# 秸秆覆盖种植大球盖菇结合坡面改造对林坡地生态的保育效果

赵晓海，唐尚柱，张学胜，李玉成，王顺永，斯鑫鑫
（安徽大学 资源与环境工程学院，安徽 合肥 230601）

**摘　要**：[目的] 探索林下秸秆覆盖种植大球盖菇与坡面改造结合的方式对林坡地清水产流及持水保肥影响，为水源涵养及生态环境建设提供理论参考。[方法] 在经济林下，利用秸秆覆盖种植大球盖菇技术，将其与按照坡度差异结合不同设定的坡面改造措施相结合，并在大球盖菇生长周期内对试验区的水质及土壤性质影响进行采样分析。[结果] 小顺坡大横坡＋秸秆覆盖种植大球盖菇(CM)和顺坡秸秆覆盖种植大球盖菇(PM)及反坡梯田＋秸秆覆盖种植大球盖菇(RM)均能有效减少固体悬浮物(SS)，TN 及 TP 含量。SS 平均减少率分别为 40.3%，31%和 51.1%；TN 平均减少率分别为 36.6%，25.1%和 56.1%；TP 平均减少率分别为 37.8%，24.7%和 46.9%。同时，可显著提高土壤含水率(分别提高 22.2%，14.1%和39.1%)和土壤有机质含量(分别提高 32.1%，29.3%和 31.5%)。[结论] 林下秸秆覆盖种植大球盖菇技术结合坡面改造，可有效减少林坡地 SS，TN 及 TP 含量，并显著提高试验区土壤含水率和有机质含量。

**关键词**：秸秆覆盖；大球盖菇；坡面改造；林坡地；清水产流；生态保育
**文献标识码**：B　　**文章编号**：1000-288X(2021)02-0149-07　　**中图分类号**：S646，S156

**文献参数**：赵晓海，唐尚柱，张学胜，等.秸秆覆盖种植大球盖菇结合坡面改造对林坡地生态的保育效果[J].水土保持通报，2021，41(2)：149-155.DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2021.02.020；Zhao Xiaohai，Tang Shangzhu，Zhang Xuesheng，et al. Ecological conservation effects of forest slope land by cultivating *Stropharia rugosoannulata* with straw combined with slope surface reconstruction [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2021，41(2)：149-155.

# Ecological Conservation Effects of Forest Slope Land By Cultivating *Stropharia Rugosoannulata* with Straw Combined with Slope Surface Reconstruction

Zhao Xiaohai，Tang Shangzhu，Zhang Xuesheng，Li Yucheng，Wang Shunyong，Si Xinxin
（*School of Resources and Environmental Engineering*，*Anhui University*，*Hefei*，*Anhui* 230601，*China*）

**Abstract**：[Objective] The influences of cultivating *Stropharia rugosoannulata* with straw combined with slope reconstruction on clean water runoff，water-holding capacity and soil fertility of selected areas were investigated，in order to provide theoretical basis for the water conservation and ecological environment construction. [Methods] Under the canopy of cash forest，cultivating *Stropharia rugosoannulata* with straw and combined with slope reconstruction measures based on slope degrees，throgh samples collection and analysis，the effects of those measures on the water and soil quality of experimental area during different growing periods of *Stropharia rugosoannulata* were discussed. [Results] The cultivating *Stropharia rugosoannulata* on slope of small blocks by cutting slope length and setting transverse ditches(CM)，cultivating *Stropharia rugosoannulata* on primary slope (PM) and cultivating *Stropharia rugosoannulata* on contour reverse-slope terrace (RM)，could reduce the content of suspended solids (SS)，total nitrogen (TN) and

**收稿日期**：2020-10-27　　**修回日期**：2020-12-30
**资助项目**：国家科技重大专项“派河小流域山林地水源涵养技术筛选验证与应用推广”(2017ZX07603-002-001)。
**第一作者**：赵晓海(1994—)，男(汉族)，河北省张家口市人，硕士研究生，研究方向为水污染防治。Email：2427668762@qq.com。
**通讯作者**：李玉成(1963—)，男(汉族)，安徽省合肥市人，博士，教授，主要从事环境生物地球化学和水污染防治研究。Email：Li-yucheng@163.com。

total phosphorus (TP) efficiently. The content of SS were decreased by 40.3%, 31% and 51.1% on average, respectively. The contents of TN were decreased by 37.8%, 25.1% and 56.1% on average, respectively. The contents of TP were decreased by 37.8%, 24.7% and 46.9% on average, respectively. In addition, the soil water content was improved (by 22.2%, 14.1% and 39.1% respectively), and the content of soil organic matter was significantly increased (by 32.1%, 29.3% and 31.5% respectively). [Conclusion] By cultivating *Stropharia rugosoannulata* with straw, and combined with slope reconstruction measures could reduce the content of SS, TN and TP in the runoff from the slope of the forest effectively, and increase the soil water content and organic matter in experimental area.

**Keywords: mulch with straw; *Stropharia rugosoannulata*; slope surface reconstruction; forest slope; clear water flow; ecosystem conservation**

苦驴河小流域是派河的水源地,而派河作为巢湖主要入湖支流之一,其水质的优劣对巢湖的水质安全具有重要影响。当前,区域内点源污染逐渐减轻,而农业面源污染问题则亟待解决[1-2]。水土流失是造成农业面源污染的重要途径,苦驴河源头农业区土壤侵蚀的情况较为严重,林坡地平均土壤侵蚀模数为655.04 t/(km$^2$ · a)[3]。该地人口密度大,为了提高经济收入,居民大量开荒种植苗木,并且在经果林种植中,大量使用化肥农药和除草剂,使得土壤退化严重,生态防护效益下降,生态环境恶化。此外,由于受传统农林业种植、经营方式影响,在经济林地建设中,仍采用全垦、全复整地手段造林,并人为清除林下灌木及枯落物,使地表长时间裸露,引发严重的水土流失。根据"源头减量—过程阻断—养分再利用—生态修复"的理论体系,源头控制是控制农业面源污染的重要环节[4]。因此,研究林下径流 SS 及 N,P 损失特征及土壤性质情况对于源头控制农业面源污染具有重要意义。

秸秆覆盖种植大球盖菇技术具有改善土壤性质,提高土壤肥力,控制杂草生长的良好效果,是一种良好的消纳农业废弃物,实现可持续发展的有效手段[5]。地面覆盖、坡面改造措施同样在防治水土流失方面起到良好的效果,为土地的合理布局和应用提供了大量的研究经验[6-11]。当前对林坡地,特别是关于经济林下的水土流失及养分输出等研究相对较少,在如何有效地实现林下水土流失防治上仍需进一步的探索。

为减少苦驴河源头区林坡地面源污染,提高当地水源涵养能力,同时为创新苦驴河源头区清水产流及持水保肥方法上,提供一些技术依据,因此本研究在苦驴河源头区建立试验平台,在经济林坡地下,根据不同的坡度,设置反坡梯田改造+秸秆覆盖种植大球盖菇、小顺坡大横坡改造+秸秆覆盖种植大球盖菇及顺坡秸秆覆盖种植大球盖菇 3 种措施,探究其对林坡地径流中 SS,N 和 P 的流失控制效果,以及对土壤含水率和有机质的影响,以期为该地区生态环境建设提供有益的参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

苦驴河上游小流域的主要土壤侵蚀类型为水蚀,自然条件下对土壤侵蚀的抑制效果较低。该地属亚热带季风性湿润气候,四季分明,年平均气温在 15.7 ℃,年降水量约 1 000 mm,其中降雨集中在 5—10 月,6—8 月易产生暴雨,此时降雨强度大,降雨量高,冲刷作用强劲,水土流失情况较为明显。土壤以紫色土和黄褐土为主,土壤较为贫瘠。主要的自然植被为蒿草等杂草,主要的粮食作物为小麦、玉米等。苦驴河源头区主要通过 3 条支流流出汇入苦驴河,将其命名为支流 1,支流 2,支流 3。其中,支流 1 有沟塘拦截,可以起到沉淀和净化作用,从而减少水土的进一步输送;支流 2 植被覆盖度相对较高,可以通过植物对水土进行有效拦截,从而该区水质最优;支流 3 平均坡度最高(15°～25°),距离居民点也最近,因而受人为扰动最大,生产强度大,水体环境封闭,因而水土流失情况也最为严重。为探究林坡地水土流失防治效果,因而将试验区设置于肥西县紫蓬镇新农村(支流 3 林坡地)。

### 1.2 试验设计

根据地形坡度大小设置 5 个处理组:在坡度较高的地方(25°)设置 2 个处理:①林下常规处理($CK_1$);②林下坡面反坡梯田改造+秸秆覆盖种植大球盖菇(RM)。在坡度较缓的地方(15°)设置 3 个处理:③林下常规处理($CK_2$) ④林下秸秆覆盖种植大球盖菇(PM);⑤林下坡面小顺坡大横坡改造+秸秆覆盖种植大球盖菇(CM)。其中,大球盖菇盖菇种植时需要先将小麦秸秆和稻糠按照 7∶3 的比例混合进行预先堆沤,堆沤结束后作为铺料。按照一层铺料一层菌种方式,自下而上进行铺种,铺种两层菌种后,均匀覆土(约 3 cm)于菌床上,再利用小麦秸秆对表层进行

覆盖。铺料覆盖用量规格在 10 kg/m$^2$。通过滴灌在种植后进行一次补水,补至渗透表层秸秆及土壤却不流到铺料为宜,后通过自然降雨对水分进行补充,生长期间不需施肥。具体设置详见表 1。

**表 1　试验处理具体设置情况**

| 编号 | 坡度/(°) | 土壤类型 | 面积/hm$^2$ | 具体设置 |
|---|---|---|---|---|
| $CK_1$ | 25 | 紫色土 | 0.01 | 坡度为 25°的林坡地,不做防护处理,定期除杂草。 |
| RM | 25 | 紫色土 | 0.80 | 于 25°林坡地坡面上,在经济林栽植前,对地形进行等高反坡阶改造,梯田阶宽 2.4 m,反坡 5°,经济林间隔区进行秸秆覆盖种植大球盖菇,种植间隔宽约 2.4 m,宽度约 0.8 m。 |
| $CK_2$ | 15 | 紫色土 | 0.01 | 坡度为 15°的林坡地,不做防护处理,定期除草。 |
| PM | 15 | 紫色土 | 0.33 | 按照原有顺坡基础上在经济林间隔区进行秸秆覆盖种植大球盖菇。 |
| CM | 15 | 紫色土 | 0.67 | 于 15°林坡地坡面上,在经济林栽植前对坡面进行改造,坡面地块上侧设置背沟,在左右方设置边沟,在坡中及坡下设置横坡截流沟,以分割地块,形成局部的小顺坡地块,同时通过截留沟、边沟及坡面顺坡沟相连,进行坡面的水系沟通。在局部小顺坡面内进行经济林及大球盖菇的种植,大球盖菇种植方式同上。 |

### 1.3　样品采集及分析

按照大球盖菇生长及腐朽的时间节点可以分为 4 个阶段,菌丝生长成熟期(MGS,4 月),出菇盛期(VFS,5—6 月),采摘后期(LHS,7—8 月),基料腐朽期(MRS,9 月)。从菌丝生长成熟期(4 月)开始,对基地的水样及土样进行采集,并按照月份进行样品数据统计。采集单次降雨产生径流的水样,通过设置的引流沟槽,将由降雨产生的坡面径流引入坡底已安装的径流收集池中,将池内集流的水样混合,用润洗过的 1 000 ml 采样瓶采集三次混匀后的泥水样,最后将径流池清洗干净,池口覆盖石棉瓦,以减少外界干扰,以备收集下次径流,将该月水样数据的平均值作为当月水质指标值。每隔 10 d 对土壤样品进行采集测量,土样采用 S 形对 0—20 cm 的表土进行采集,每个处理选择 5 个取样点,然后将采集后的土样进行均匀混合,按照四分法留存 1 kg 作为试验土样进行测定,将该月土壤测量数据的平均值代表该处理下当月的土壤指标值。

水样取回后通过过滤法来进行 SS 的测定,总氮和溶解性总氮通过碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定,总磷、溶解态总磷通过钼酸铵分光光度法测定;有机质按重铬酸钾容量法测定。土壤含水率按照烘干法测定。

## 2　结果与分析

### 2.1　试验期间产流性降雨情况

降雨过程通过 HOBO Ware 小型自动气象站对 2020 年降雨过程进行记录,降雨间隔大于 6 h 视为单次降雨,对大球盖菇生长周期内进行 6 个月的统计监测,并将每月的降雨量进行汇总,该地产流型降雨主要集中在 5—8 月,这一阶段的降雨量占总降雨量的 84.8%,此时的降雨量大,降雨强度大;其中 6 月降雨量最多,达 256.6 mm,占总降雨量的34.1%。4 月及 9 月降雨量则相对较少,降雨量占总降雨量的 15.2%;其中 4 月降雨量最少,为 47.8 mm,占总降雨量的 6.3%。

### 2.2　不同措施下对林坡地 SS 减少效果

在大球盖菇菌丝成长期后,每月在单次降雨产生径流后对水样进行采集测定,测定其径流中 SS 含量,并进行统计分析,其结果如图 1 所示。由图 1 可以看出,SS 的含量与降雨量趋势相近,随着降雨量的增加或减少,SS 含量也相应变化。通过秸秆覆盖种植大球盖菇及与坡面改造处理下,SS 均被有效减少。其中在坡度较高时,与 $CK_1$ 对比,RM 处理能够显著的减少 SS,减少幅度为 42.1%～59.6%,平均减少率为 51.1%。在坡度相对较低时,与 $CK_2$ 对比,PM,CM 的 SS 减少幅度分别为 16%～39.4%和 31.6%～47.4%,平均减少率分别为 31%和 40.3%,CM 处理的 SS 减少效果要优于 PM 处理。值得注意的是,虽然 RM 与 PM,CM 相比其坡度较高,但其 SS 平均浓度却最低,减少比例也最高,由此可以判断,RM 处理减少 SS 含量能力最为显著,其次为 CM 和 PM。从整个试验周期来看,RM,CM 和 PM 处理下的 SS 最大减少率均出现在 6 月,分别达到 59.6%,47.4.5%和 39.4%。可能是该段时间内,当地处于梅雨季,降雨丰沛且降雨时间长,对地表冲刷较为剧烈,而大球盖菇正处于 VFS 期,出菇最为旺盛,对水土的拦截作用较为明显。同时,坡面改造措施对降雨后形成的径流中的泥沙起到了截留和沉积效果,其减少 SS 能力达到最强。伴随着大球盖菇采收之后,其对 SS 的减少效果则开始下降并趋于稳定。

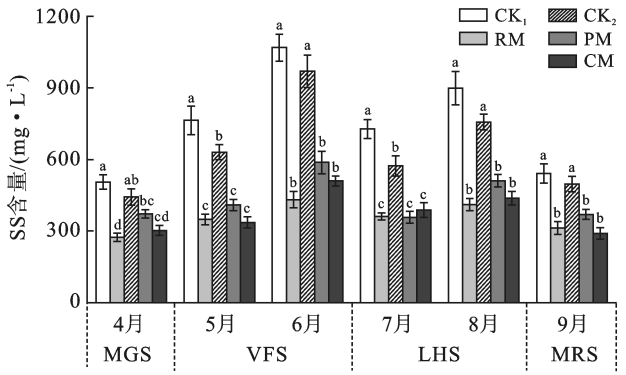



**图 1 不同措施在不同时期的固体悬浮物(SS)变化情况**

### 2.3 不同措施下对林坡地氮素控制效果

由图 2 可以看出，$CK_1$ 总氮浓度范围在 5.66～8.9 mg/L；$CK_2$ 总氮浓度范围在 4.45～7.38 mg/L，说明林下水土流失问题引发的养分流失较为严重，会对附近水体环境产生严重威胁，需加以重视。与空白对照 $CK_1$，$CK_2$ 相比，3 种措施均有效降低了总氮浓度，使得水质得到有效改善。其中 RM 处理下总氮浓度与 $CK_1$ 相比，总氮减少率在 36.8%～69.8%，平均可减少 56.1%。PM 处理下总氮减少率在 11.2%～34.9%，平均减少 25.1%；CM 处理下总氮减少率在 17.4%～50.2%，平均减少为 36.6%。RM，CM 和 PM 处理总氮的最高浓度均出现在 MGS 期，最低浓度均出现在 VFS 期；这可能与当地施肥习惯及不同时期植物对氮素吸收能力有关，前期经济林及大球盖菇植株小对氮素吸收能力较弱，随着不断的生长，其吸收氮素能力也随之增强，大球盖菇采摘之后，总氮浓度有所上升，但都趋于稳定。从总氮浓度与较空白处理的减少比例来看，3 种处理的减少总氮效果 RM 最优，CM 次之，PM 最差。

由关于总氮中可溶性总氮和颗粒态氮占比情况可以看出(图 2)，$CK_1$ 及 $CK_2$ 的可溶性氮与颗粒态比例大致相当，可溶性总氮平均占比分别为在 47.4%和 48.8%，通过 RM，PM 和 CM 处理，与空白组对比，都降低了颗粒态氮占比，增加了可溶性总氮的占比，这说明经过不同处理后，延后了径流发生时间，使得颗粒态的氮素能够更有时间，更加充分的溶入径流当中。

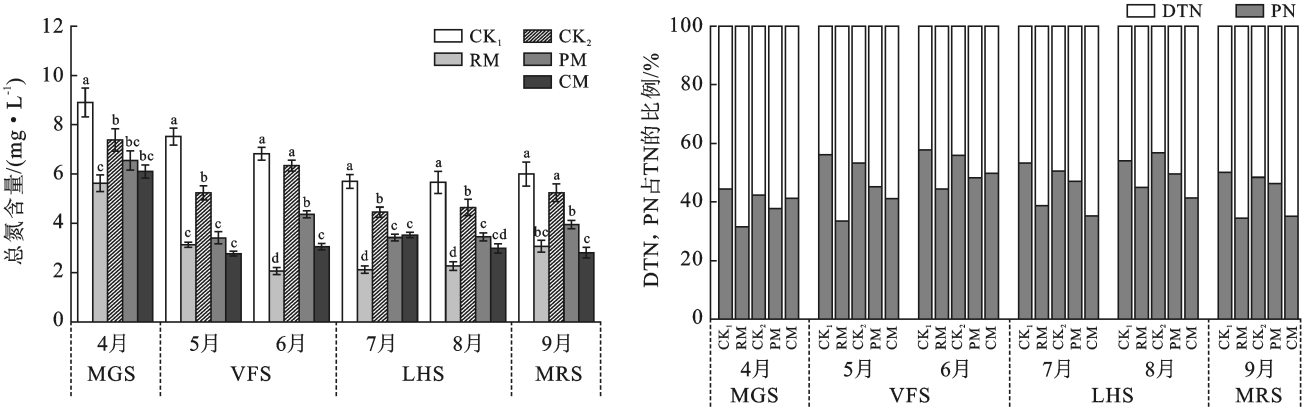



**图 2 不同措施在不同时期的总氮含量及氮素形态变化情况**

### 2.4 不同措施对林坡地磷素控制

由图 3 可以看出，$CK_1$ 的总磷浓度范围在 0.36～0.83 mg/L，$CK_2$ 的总磷浓度范围在 0.32～0.76 mg/L，易对水体环境造成危害。针对坡度较高的林坡地，与 $CK_1$ 相比，RM 处理显著降低了径流中总磷浓度，减少幅度为 39.7%～56.6%，平均减少 46.9%。针对坡度较缓的林坡地，与 $CK_2$ 相比，PM 处理下，总磷减少幅度为 11.4%～34.4%，平均减少 24.7%；CM 处理下，总磷减少率分为 22.5%～49.7%，平均减少 37.8%。不同处理下总磷浓度呈现双驼峰趋势，两个峰值分别出现在 6 月和 8 月，这可能和当地气象条件有关，这两个月降雨丰富，降雨强度较大，对地表土壤造成一定扰动，因而造成总磷浓度升高。在缓坡下，与 $CK_2$ 相比，减少效果顺序为：CM＞PM。同时我们发现 RM 的平均浓度低于 CM，由此可以说明，与常规林下处理相比，不同林坡地处理措施的控制磷素流失效果为：RM＞CM＞PM。

由总磷中可溶性总磷和颗粒态磷占比情况可以看出(图 3)，不同处理下的颗粒态磷占总磷的比例均较大，占比在 52.5%～85.9%，由此可知，颗粒态磷是径流中磷素流失的主要形式，磷通过附着在土壤颗粒上，受地表径流搬运迁移，从而形成流失。与空白组对比，通过实施不同的措施均降低了颗粒态磷占比，这表明通过秸秆覆盖种植大球盖菇及进行坡面改造之后，延缓了径流速度，缩短了径流时间，从而促进了颗粒态磷素的溶解。

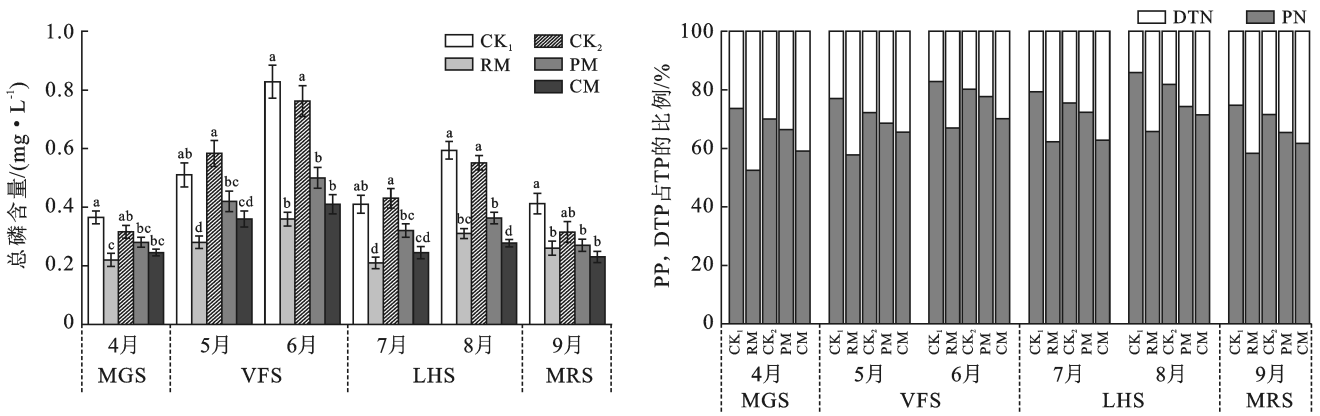



**图 3　不同措施在不同时期的总磷含量及磷素形态变化情况**

### 2.5　不同措施下土壤含水率情况

从图 4 可以看出,RM 处理的平均土壤含水率最高,为 21.4%,其次为 CM,为 19.4%,PM 为 18.2%,$CK_1$ 与 $CK_2$ 的平均土壤含水率相近,分别为 15.4% 和 15.9%。与空白对照相比,RM,CM 和 PM 土壤含水率分别提高 39.1%,22.2% 和 14.1%,这说明通过秸秆覆盖种植大球盖菇及坡面改造,均可以增加土壤水分,提高保水能力。

从整个生长期来看,5 种处理的土壤含水率变化趋势较为一致,都呈现先增加后下降,再增加再下降的趋势,这与当地气候条件情况有关。$CK_1$ 和 $CK_2$ 的变化趋势较为剧烈,而 RM,CM 和 PM 的趋势则相对和缓。通过 RM,PM,CM 处理均在一定程度上增加了降雨入渗,保水减流,调节了土壤水分,尤其在 LHS 期和 MRS 期,气温高,蒸发旺盛,经济林需水量大,较高的土壤含水率,可以为植株的生长提供良好的土壤水分条件。

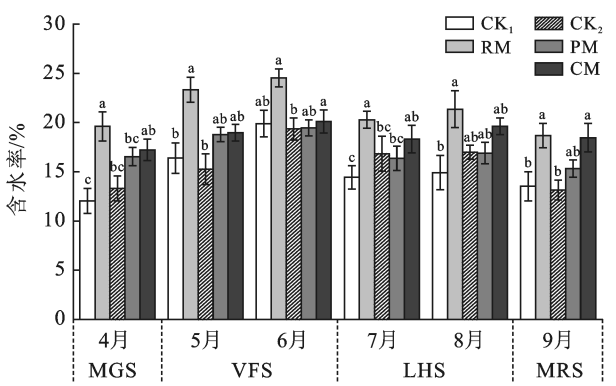



**图 4　不同措施在不同时期的土壤含水率变化情况**

### 2.6　不同措施下土壤中有机质含量

由图 5 可以看出,相对于空白处理来讲($CK_1$,$CK_2$),RM,CM 及 PM 处理,可以有效提高有机质含量,RM 处理与 $CK_1$ 相比,其有机质含量提高 31.5%;CM 和 PM 处理与 $CK_2$ 对比,其有机质平均含量分别提高 32.1% 和 29.3%。而经过坡面改造的 RM 处理和 CM 处理与未经坡面改造的 PM 处理,其有机质含量并未发生显著差异,这说明土壤中有机质的提高,主要在于秸秆覆盖种植大球盖菇措施对土壤的影响,而坡面改造对只对地形状况进行了整改,对土壤有机质含量影响并不显著。从整个生长周期来看,RM,PM,CM 处理的有机质含量均高于 CK 组,有机质含量呈波浪式下降趋势。与 CK 相比,3 种处理在 MRS 期增长幅度最大,这可能是因为菌体死亡腐化及基料腐朽之后,营养物质得以释放,显著提高土壤有机质水平。

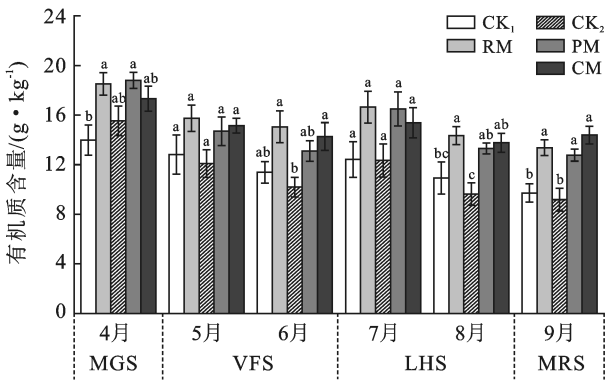



**图 5　不同措施在不同时期的土壤有机质含量变化情况**

## 3　讨 论

### 3.1　不同措施对径流中 SS 控制效果

本研究通过在坡度较高的地方设置 RM 处理与 $CK_1$ 对照,以及在林下坡度较低的地方设置 CM,PM 处理与 $CK_2$ 对照,结果显示,3 种处理均呈现出良好的 SS 减少效果,其中 RM 处理效果最佳。有研究表明,通过改变坡面结构形态,能够改善土壤结构,减少水土流失[12]。对于坡面改造防治水土流失,减少径流泥沙的机理,主要体现在对径流的再分配上[13-14]。

降雨是水土流失和面源污染的源动力,在降雨形成径流后,通过坡面结构改变,使得径流汇入沟中,当降雨量较小时,可直接渗入地表,当降雨量较大时,当沟内蓄满后,径流再流出坡面。通过径流—汇流—沟内拦蓄这一过程,可以避免径流直接顺坡而下,延缓了径流流速,降低了径流侵蚀力,从而体现出来良好的减沙效应[15]。也有学者通过增加地表覆盖度及林菌模式等方法为水土流失防治提供了良好的思路[16-17]。秸秆覆盖大球盖菇秸秆技术,复合了物理覆盖和生物拦截双重手段,可以避免降雨对土壤的直接击溅,减缓地表结皮的形成,降低径流冲刷,而且大球盖菇作为低矮植物,可以利用自身生长特性,过滤和阻截径流泥沙,从而起到了良好的水土保持作用。

### 3.2 不同措施对径流中氮、磷控制效果

当前学者对不同措施下氮磷元素影响效果的研究结果有不同见解。王克勤等[18]在烤田坡耕地研究结果表明,通过反坡梯田对径流中的氮磷浓度减少效果不明显,总氮、总磷浓度均有所提高,但氮磷迁移通量均有所下降。王静[19-20]通过试验表明,径流中氮素流失以溶解态氮为主,磷素流失以颗粒态磷为主。通过植物及秸秆覆盖等措施,显著降低了颗粒态氮、磷的浓度,同时增加了溶解态氮、磷浓度,但对总氮、总磷浓度的影响仍具有不确定性,但在年度累计量上均有所减少。张晓佳等[21]发现通过坡改梯措施后有效降低了径流中氮磷含量。本试验结果表明,通过秸秆覆盖种植大球盖菇及与坡面改造结合后,均降低了总氮、总磷浓度的浓度,并且降低了颗粒态氮、磷比例,从而增加了颗粒态氮、磷比例,这与王静、张晓佳等[19-21-22]人的研究结果一致。

氮磷元素主要是伴随着径流、泥沙而流失[11]。通过秸秆覆盖种植大球盖菇及坡面改造等措施可以延缓径流流速及径流侵蚀,继而可以减少氮磷元素的输出;另一方面,可以加剧径流与表层土壤的相互作用,增加了雨水入渗,从而加速了土壤溶液中溶解态营养元素的释放,使得可溶性营养元素含量增加[19]。径流中颗粒态氮、磷元素主要是受到降雨侵蚀和径流冲刷的影响[20-21],通过种植大球盖菇及与坡面改造结合的方式,减弱了降雨及径流对地表的侵蚀,从而减少了伴随径流泥沙流失的颗粒态营养元素的输出,从而降低了颗粒态营养元素的浓度。

### 3.3 不同措施对土壤含水率及有机质的影响

土壤水分是生态系统平衡的重要指标,土壤含水率的高低可以反映土壤的水分状况,其对地面水分循环和维持生态系统功能有重要影响[23]。土壤有机质是土壤中极为重要的组成部分,对土壤的形成和土壤肥力具有重要意义[24]。张源润等[25]研究表明坡地改造通过坡地的原有形态,可以改善土壤结构,增加土壤的通透性,提高土壤持水能力,促进有机质形成和发育,提高表层土壤中有机质含量。龚赛等人等[26]研究表明种植大球盖菇提高了地块有机质含量,对土壤改良起到积极作用。

本研究从土壤含水率和有机质含量的角度出发,探究在不同措施下对土壤状况的影响。试验发现与空白对照相比,通过 CM,PM 及 RM,均增加了土壤含水率,提高了保水能力,这与龚赛等[26]人结果一致。坡面改造措施+秸秆覆盖种植大球盖菇复合措施要比单一秸秆覆盖种植大球盖菇更加有效。从整个生长周期来看,不同措施下的土壤含水率变化趋势较为一致,都呈现先增加再下降的趋势,这可能与当地气候条件情况有关。

与空白对照相比,通过 CM,PM 及 RM,也均提高了有机质含量,但 3 种措施下的有机质含量差异不显著,这说明土壤中有机质的提高,主要在于秸秆覆盖种植大球盖菇措施对土壤的影响,而坡面改造对土壤有机质含量影响并不显著,这与张源润等人[25]结论有所差异,可能是本试验整地时间短,由于坡面改造而促进有机质形成、发育作用未明显体现。从整个生长周期来看,与 CK 相比,RM,CM,PM 处理在 MRS 期增长幅度最大,这可能是因为菌体死亡腐化及基料腐朽之后,营养物质得以释放[27],从而促进土壤有机质的积累和转化。

## 4 结 论

(1) CM,PM 和 RM 均能够有效减少 SS 含量,其平均减少率分别为 40.3%,31%和 51.1%。

(2) CM,PM 和 RM 均能够有效减少 TN 及 TP 含量,TN 平均减少率分别为 36.6%,25.1%和 56.1%;TP 平均减少率分别为 37.8%,24.7%和 46.9%。

(3) 可溶解氮是氮素流失的主要形态,颗粒态磷是磷素流失的主要形态,3 种处理均降低了径流种颗粒态氮、磷比例,提高了溶解态氮、磷比例。

(4) CM,PM 和 RM 均能够提高土壤含水率和土壤有机质含量,土壤含水率分别提高 22.2%,14.1%和 39.1%;土壤有机质分别提高 32.1%,29.3 %和 31.5%。

[ 参 考 文 献 ]

[1] Hu Mingming, Ma Jianhua, Zhu Xi. Current situation and comprehensive control measures of water environment in the Chaohu Lake [J]. Meteorological and Environmental Research, 2016,7(6):45-50.

[2] Wu Kuang, Wu Lei, Wang Xiangyu. Analysis of pollu-

tion sources and countermeasures against water pollution in a small river basin of Chaohu Lake: A case study of the Shiwulihe River [J]. Meteorological and Environmental Research, 2016,7(3):60.

[3] 邓威,汪晶晶,白云,等.苦驴河上游小流域土壤侵蚀及其养分流失特征[J].水土保持通报,2020,40(1):85-90,2.

[4] 杨林章,施卫明,薛利红,等.农村面源污染治理的"4 R"理论与工程实践:总体思路与"4R"治理技术[J].农业环境科学学报,2013,32(1):1-8.

[5] 方梦萦,李玉成,张学胜,等.林下秸秆覆盖种植大球盖菇对苦驴河源头坡地清水产流的影响[J].水土保持通报,2020,40(2):47-53.

[6] 曾建辉,李占斌,马波,等.小麦秸秆长度、覆盖量对坡面产流产沙的影响[J].水土保持学报,2020,34(4):98-103,111.

[7] 桑琦明,王磊,郑粉莉,等.东北黑土区坡耕地斜坡垄作与顺坡垄作土壤侵蚀对比分析[J].水土保持学报,2020,34(3):73-78.

[8] 白怡婧,李渝,黄兴成,等.保护性耕作对黄壤坡耕地水土流失及作物产量的影响[J].水土保持通报,2019,39(6):16-20,34.

[9] 牛俊,张平仓,邢明星.长江上游紫色土坡耕地水土流失特征及其防治对策[J].中国水土保持科学,2010,8(6):64-68.

[10] 张怡,何丙辉,唐春霞."大横坡+小顺坡"耕作模式对氮及径流流失的影响[J].西南师范大学学报(自然科学版),2013,38(3):107-112.

[11] 唐春霞."大横坡+小顺坡"耕作技术水土保持效益研究[D].重庆:西南大学,2011.

[12] 朱利.坡地利用方式和改造措施对紫色土理化性质的影响[D].山东 泰安:山东农业大学,2012.

[13] 王帅兵,宋娅丽,王克勤,等.不同雨型下反坡台阶减少红壤坡耕地氮磷流失的效果[J].农业工程学报,2018,34(13):160-169.

[14] 褚利平,王克勤,宋泽芬,等.烤烟坡耕地壤中流氮、磷浓度的动态特征[J].农业环境科学学报,2010,29(7):1346-1354.

[15] 张腾飞,查轩,黄少燕.天然降雨条件下 3 种土壤坡面的侵蚀过程及颗粒组成[J].中国水土保持科学,2014,12(6):30-35.

[16] 武旭,石建森,李青,等.不同配方玉米秸秆对大球盖菇原种菌丝生长的影响[J].山西农业科学,2013,41(9):945-946,1002.

[17] 王建宝,刘安全,陈庆宽,等.新疆北疆地区林下套种大球盖菇技术要点[J].中国食用菌,2013,32(2):58-58.

[18] 唐佐芯,王克勤,李秋芳,等.等高反坡阶对坡耕地产流产沙和氮磷迁移的作用研究[J].水土保持研究,2013,20(1):1-8.

[19] 王静,王允青,叶寅,等.不同农艺措施对巢湖沿岸坡耕地不同形态磷径流输出的控制效果[J].中国生态农业学报,2017,25(6):911-919.

[20] 王静,王允青,郭熙盛,等.不同农艺措施对巢湖沿岸坡耕地水土及径流氮输出的控制效果[J].水土保持学报,2016,30(4):38-43,48.

[21] 张晓佳.秦岭北麓"坡改梯"农田土壤肥力状况及水土保持效应研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2014.

[22] Wang Tao, Zhu Bo, Xia Lizhong. Effects of contour hedgerow intercropping on nutrient losses from the sloping farmland in the Three Gorges area, China [J]. Journal of Mountain Science, 2012,9(1):105-114.

[23] 杨翠萍,脱云飞,张岛,等.降雨对不同土地利用类型土壤水氮变化特征的影响[J].水土保持学报,2019,33(6):220-226.

[24] 王清奎,田鹏,孙兆林,等.森林土壤有机质研究的现状与挑战[J].生态学杂志,2020,39(11):3829-3843.

[25] 张源润,蔡进军,火勇,等.半干旱退化山区坡地改造工程对土壤理化性质的影响[J].水土保持通报,2005,25(5):5-8,20.

[26] 龚赛.林下大球盖菇栽培对土壤养分及微生物的影响[D].山东 泰安:山东农业大学,2017.

[27] 陈翠玲.食用菌栽培废料养分含量分析[J].河南农业科学,2002,3(4):28-29.