度分别比 CK,CL 和 CH 处理显著高出 25.71%,9.98%和 147.06%;而非毛管孔隙度/毛管孔隙度比值与 CK,CL 处理差异未达显著水平,但均明显高于 CH 处理。从表 1 还可见,CL 与 CH 处理的土壤容重、总孔隙度均差异不显著,而 CL 处理的非毛管孔隙度显著高于 CH 处理。以上分析认为,减量灌溉配施保水剂能显著降低杨树苗的土壤容重,明显提高总孔隙度。但随着保水剂用量的增加,土壤容重呈先降低后升高的变化趋势,总孔隙度和非毛管孔隙度呈先升高后降低的趋势。这表明减量灌溉与适量保水剂(30 g/盆)组合对杨树苗土壤物理性状的改善效果最佳,而并非保水剂用量越多越好。

**表 1　不同处理对杨树苗土壤容重与孔隙度的影响**

| 处理 | 土壤容重/(g·cm$^{-3}$) | 总孔隙度/% | 毛管孔隙度/% | 非毛管孔隙度/% | 非毛管孔隙度/毛管孔隙度 |
|---|---|---|---|---|---|
| CK | 1.24±0.03$^{a}$ | 53.21±0.29$^{c}$ | 39.89±0.76$^{c}$ | 13.32±1.01$^{c}$ | 0.33±0.04$^{a}$ |
| CL | 1.13±0.02$^{b}$ | 57.36±0.41$^{b}$ | 42.14±1.27$^{b}$ | 15.22±0.63$^{b}$ | 0.36±0.02$^{a}$ |
| CM | 1.07±0.02$^{c}$ | 59.62±0.35$^{a}$ | 42.89±1.03$^{b}$ | 16.74±0.59$^{a}$ | 0.39±0.03$^{a}$ |
| CH | 1.16±0.03$^{b}$ | 56.23±0.67$^{b}$ | 49.45±0.95$^{a}$ | 6.78±0.82$^{d}$ | 0.14±0.02$^{b}$ |

注:CK 为常规灌溉量;CL 为 60%常规灌溉量配施 0.1%保水剂(10 g/盆);CM 为 60%常规灌溉量配施 0.3%保水剂(30 g/盆);CH 为 60%常规灌溉量配施 0.5%保水剂(50 g/盆);数据为平均值±标准差,同列不同小写字母表示处理间差异显著($p<0.05$)。下同。

### 2.2　水稳性团粒结构

土壤结构决定土壤的物理肥力,同时也决定有效肥料元素在土壤中的迁移运动和土壤生物的生存,因此土壤结构是土壤肥力的基础。通常把粒径>0.25 mm 的团粒作为评价土壤结构的标准[12]。从表 2 可见,减量灌溉条件下添加保水剂对杨树苗土壤团粒结构的形成具有明显促进作用,尤其是对创建土壤中 0.5~5 mm 粒径的团粒影响显著。而在 3 个保水剂处理中,以 CM 处理的>0.25 mm 团粒含量最高,分别较 CK,CL 和 CH 处理高出 27.07,13.05,6.35 个百分点,差异均达到显著水平。数据表明,60%常规灌量配施一定量的保水剂能显著提高杨树苗表层土壤结构的稳定性,这可能与保水剂促进了杨树苗根系的生长和土壤微生物的活性有关。但当保水剂用量增加到 0.5%时,>0.25 mm 团粒含量不增加反而减小,说明在土壤中并不是施用保水剂量越多土壤结构就越稳定,当保水剂用量过大时会一定程度地破坏土壤结构,可能引起土壤板结,表现出一定的负面影响。

### 2.3　土壤微生物数量

由表 3 可以看出,杨树苗土壤微生物以细菌为主,放线菌次之,而真菌最少,其所占微生物总量的比例分别为 82.99%~87.35%,11.25%~15.73%和

1.29%～1.60%。与 CK 相比，施用保水剂的 3 个处理均显著提高了杨树苗土壤的细菌数和真菌数，而对放线菌数的影响较小。在施用保水剂处理中，CM 处理的细菌数达最高值，并显著高于其它处理，分别较 CK，CL 和 CH 处理提高 49.59%，20.36% 和 14.16%；CM 和 CH 处理的真菌数差异不显著，但均显著高于 CL 处理。同时，各处理微生物总量的变化趋势与细菌数一致。从表 3 还可见，杨树苗土壤的微生物量碳(MBC)和微生物量氮(MBN)含量表现出基本一致的变化规律，其大小次序为：CM＞CH≈CL＞CK。CM 处理的 MBC 和 MBN 含量均显著高于其他处理，其中 MBC 含量分别比 CK，CL 和 CH 处理高出 36.32%，21.93% 和 19.19%。此外，各处理 MBC/MBN 比值分别为 6.17，6.23，6.98，6.24。方差分析表明，CM 处理的 MBC/MBN 比值最大，并与其他 3 个处理差异达显著水平，而 CK，CL 和 CH 处理之间 MBC/MBN 比值无显著性差异。由此可见，减量灌溉与适量的保水剂组合能显著增加杨树苗土壤的微生物总量，并提高微生物量碳、氮含量，这对于提高微生物活性、增强土壤的供肥性具有重要的促进效应。

**表 2 不同处理对杨树苗土壤水稳性团粒结构组成的影响**

| 处理 | 土壤水稳性团粒结构组成/% | | | | | ＞0.25 mm 团粒含量/% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.25～0.5 mm | 0.5～1 mm | 1～2 mm | 2～5 mm | ＞5 mm | |
| CK | 15.69±0.34$^{b}$ | 11.45±0.89$^{c}$ | 7.29±1.08$^{d}$ | 6.13±0.93$^{c}$ | 9.91±0.45$^{b}$ | 50.47±0.05$^{d}$ |
| CL | 16.87±0.72$^{a}$ | 15.53±1.05$^{b}$ | 9.37±0.53$^{c}$ | 10.29±0.65$^{b}$ | 12.43±0.57$^{a}$ | 64.49±0.05$^{c}$ |
| CM | 17.18±0.65$^{a}$ | 19.36±0.78$^{a}$ | 13.81±0.60$^{a}$ | 14.25±1.12$^{a}$ | 12.94±0.28$^{a}$ | 77.54±0.09$^{a}$ |
| CH | 18.29±0.91$^{a}$ | 19.68±0.46$^{a}$ | 11.29±0.81$^{b}$ | 11.07±0.39$^{b}$ | 10.86±0.71$^{b}$ | 71.19±0.06$^{b}$ |

**表 3 不同处理对杨树苗土壤微生物数量与微生物量碳、氮含量的影响**

| 处理 | 细菌/($10^5$ cfu·g$^{-1}$) | 放线菌/($10^5$ cfu·g$^{-1}$) | 真菌/($10^5$ cfu·g$^{-1}$) | 微生物总量/($10^5$ cfu·g$^{-1}$) | 微生物量碳/(mg·kg$^{-1}$) | 微生物量氮/(mg·kg$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CK | 38.05±2.92$^{c}$ | 7.21±0.35$^{a}$ | 0.59±0.08$^{c}$ | 45.85±3.61$^{c}$ | 419.81±28.06$^{c}$ | 68.08±1.95$^{c}$ |
| CL | 47.29±3.36$^{b}$ | 7.39±0.17$^{a}$ | 0.76±0.05$^{b}$ | 55.44±2.89$^{b}$ | 469.35±15.79$^{b}$ | 75.29±2.18$^{b}$ |
| CM | 56.92±2.55$^{a}$ | 7.33±0.32$^{a}$ | 0.91±0.05$^{a}$ | 65.16±1.98$^{a}$ | 572.28±26.95$^{a}$ | 81.96±0.67$^{a}$ |
| CH | 49.86±3.09$^{b}$ | 7.46±0.28$^{a}$ | 0.93±0.07$^{a}$ | 58.25±2.76$^{b}$ | 480.16±21.72$^{b}$ | 76.89±1.35$^{b}$ |

### 2.4 微生物呼吸与代谢熵

土壤呼吸指土壤由于代谢作用而释放 $CO_2$ 的过程，包括 3 个生物学过程：植物的根系呼吸、土壤微生物的异氧呼吸与土壤动物呼吸，其中最重要的部分是根系呼吸与土壤微生物异氧呼吸[15]。因为本研究去除了植物的根系，并采用室内培养法测定土壤呼吸速率，故考察的土壤呼吸主要为土壤微生物呼吸。从图 1 可以看出，施用保水剂较对照显著提高了杨树苗土壤的微生物呼吸速率，CL，CM 和 CH 处理分别提高 16.92%，30.77% 和 21.54%。而在 3 个保水剂处理中，CM 处理的土壤微生物呼吸速率最高，分别比 CL 和 CH 处理显著提高 11.84% 和 7.59%，而 CL 与 CH 处理间无显著性差异。

代谢熵指土壤微生物呼吸速率与微生物量碳的比率，不但能反映土壤微生物种群利用土壤有机成分的效率，而且还可指示土壤质量的变化趋势与生态系统的成熟度[16]。从图 1 可见，同对照相比，施用保水剂 3 个处理的代谢熵表现出明显的差异，CL 和 CH 处理的代谢熵显著高于 CK，且 CL 与 CH 处理之间差异不显著，而 CM 处理的代谢熵则显著低于 CK，分别较 CK，CL 和 CH 处理降低 4.81%，8.29% 和 9.74%，差异均达显著水平。由此可知，60% 常规灌量与适量的保水剂配施既可以显著增强杨树苗土壤的微生物呼吸作用，还能降低代谢熵，而保水剂用量过小或过大的作用效果则明显减弱，表明保水剂的施用量至关重要。

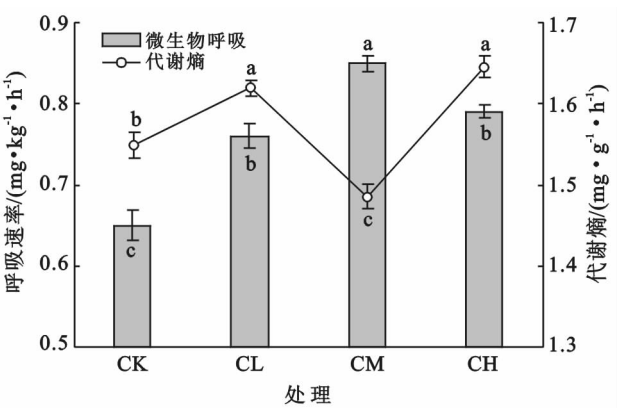



**图 1 不同处理对杨树苗土壤微生物呼吸与代谢熵的影响**

## 3 讨 论

本试验研究中，在减量灌溉的条件下添加保水剂能显著降低杨树苗的土壤容重，并增加了土壤总孔隙

度和毛管孔隙度。这一结论在大量的研究中均得到了证实[3,10,17]。可能是因为保水剂具有高分子三维网状结构,且有大量羧基、羟基等亲水官能团,形成吸水动力。当保水剂吸水后会膨胀,而待其吸收的水分释放时,它又收缩,再吸水又膨胀。这一过程在土壤中反复发生,因此会引起土壤中三相比例的不断改变,从而使土壤变得疏松[5,18]。同时,本试验表明,CL 和 CM 处理较 CK 能显著提高杨树苗土壤非毛管孔隙度,说明减量灌溉配施保水剂不仅增加土壤总孔隙度,也增加非毛管孔隙度,增强了土壤的通气性能;而 CH 处理的总孔隙度虽稍高于 CK,但非毛管孔隙度仅有 6.78%,表明过量施用保水剂反而降低土壤非毛管孔隙度,减弱了其通气性,易造成土壤板结,不利于杨树苗的生长。这与侯贤清等[19]关于马铃薯的研究结果基本一致。

粒径 0.25～5.00 mm 的土壤团粒含量越高,土壤透气度越大,土壤涵养水分和供应植物所需水分的能力越强[12]。本研究得出,施用保水剂措施有利于土壤大团粒结构的形成,这一结论与大多数学者的研究结果相似[6,8]。同时,随着保水剂用量的增加,土壤容重呈现出先降低后升高的变化趋势,而>0.25 mm 团粒含量是先升后降的趋势,这与许紫峻等[20]的研究结论基本一致。说明施用保水剂并非越多越好,只有适量的保水剂才能更好地改善杨树苗土壤的物理性状,而过高或过低的施用量均达不到最佳的作用效果。而崔英德等[21]的研究则认为,随保水剂用量的增加,土壤中大团聚体仍呈递增的趋势,这与本研究结果不完全一致,造成这一差异可能与保水剂类型、土壤质地及试验周期等因素有关,具体原因还有待于进一步研究。

土壤微生物是土壤有机质和土壤养分转化循环的动力,对土壤肥力的形成起着重要作用[22-23]。土壤微生物呼吸主要是指微生物对土壤有机质的分解过程,即土壤有机质潜在的矿化速率。它是表征土壤肥力与质量的主要生物学指标之一,可以反映土壤的物质代谢强度与微生物总体活性[15]。本研究中,不同处理下杨树苗土壤中细菌数、放线菌数和真菌数所占微生物总量的比例分别为 82.99%～87.35%,11.25%～15.73%和 1.29%～1.60%,配施保水剂并未显著改变土壤中 3 大功能微生物的总体比例。这一结论在干旱山地新植核桃园土壤的研究中也得到了验证[24]。与对照相比,施用保水剂能显著提高杨树苗土壤中细菌数、真菌数、微生物总量和微生物呼吸速率,其中 CM 处理的作用效果显著优于 CL 和 CH 处理。这可能是由于:一方面,保水剂可降低土壤容重,增加土壤孔隙度,明显改善土壤物理性状,而 CM 处理对土壤物理性状的改善效果最佳,从而能为微生物的活动与发育创造更优越的环境,有利于增强土壤微生物的生命活力[3];另一方面,土壤物理性状的改善更利于增强杨树苗的根系活性,刺激根系分泌大量的无机与有机物质,从而增加了微生物生长与繁殖所必需的营养来源与能量来源,也能使微生物更加活跃[14,25-26]。因此,土壤物理性状的改善与较强的根系活性可能是保水剂施用条件下微生物数量增加的原因之一,而微生物数量的增加有利于提高土壤有机物的周转利用效率,进而增强供肥性[27]。同时,CM 处理亦显著增加了土壤微生物量碳、氮含量,而微生物量碳、氮是土壤中有机质养分的一种短暂而最有效的贮存形式,是土壤养分的源、库[15],其含量的提高也是导致土壤微生物数量增加的原因之一。这也表明适量的施用保水剂可以促使较多的氮素通过同化作用转入到微生物体内被暂时固定,对于调节土壤氮素供应、提高氮素利用率与保证林业可持续发展具有积极意义[5]。

代谢熵将微生物生物量的大小和微生物的功能与生物活性有机地联系起来,能够揭示微生物群落生理的特征[3]。有研究发现[15],代谢熵较低意味着土壤中微生物对碳的利用效率较高,而代谢熵较高则表明用于微生物细胞合成的碳比例相对较小,即碳源的利用率低。本研究得出,CL 和 CH 处理的代谢熵明显高于 CK,说明 CL 和 CH 处理对碳源的利用率较低;而 CH 处理的代谢熵显著低于 CK,这可能是由于:(1) 尽管各处理的微生物呼吸与微生物量碳表现出基本一致的变化规律,但 CM 处理相比 CL 与 CH 处理能使微生物量碳含量增加的更快,所以降低了代谢熵;(2) CM 处理能更显著地促进土壤微生物的大量繁殖与微生物活性的提高,明显增加了微生物生物量,从而提高了对碳源的利用率,使得代谢熵降低,这与刘方春等[28]的研究结论相类似。这进一步验证了保水剂的施用量具有决定性作用。

## 4　结 论

与 CK 相比,CM 处理可显著降低杨树苗的土壤容重,并明显提高了非毛管孔隙度,其中土壤容重分别较 CK,CL 和 CH 处理下降 13.71%,5.31%和 7.76%;还明显促进了土壤大团聚体(>0.25 mm 团粒)的形成。同时,CM 处理明显增加了土壤微生物总量和微生物量碳、氮含量,并显著增强了土壤微生物呼吸作用,其微生物呼吸速率分别比 CK,CL 和 CH 处理提高 30.77%,11.84%和 7.59%。此外,

CM处理还降低了代谢熵，分别较CK，CL和CH处理下降4.81%，8.29%和9.74%。综合分析认为，适宜的节水灌溉措施(60%常规灌溉量与30 g保水剂组合)有利于改善杨树苗土壤的物理环境，并增强微生物活性。

[ 参 考 文 献 ]


[1] Uttam K M, Sharma K L, Venkanna K, et al. Evaluating hydrogel application on soil water availability and crop productivity in semiarid tropical red soil[J]. Indian Journal of Dryland Agricultural Research and Development, 2015,30(2):1-10.

[2] 曾群，蔡述明，杜耘. 全球气候变化对水资源的潜在影响[J]. 资源环境与发展，2006,1(11):45-47.

[3] 井大炜，邢尚军，刘方春，等. 畦灌配施保水剂改善杨树林下土壤物理性状提高微生物活性[J]. 农业工程学报，2015,31(14):116-122.

[4] 岳征文，王百田，王红柳，等. 复合营养长效保肥保水剂应用及其缓释节肥效果[J]. 农业工程学报，2011,27(8):56-62.

[5] 井大炜，邢尚军，刘方春，等. 保水剂—尿素凝胶对侧柏裸根苗细根生长和氮素利用率的影响[J]. 应用生态学报，2016,27(4):1046-1052.

[6] Busscher W J, Bjorneberg D L, Sojka R E. Field application of PAM as an amendment in deep-tilled US southeastern coastal plain soils [J]. Soil & Tillage Research, 2009,104(2):215-220.

[7] 张丽华，闫伟平，谭国波，等. 保水剂不同施用深度对玉米产量及土壤水分利用效率的影响[J]. 玉米科学，2016,24(1):110-113.

[8] 李希，贺纪正，郑袁明，等. 新型保水剂应用于土壤—小白菜系统的环境安全评价[J]. 环境科学，2014,35(2):780-785.

[9] 白文波，王春艳，李茂松，等. 不同灌溉条件下保水剂对新疆棉花生长及产量的影响[J]. 农业工程学报，2010,26(10):69-76.

[10] 马海林，刘方春，马丙尧，等. 保水剂对侧柏容器苗根际土壤微生物种群结构及干旱适应能力的影响[J]. 应用与环境生物学报，2016,22(1):43-48.

[11] 叶桂梅，井大炜，邢尚军，等. 味精废浆与化肥配施对杨树幼苗土壤活性有机碳与微生物活性的影响[J]. 水土保持学报，2016,30(5):291-296.

[12] 陈帅，陈强，孙涛，等. 黑土坡耕地秸秆覆盖对表层土壤结构和导气性的影响[J]. 水土保持通报，2016,36(1):17-21.

[13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京：中国农业科技出版社，1999:24-214.

[14] 井大炜，邢尚军，刘方春，等. 保水剂施用方式对侧柏根际微生态环境的影响[J]. 农业机械学报，2016,47(5):146-154.

[15] 贾德新，李士平，王风丹，等. 蚯蚓粪对豇豆根际土壤生物学特征及微生物活性的影响[J]. 浙江农业学报，2016,28(2):318-323.

[16] 井大炜，王明友，张红，等. 鸡粪对芸豆土壤有机碳氧化稳定性与碳库管理指数的影响[J]. 农业机械学报，2016,47(8):192-200.

[17] Busscher W J, Bjorneberg D L, Sojka R E. Field application of PAM as an amendment in deep-tilled US southeastern coastal plain soils[J]. Soil & Tillage Research, 2009,104(2):215-220.

[18] 李中阳，吕谋超，樊向阳，等. 不同类型保水剂对冬小麦水分利用效率和根系形态的影响[J]. 应用生态学报，2015,26(12):3753-3758.

[19] 侯贤清，李荣，何文寿，等. 2种保水剂对旱作土壤物理性状及马铃薯产量的影响比较[J]. 核农学报，2015,29(12):2410-2417.

[20] 许紫峻，韩舒，师庆东. 不同保水剂对土壤物理性质影响的探究[J]. 节水灌溉，2016(10):10-14.

[21] 崔英德，郭建维，阎文峰，等. SA-IP-SPS型保水剂及其对土壤物理性能的影响[J]. 农业工程学报，2003,19(1):28-31.

[22] 杨宁，张荣标，张永春，等. 基于微生物生态效益的土壤肥力综合评价模型[J]. 农业机械学报，2013,44(5):108-112.

[23] 张明锦，陈良华，张健，等. 马尾松人工林林窗内凋落叶微生物生物量碳和氮的动态变化[J]. 应用生态学报，2016,27(3):672-680.

[24] 刘洋，史薪钰，陈梦华，等. 不同保水措施对退化干旱山地新植核桃园土壤养分和微生物的影响[J]. 水土保持通报，2015,35(4):218-222.

[25] 李小林，李强，金鑫，等. 采收期松茸菌塘土壤理化特性及对细菌多样性的影响[J]. 微生物学通报，2016,43(3):541-549.

[26] 井大炜，王明友，张红，等. 蚯蚓粪配施尿素对豇豆根系特征与根际土腐殖质的影响[J]. 农业机械学报，2017,48(1):212-219.

[27] 康亚龙，景峰，孙文庆，等. 加工番茄连作对土壤理化性状及微生物量的影响[J]. 土壤学报，2016,53(2):533-542.

[28] 刘方春，马海林，杜振宇，等. 根际促生细菌应用方式下金银花生长与根际环境特征[J]. 农业机械学报，2016,47(11):163-171.