



薛婷婷, 程春颖, 杨帆, 张亮, 徐国前, 李茹一, 王江林, 张立霞, 梁泽炫, 周建华. 葡萄园有机覆盖措施对土壤特性的影响研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(06): 206-218.

XUE Tingting, CHENG Chunying, YANG Fan, ZHANG Liang, XU Guoqian, LI Ruyi, WANG Jianglin, ZHANG Lixia, LIANG Zexuan, ZHOU Jianhua. Effect of organic mulching practices on soil properties in vineyards: A review[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(06): 206-218.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.06.21

## 葡萄园有机覆盖措施对土壤特性的影响研究进展

薛婷婷<sup>1,2</sup> 程春颖<sup>1</sup> 杨帆<sup>1</sup> 张亮<sup>1,2\*</sup> 徐国前<sup>1,2</sup> 李茹一<sup>1,2</sup> 王江林<sup>1</sup>  
张立霞<sup>1</sup> 梁泽炫<sup>1</sup> 周建华<sup>1</sup>

(1. 宁夏大学 葡萄酒与园艺学院, 银川 750021;

2. 葡萄与葡萄酒教育部工程研究中心/宁夏葡萄与葡萄酒工程技术研究中心, 银川 750021)

**摘要** 为缓解清耕的弊端以及解决葡萄冬剪枝条废弃物循环利用的问题, 本研究综述了近年来葡萄园中生草与枝条覆盖对土壤理化性质及微生物变化的影响。结果表明: 1) 生草和枝条覆盖降低了土壤容重, 增加了孔隙度, 提高了水分含量, 提高了土壤团聚体稳定性并促进了土壤结构的形成; 2) 在覆盖措施条件下土壤酶活性增加; 3) 生草与枝条覆盖使土壤微生物量增加, 微生物结构也得到改善; 4) 养分的增加会驱动微生物丰度以及群落结构的改变; 5) 生草与枝条覆盖激发了不同粒径团聚体之间的形成及转化。综上, 生草和枝条等有机覆盖措施对于葡萄园的土壤健康有重要意义, 是促进葡萄产业发展的重要措施。

**关键词** 葡萄园; 生草覆盖; 枝条覆盖; 土壤微生物

中图分类号 S663.1; S365

文章编号 1007-4333(2024)06-0206-13

文献标志码 A

## Effect of organic mulching practices on soil properties in vineyards: A review

XUE Tingting<sup>1,2</sup>, CHENG Chunying<sup>1</sup>, YANG Fan<sup>1</sup>, ZHANG Liang<sup>1,2\*</sup>, XU Guoqian<sup>1,2</sup>, LI Ruyi<sup>1,2</sup>,  
WANG Jianglin<sup>1</sup>, ZHANG Lixia<sup>1</sup>, LIANG Zexuan<sup>1</sup>, ZHOU Jianhua<sup>1</sup>

(1. College of Enology and Horticulture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. Engineering Research Center of Grape and Wine, Ministry of Education/Ningxia Grape and Wine Engineering Technology Center, Yinchuan 750021, China)

**Abstract** With the aim of alleviating the drawbacks of clear-cutting and solving the problem of recycling grape winter pruning waste, this study reviewed the effects of covering crops and branch mulching on soil physicochemical and microbiological changes in vineyards in recent years. The results showed that: 1) Grass and branch coverage can reduce soil bulk density, increased porosity, increased water content, improved soil aggregate stability and promoted the formation of soil structure; 2) Soil enzyme activities increased under mulching measures; 3) Grass and branch coverage resulted in an increase in soil microbial populations and an improvement in microbial structure; 4) The increase in nutrients would drive changes in microbial abundance and community structure; 5) Covering crops and branch mulching stimulated the formation and transformation of aggregates with different grain sizes. In conclusion, organic mulching measures, such as covering crops and branching, are of great significance for the soil health of vineyards and are an important

收稿日期: 2023-08-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(32360804); 宁夏自然科学基金(一般项目)(2023AAC03064, 2023AAC03143); 宁夏回族自治区重点研发计划项目(2023BCF01026-02)

第一作者: 薛婷婷(ORCID: 0000-0003-1721-5756), 博士, 副教授, 主要从事酿酒葡萄冬季免埋土和生态栽培研究, E-mail: xtt@nxu.edu.cn

通讯作者: 张亮(ORCID: 0000-0002-0170-3619), 博士, 讲师, 主要从事葡萄园碳汇和葡萄生态化栽培方面研究, E-mail: zl2022@nxu.edu

measures to promote the grape industry.

**Keywords** vineyard; covering crops; branch mulching; soil microbiology

植物在生长过程中离不开阳光、空气、水分、土壤与微生物等多方面环境因素的协同作用,土壤作为植物生长的直接载体,土壤养分以及微生物直接影响植物的生长状态<sup>[1]</sup>。土壤有机碳以及全氮对土壤物理、化学和生物性质有重要影响,可提高土壤肥力和维持土壤生产力<sup>[2]</sup>。土壤养分的变化受到许多土壤管理措施的影响,例如肥料施用、秸秆覆盖、枝条覆盖和耕作方式等<sup>[2-3]</sup>。根据2022年国际葡萄与葡萄酒组织统计,我国葡萄(*Vitis vinifera* L.)种植面积为78.5万hm<sup>2</sup>,是位居全球第三位的葡萄种植大国<sup>[4]</sup>。并且葡萄每年冬季都需要枝条修剪来保持良好的生长发育,导致我国每年产生大量的葡萄废弃枝条,估算每年修剪产生的葡萄残枝约为750万t<sup>[5]</sup>。大多数废弃枝条被丢弃、焚毁或者堆放在田边,只有少数被栽培食用菌以及堆肥<sup>[6]</sup>。传统的葡萄园土壤管理模式是清耕。清耕不仅破坏了土壤结构,导致水土流失,造成土壤理化性质退化、土壤质量不佳和肥力供应不足等问题<sup>[7]</sup>,还会提高葡萄园人工成本。清耕以及葡萄枝条利用率低下带来的问题都不利于葡萄园长久发展,因此,减少人为扰动以及自然侵蚀,对改善果园理化性状及土壤质量有重要意义<sup>[8]</sup>。

近年来推广的有机覆盖具有容重小、疏松透气和易自然分解等特点,在使用时不但能够为土壤保水透气,分解后还能够产生有机质,为土壤提供营养<sup>[9]</sup>。研究发现,果园生草可以提高土壤肥力、有效缓解土壤水土流失等侵蚀问题、增加土壤微生物以及改善土壤微生物群落结构<sup>[10-11]</sup>。枝条和秸秆覆盖有利于提高土壤稳定性、改善土壤蓄水保墒能力、提升土壤有机质以及土壤养分含量,土壤微生物数量也在枝条覆盖影响下发生变化<sup>[12-14]</sup>。本研究综述了近年来关于生草和枝条覆盖措施对土壤理化和微生物群落结构的影响,旨在为中国葡萄园解决清耕弊端以及提高枝条利用率提供参考。

## 1 葡萄园有机覆盖管理措施

果园生草指在果树行间进行自然生草或者人工种草(图1),主要为禾本科或豆科植物,使草覆盖在土壤表面,每年刈割或者常年不刈割,将刈割后的植物残体覆盖在土壤表面或者翻耕入表层土壤,避免土壤裸露的一种覆盖方式<sup>[15-17]</sup>。生草模式要因

地制宜,全园生草、行间生草以及草种选择都受到不同地域影响<sup>[11]</sup>,而且根系较浅的果园一般只进行行间生草。由于生草草种的不同特性,也将果园生草分为一年以及多年生草模式。一年生草制的果园会将其翻埋在土壤中充作绿肥,而多年生草制的果园以多年生草种的根系以及凋落物作为补充源,可以不断地向土壤提供养分<sup>[18]</sup>。与裸土相比,生草的存在增强了土壤质量。在连续生草栽培之后,促进了碳和氮循环以及增强了微生物活性,其中豆科植物覆盖栽培普遍改善了热带和亚热带土壤质量。生草覆盖是一种能够满足可持续农业标准的做法<sup>[19-20]</sup>。生草覆盖同样促进了葡萄植株对土壤中氮等营养元素的吸收,葡萄园微气候也在其影响下而改变,葡萄质量以及品质都得到提升<sup>[21-22]</sup>。

枝条覆盖指将果树修剪后的枝条或其他林木枝条覆盖在土壤表面(图1),一般分为直接覆盖与翻埋覆盖。其中直接覆盖就是将修剪后的整段枝条或粉碎后的枝条直接铺设在土壤表面,粉碎长度一般为3~10cm<sup>[23-24]</sup>;翻埋覆盖是将粉碎后的枝条按比例翻埋在一定深度的土壤中<sup>[25]</sup>。枝条中不仅含有大量的氮、磷和钾等养分,还具有果胶、纤维素、木质素、糖类和蛋白质等不同营养成分<sup>[5]</sup>。果园中,枝条覆盖能够增加有机质、改善土壤团粒结构并提高土壤理化性状,而且降低了工作成本,为果园带来了更好的经济效益<sup>[6]</sup>。枝条覆盖对土壤产生的积极效果通过根吸收并传导到藤,促进葡萄根系发育以及根冠层生长,对葡萄产量以及果实品质均产生积极影响<sup>[26]</sup>。葡萄枝条覆盖是促进环境质量以及葡萄产业发展的重要措施。

## 2 葡萄园有机覆盖措施对土壤理化性质的影响

土壤理化性质包括物理和化学性质,其中物理性质主要包括土壤的容重、含水量、孔隙度和团聚体等,化学性质包括土壤pH和养分含量等。对果园进行覆盖可使土壤免受降雨冲刷、保持土壤疏松并防止土壤板结,从而降低土壤容重,改变土壤的物理结构<sup>[27]</sup>,缓解水分、养分损失和土壤侵蚀<sup>[28]</sup>。

### 2.1 葡萄园有机覆盖措施对土壤含水量的影响

水是植物生长发育的必需条件。生草覆盖可

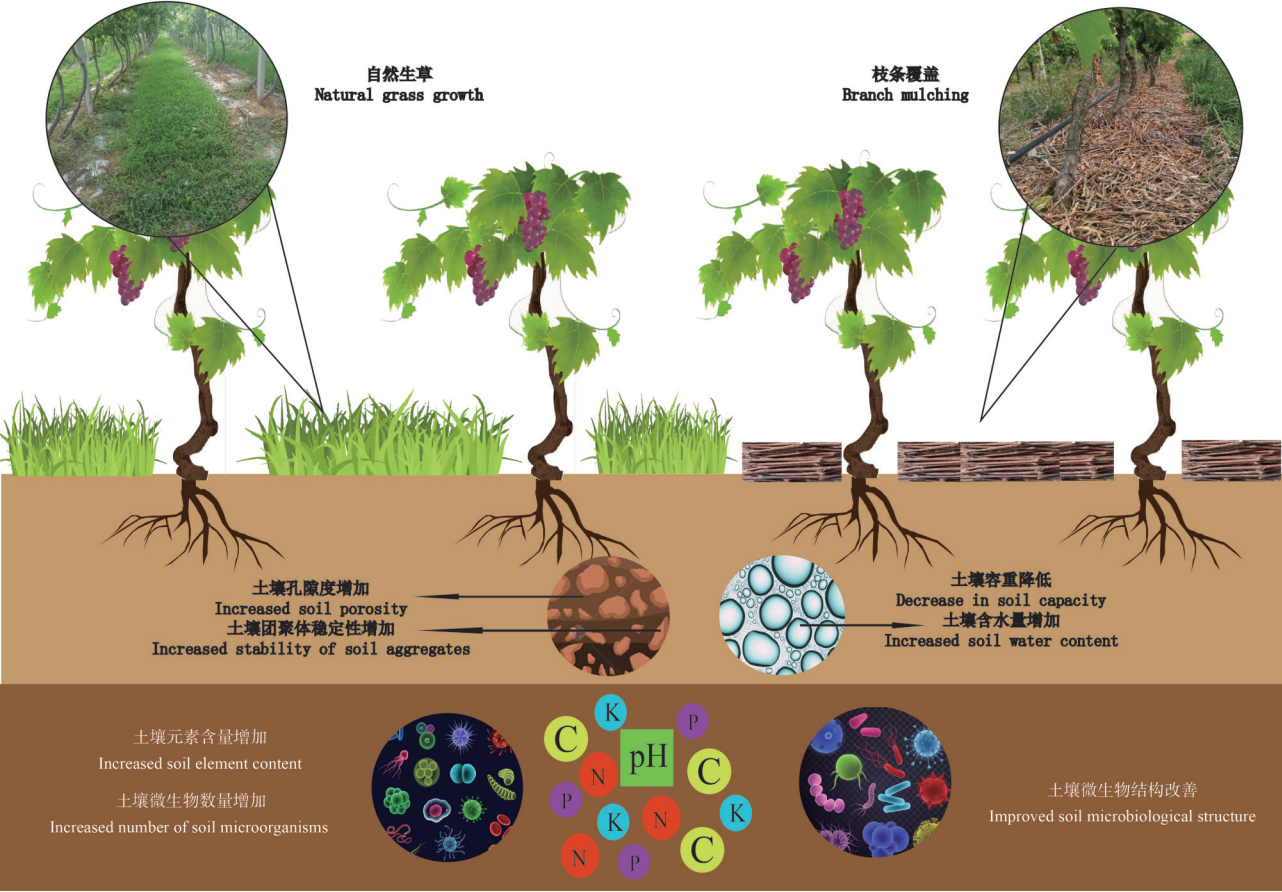


图1 葡萄园有机覆盖措施对土壤理化及微生物影响示意图

Fig. 1 Schematic representation of the physicochemical and microbiological effects of organic mulching measures in vineyards

以提高葡萄园土壤中的含水量(表1),但是不同草种提高的效果存在差异。研究表明,二月兰(*Orychophragmus Violaceus*)可以使表层土壤的最大持水量和田间持水量显著增加,对比清耕分别增加26.3%和26.1%<sup>[29]</sup>。生草覆盖导致萌芽时期的土壤含水量增加,但是开花期的土壤含水量降低<sup>[30]</sup>,造成此结果的原因可能是生长期存在水分竞争所导致。三叶草(*Trifolium repens*)更适合作为耐旱植物行间覆盖,其与葡萄藤蔓灌溉水的直接竞争最小<sup>[31]</sup>。在其他果园中也出现相似情况,例如在苹果园<sup>[32]</sup>、柑橘园<sup>[33]</sup>和锥栗(*Castanea henryi*)园<sup>[34]</sup>中生草覆盖均使土壤含水量高于清耕。春季末温度上升,植物开始生长,水分消耗可能导致生草覆盖物和藤蔓之间的水竞争<sup>[35]</sup>。生草覆盖下土壤的保水能力增加是普遍共识,但生草草种与葡萄对水资源的竞争是生草覆盖在干旱气候下实施的主要障碍<sup>[36]</sup>。在严重缺水期间,必须控制生草覆盖物,避免严重的水分竞争对干旱地区的葡萄园产生负面影响。

枝条、秸秆覆盖在葡萄园中对于土壤含水量有积极影响(表1),能提高土壤的蓄水保墒能力。卢佳<sup>[14]</sup>发现葡萄枝条覆盖使0~60 cm土层的土壤含水量明显提高。秸秆覆盖使葡萄园0~60 cm土层的含水量对比清耕提高4.24%<sup>[37]</sup>。覆盖厚度不同影响也不同,土壤含水量一般随着秸秆覆盖厚度增加而增加<sup>[38]</sup>。当降雨集中时,秸秆覆盖可使土壤水分保持在一个稳定的范围内,而清耕的土壤水分过高时,易造成水土流失<sup>[39]</sup>。López-Urrea等<sup>[40]</sup>研究发现,在降雨量较高时,地面潮湿会导致土壤蒸发量的增加,枝条覆盖对葡萄园总蒸发量具有明显的缓解作用。值得注意的是,枝条覆盖的类型和厚度应根据不同的土壤类型、农业生态环境和当地农业废弃物进行调整,才能得出确定性的结论。

**2.2 葡萄园有机覆盖措施对土壤容重的影响**

土壤的容重大小表明土壤的密实程度,低容重的土壤有利于土壤养分与水分的保持。葡萄园中生草覆盖对土壤容重的影响不一(表1)。长期生草覆盖

表 1 有机覆盖对葡萄园土壤物理性质的影响

Table 1 Effect of organic mulching on the physical properties in vineyards

| 葡萄园位置<br>Vineyard location      | 气候类型<br>Climate type | 处理方式<br>Treatment                                 | 物理变化<br>Physical change           | 参考文献<br>Reference |
|---------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| 河北省怀来县<br>Huailai, Hebei        | 温带亚干旱大陆性季风气候         | 二月兰和披针叶苔草( <i>Carex lanceolata</i> )覆盖            | 二月兰增加土壤含水量,降低土壤容重,2种处理均增加土壤团聚体含量。 | [29]              |
| 西班牙帕尔马<br>Palma, Spanish        | 地中海气候                | 自然生草                                              | 萌芽期时土壤含水量升高,容重降低,增加大团聚体含量。        | [30]              |
| 西班牙纳瓦拉<br>Navarra, Spanish      | 地中海气候                | 覆盖草莓属( <i>Fragaria</i> )作物                        | 容重降低,团聚体稳定性增加。                    | [41]              |
| 宁夏回族自治区西夏区<br>Xixia, Ningxia    | 温带干旱大陆性气候            | 枝条直接覆盖、机械旋耕入土、制作生物有机肥施入、制作生物炭施入                   | 各处理均使土壤含水量升高,容重降低,总孔隙度升高。         | [14]              |
| 山东省平邑县<br>Pingyi, Shandong      | 暖温带季风区大陆性气候          | 玉米秸秆覆盖 0、2、4 和 6 cm                               | 各处理均使土壤含水量升高,容重无明显差异,团聚体稳定性增加。    | [38]              |
| 宁夏回族自治区永宁县<br>Yongning, Ningxia | 中温带干旱气候              | 覆膜、自然生草、覆木屑、覆秸秆、生马齿苋( <i>Portulaca oleracea</i> ) | 自然生草、马齿苋使总孔隙度升高,马齿苋使大团聚体含量升高。     | [42]              |

会使土壤容重降低,但是临时生草覆盖可能造成土壤容重升高。例如 1 年生草覆盖下自然生草以及人工种植马齿苋均使 0~60 cm 土层的平均容重下降,且人工种植马齿苋效果更显著<sup>[42]</sup>。李晓娜等<sup>[29]</sup>研究发现,3 年生草覆盖可以显著降低土壤表层的土壤容重,其中种植二月兰可以使表层土壤容重比清耕降低 12.4%。保持自然生草覆盖 7 年可以使土壤容重降低<sup>[30]</sup>。在 Abad 等<sup>[41]</sup>的研究中,两层土层的容重没有太大的差异,但是 15~30 cm 的土壤容重在生草覆盖下更低。临时生草覆盖的葡萄园土壤容重却增加<sup>[43]</sup>。较大的土壤团聚体粒径导致颗粒之间的空气和空间增加,解释了生草覆盖处理中土壤容重的降低<sup>[44]</sup>;相比之下,耕作增加了容重,这是由于大团聚体的降解和拖拉机运输对大孔隙的破坏<sup>[45]</sup>。Guzmán 等<sup>[43]</sup>表明,土壤容重较高,可能是由于生草覆盖对土壤的自然固结和取样日耕作对土壤的扰动较小所致。长期生草覆盖使土壤的容重降低是基本的现象<sup>[46]</sup>。

枝条、秸秆覆盖对于葡萄园土壤容重具有改善作用(表 1),大部分果园以及农田中进行枝条、秸秆

覆盖可使土壤容重降低。枝条覆盖均降低了土壤容重,但是直接枝条覆盖对于 0~20 cm 土层的降低效果不显著<sup>[14]</sup>。秸秆覆盖 4 cm 厚可以使 0~5 cm 土层土壤容重降低<sup>[38]</sup>。在其他果园中,例如柑橘园<sup>[47]</sup>和梨园<sup>[48]</sup>中进行枝条覆盖都使土壤容重显著低于清耕。在农田中进行了秸秆碾垄均匀还田、秸秆还田、秸秆翻耕还田和秸秆粉碎还田处理,这些处理均使土壤容重降低<sup>[49]</sup>。原因是植物残渣与更密集的矿物组分结合,以及少耕减少了大团聚体破坏<sup>[38, 49]</sup>。此外,Telak 等<sup>[50]</sup>表明低容重的表层土壤可以减少葡萄园中水分和养分的损失。

### 2.3 葡萄园有机覆盖措施对土壤结构稳定性的影响

土壤结构稳定性与孔隙度和土壤团聚体密切相关。土壤团聚体是土壤结构构成的基础,影响土壤的各种理化性质<sup>[42]</sup>。葡萄园中生草与枝条覆盖可以改善土壤结构(表 1)。自然生草可以增加 2~8 mm 粒径团聚体的相对丰度,降低 0.05~1 mm 粒径团聚体的相对丰度<sup>[30]</sup>。种植二月兰和披针叶苔草可以使 0.125~0.25 mm 粒径土壤团聚体的含量增

加,而且二月兰的影响最显著<sup>[29]</sup>。生草覆盖使0~30 cm土层的土壤孔隙度增大、大团聚体百分比增加、微团聚体百分比降低、水稳性团聚体(WSA)丰度增加并且观察到较高的平均重量直径(MWD)<sup>[41]</sup>。临时生草覆盖显著提高了土壤团聚体稳定性,增幅为73%<sup>[43]</sup>。庞群虎<sup>[42]</sup>的研究也表明自然生草与生马齿苋提高了土壤总孔隙度,分别对比清耕提高了5.34%和5.54%,2种处理均使0~20 cm土层的大团聚体含量高于清耕处理,40~60 cm土层中大团聚体含量在生马齿苋处理下比清耕处理高出4.15%。卢佳<sup>[14]</sup>表明,枝条不同的覆盖方式会不同程度的提高土壤总孔隙度。秸秆覆盖提高了土壤平均重量直径和几何平均直径(GMD),覆盖厚度的增加也影响土壤团聚体稳定性<sup>[38]</sup>。

孔隙度的增大是由于大团聚体的增加。团聚体稳定性以及大团聚体比例的提高,促使土壤结构得到改善。当有机物输入赋予持续的生物活性时,土壤团聚循环就会被激活,小团聚体可以并入稳定的大团聚体中<sup>[41]</sup>。添加秸秆可以更好地结合团聚体<sup>[51]</sup>,其潜在机制为:由葡萄糖微生物代谢产生的多糖以及来自分解残余物的代谢物,充当聚集体的粘合剂,秸秆、残渣、根和根沉积是影响土壤团聚体形成的主要因素<sup>[52]</sup>。粉碎后的秸秆破坏了原有秸秆的组织结构和外角质层,增加了秸秆纤维素、半纤维素、木质素与土壤的接触面积,加速了秸秆的分解和养分释放,最终缩短了秸秆分解的持续时间<sup>[53]</sup>。在葡萄园中覆盖修剪后的粉碎枝条也能达到像秸秆分解后对土壤的积极作用。而且土壤微生物作为土壤团聚体之间的结合剂,在土壤团聚体的形成中起着重要作用,覆盖可以减少耕作次数,从而保护微生物以形成团聚体<sup>[54]</sup>。除了为土壤微生物提供更好的物理环境外,保水能力、渗透性以及抗物理退化都与土壤结构稳定性相关<sup>[55]</sup>。

## 2.4 葡萄园有机覆盖措施对pH和土壤养分的影响

土壤pH是能够影响土壤肥力的一个重要特性,生草和枝条覆盖均可以改善土壤pH。过低或过高的pH会对葡萄生长产生威胁,且清耕会造成土壤酸化<sup>[56]</sup>。生草覆盖可以调节土壤pH至中性<sup>[57]</sup>,其中黑麦草(*Lolium perenne*)覆盖使土壤pH高于清耕<sup>[56]</sup>。王波波<sup>[57]</sup>研究发现,生草覆盖在果树生长前期对土壤酸碱度影响较小,随着草的生长,生草覆

盖可以调节土壤pH,使土壤pH由弱酸性变为中性或弱碱性。温带葡萄园土壤pH随着秸秆覆盖厚度的增加出现先降低后增高的趋势<sup>[38]</sup>,枝条覆盖也显著提高了土壤pH值<sup>[58]</sup>。pH更接近中性的土壤可以加速有机质的分解<sup>[59]</sup>。

土壤氮、磷、钾与有机质是土壤成分中的一部分,是土壤肥力的重要体现,对植物的生长发育起到了非常重要的作用。生草覆盖使土壤氮、磷、钾及有机质含量提高(表2),且生草草种不同对土壤养分的影响也不同。种植马齿苋使土壤有机质对比清耕提高了34.03%<sup>[60]</sup>。黑麦草对于全磷、全钾和有效磷的影响显著高于清耕,且黑麦草和紫花苜蓿(*Medicago sativa*)使土壤有机质对比清耕分别提高了44.44%和34.07%<sup>[56]</sup>。披针叶苔草可以增加表层土壤有机质,种植二月兰可以提高深层土壤中全氮和有效磷的含量<sup>[29]</sup>。土壤有机质含量的高低与生草草种有关,且不同草种下的土壤氮素有效性均有所提高<sup>[61]</sup>。经上述研究发现,与清耕土壤相比,有机覆盖物下的氮、磷、钾以及有机质等含量均增加。清耕土壤中有机质含量低,可能是碳输入过低、耕作导致的高矿化率以及侵蚀增加的结果。而且耕作对土壤团聚体的破坏会导致土壤团聚体对有机质的保护力度过低,生草和枝条覆盖会降低耕作频率以及减少侵蚀,同时提高土壤微生物量,促进表层土壤有机质积累<sup>[61]</sup>。

枝条覆盖对于土壤养分也有积极影响(表2),覆盖方式不同也会影响不同养分的增加与减少。覆盖枝条可以显著提高土壤全氮及全磷含量<sup>[58]</sup>。秸秆覆盖厚度增加会导致全氮含量降低,但是土壤有机碳含量会随着覆盖厚度增加而增加<sup>[38]</sup>。段鑫垚<sup>[62]</sup>的研究表明,地面覆盖可增加表层土壤的全效和速效养分含量,表层土壤总碳和总有机质含量也得到提升。造成这个现象的很大原因是因为枝条中所蕴含的养分经过分解之后输入到土壤中,土壤未进行耕作,减缓了有机物的氧化,植物根系、凋落物和土壤表面枝条残渣可以保持和增加土壤有机物质,例如有机碳和有机氮<sup>[19]</sup>。

## 3 葡萄园有机覆盖措施对土壤酶活性的影响

土壤酶活性是表征土壤肥力水平和生物活性状况的重要指标之一,土壤酶活性的高低反映了土

表 2 有机覆盖对葡萄园土壤化学性质的影响

Table 2 The effect of organic mulching on the chemical properties in vineyards

| 葡萄园位置<br>Vineyard location   | 气候类型<br>Climate type | 处理方式<br>Treatment                             | 化学变化<br>Chemical change                 | 参考文献<br>Reference |
|------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------|
| 河北省怀来县<br>Huailai, Hebei     | 温带亚干旱大陆性季风气候         | 二月兰和披针叶苔草覆盖                                   | 披针叶苔草增加有机质含量, 二月兰增加全氮、有效磷含量。            | [29]              |
| 辽宁省葫芦岛市<br>Huludao, Liaoning | 温带湿润季风气候             | 黑麦草和紫花苜蓿覆盖                                    | 黑麦草增加全磷、全钾和有效磷含量, 提高 pH, 2 种处理均增加有机质含量。 | [56]              |
| 宁夏回族自治区西夏区<br>Xixia, Ningxia | 大陆性季风气候              | 覆膜, 马齿苋草、地锦草 ( <i>Euphorbia humifusa</i> ) 覆盖 | 马齿苋显著增加有效磷、速效钾、全氮和有机质含量。                | [60]              |
| 山东省平邑县<br>Pingyi, Shandong   | 暖温带季风区大陆性气候          | 玉米秸秆覆盖 0、2、4 和 6 cm                           | 覆盖厚度增加提高有机碳含量、降低全氮含量, pH 先降低后增加。        | [38]              |
| 陕西省杨陵区<br>Yangling, Shaanxi  | 东亚暖温带半湿润半干旱气候        | 塑料地膜、液态地膜和碎枝条段覆盖                              | 地面覆盖增加了氮、磷、钾、总碳和有机质含量, 枝条覆盖维持 pH。       | [62]              |

壤中养分转化能力的强弱。其中土壤脲酶是土壤中具有催化作用的活性物质,对尿素的分解起重要作用,其活性的大小与土壤肥力密切相关;蔗糖酶对土壤中有机碳的矿化和分解起到至关重要的作用;土壤过氧化氢酶参与土壤中重要的生物氧化还原反应,其活性决定了反应进程的快慢<sup>[42]</sup>;磷酸酶是土壤中一类重要的酶类,参与有机磷的转化,可加速有机磷的脱磷速度,其活性高低与土壤中有机磷含量和 pH 值相关,可作为评价土壤磷素生物转化方向和强度的指标<sup>[63]</sup>。

葡萄园中土壤酶活性会受到生草覆盖的影响。有研究表明,自然生草使土壤脲酶活性显著提高,过氧化氢酶活性在一段时间后又提高,但降低了蔗糖酶活性<sup>[64]</sup>。种植马齿苋可显著提升酿酒葡萄园表层土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶及碱性磷酸酶活性<sup>[42]</sup>;豆科植物如白三叶草和苜蓿可以显著增加土壤蔗糖酶和脲酶活性,禾本科植物可以提高碱性磷酸酶活性<sup>[65]</sup>。在其他果园中,例如苹果园<sup>[65-66]</sup>生草覆盖同样提高了土壤酶活性。目前的研究显示,豆科植物对土壤酶活性水平的影响比禾本科植物更积极,而且 3 种酶活性与土壤总有机碳和全氮含量呈显著正相关,说明土壤酶活性可能与豆科植物的固氮能力有关<sup>[65]</sup>。生草覆盖通过提升园区土壤理化性质和调节表层土壤温湿度,为微生物的生存与繁殖创造良好的土壤环境,进而促使微生物向土

壤中分泌更多的酶<sup>[42]</sup>。

葡萄园中枝条或秸秆覆盖对于土壤酶活性也有提高作用,而且不同覆盖材料以及不同覆盖方式对于酶活性的影响不一。覆盖木屑显著提升酿酒葡萄园表层土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶及碱性磷酸酶活性,而覆盖秸秆对土壤碱性磷酸酶活性提升效果最好<sup>[42]</sup>。覆盖秸秆使过氧化氢酶活性先降低后升高再降低<sup>[37]</sup>。杨树枝条覆盖可以使宁夏沙化土壤脲酶和过氧化氢酶活性显著提高<sup>[67]</sup>。翻埋与覆盖组合可以显著提高脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶的活性,但对过氧化氢酶的影响却不显著<sup>[25]</sup>。覆盖枝条能够提升土壤酶活性可能是由于覆盖枝条与表层土壤形成良好的水肥气热条件,促进了表层土壤养分的释放,为微生物的生存与繁殖创造良好的土壤环境,促使微生物向土壤中分泌更多的酶,从而提升土壤酶活性<sup>[42]</sup>。

4 葡萄园有机覆盖措施对微生物的影响

土壤微生物是生态系统中的分解者,是生态系统的重要组成部分,在生态系统中起到重要作用,可敏感的感知外界环境,能够对外界环境的变化及时做出反应<sup>[68]</sup>,有助于土壤养分的转化和循环<sup>[69]</sup>。土壤微生物的种类、数量及活性在土壤生态系统的稳定性及多样性上有着不可替代的作用,可直接影响土壤有机质和土壤团粒结构的形成<sup>[70-71]</sup>。不同的

覆盖方式能够在不同程度上影响土壤微生物的多样性<sup>[72]</sup>。

#### 4.1 葡萄园有机覆盖措施对微生物丰度及群落结构的影响

土壤微生物作为土壤生态的重要组成部分,必然会在覆盖处理下有所响应。生草覆盖会与经济作物产生土壤养分竞争,但不会影响到土壤微生物。生草覆盖可以改变真菌的丰度,以及它们在门水平上的组成<sup>[73]</sup>,而且可以检测到更高的细菌多样性<sup>[74]</sup>。有研究显示,生草覆盖使葡萄园表土和行间的真菌物种丰富度变高,细菌丰富度从2 423种变化到3 035种,其中真菌水平丰度属于子囊菌门(Ascomycota)的隶属度最高,其次是担子菌门(Basidiomycota);细菌中最突出的是变形菌门(Proteobacteria),其次是浮霉菌门(Planctomycetota)和放线菌门(Actinobacteria)<sup>[75]</sup>。生草覆盖通过增加土壤有机质和提高土壤肥力,促进土壤微生物的生长和繁殖。

枝条覆盖可以保持土壤湿度和温度,提供微生物适宜的生长环境以及所需的有机物质和营养物质,促进土壤微生物的生长和繁殖。在葡萄园中,枝条覆盖0~15 cm的土层的微生物量显示出小幅增加<sup>[26]</sup>。有研究得出,变形菌门、酸杆菌门(Acidobacteria)、疣微菌门(Verrucomicrobia)、拟杆菌门(Bacteroidetes)和放线菌门等10种属于优势菌群,所有覆盖处理在60和150 d后均降低了变形菌的相对丰度,增加了酸杆菌和放线菌的相对丰度<sup>[76]</sup>。刘思等<sup>[77]</sup>的研究结果也显示在枝条和秸秆覆盖下,土壤中的变形菌门、酸杆菌门、放线菌门、疣微菌门和绿弯菌门(Chloroflexi)为优势菌种,土壤微生物多样性提高。综上,枝条覆盖对土壤微生物的影响是正面的,可以促进土壤微生物的生长和繁殖,提高土壤肥力和生产力。

#### 4.2 葡萄园有机覆盖条件下土壤理化驱动对土壤微生物群落结构的影响

土壤微生物群落对于改善农业生态系统的功能至关重要,土壤理化性质在不同农业生态系统中均具有驱动地下微生物群落的潜力。Kumar等<sup>[78]</sup>利用冗余分析(RDA)研究了微生物结构对生草覆盖下土壤理化性质的响应,理化性质占细菌和真菌类群落组合总变异的84%。土壤细菌丰度与土壤pH呈显著正相关<sup>[79]</sup>。真菌群落的多样性和结构主要受土

壤环境因子中的氮、磷和钾元素影响,其中全氮和全磷对真菌群落的影响最大,其次是全碳、有效钾和碱解氮<sup>[80]</sup>。Zhang等<sup>[81]</sup>发现,子囊菌门物种是其研究中的优势真菌,而且真菌多样性指数与pH、总碳和有机碳呈正相关,细菌多样性指数与有机碳、铵态氮、硝酸盐和pH呈正相关。Xue等<sup>[82]</sup>同样用冗余分析揭示了土壤有机碳和生物量碳是土壤细菌群落变化的主要驱动因素,其中土壤有机碳还与变形菌门和放线菌门两者的相对丰度呈正相关,土壤真菌群落的组成与总氮和硝态氮水平显著相关,而且真菌利用有机碳产生更大量的生物质碳,导致微生物量碳(MBC)驱动土壤真菌的变化。碳和氮矿化能力与细菌和真菌群落结构相关性最强,pH与土壤真菌和细菌群落组成有关<sup>[83]</sup>。总的来说,氮、磷、钾、碳与pH会影响土壤中真菌和细菌群落,而土壤结构的稳定性会影响土壤中养分的含量。所以,土壤的理化性质强烈影响其中存在的微生物群落的结构和演替。

#### 5 葡萄园有机覆盖措施对土壤团聚体、微生物和有机碳的调控机制

葡萄园生草和枝条覆盖可促进土壤有机质含量增加和改善微生物多样性,真菌和细菌形成的菌丝网络和土壤有机碳结合会影响土壤团聚体的形成,菌丝网络、有机碳和团聚体之间互相影响,从而增加了土壤中团聚体的稳定性、土壤养分以及微生物量(图2)。研究表明,生草和枝条覆盖下土壤有机碳含量与水解酶活性以及微生物丰度呈显著正相关<sup>[84]</sup>,且土壤微生物在团聚体大小的再分配中起着至关重要的作用,土壤团聚体的形成在很大程度上由微生物活动驱动<sup>[85]</sup>。土壤团聚体通过复杂的微结构提高微生物对有机碳的物理不可接近性,而不同的土壤管理措施可以改变土壤理化特性,诱导土壤团聚体中参与碳循环的细菌群落组成和真菌基因的变化,从而显著影响土壤微环境的变化<sup>[86-87]</sup>。生草和枝条覆盖均增加了参与碳降解的基因组合,微生物群落将作物残体从不稳定的碳化合物转化为顽固的碳化合物,从而增加稳定有机碳库中的碳<sup>[88-89]</sup>。并且覆盖措施可以直接通过减少物理破坏和间接通过增加有机物输入来促进土壤大团聚体形成<sup>[86, 90]</sup>,团聚体孔隙几何形状的改变将通过调节水和氧的运动来调节微生物的活性,形成反馈回

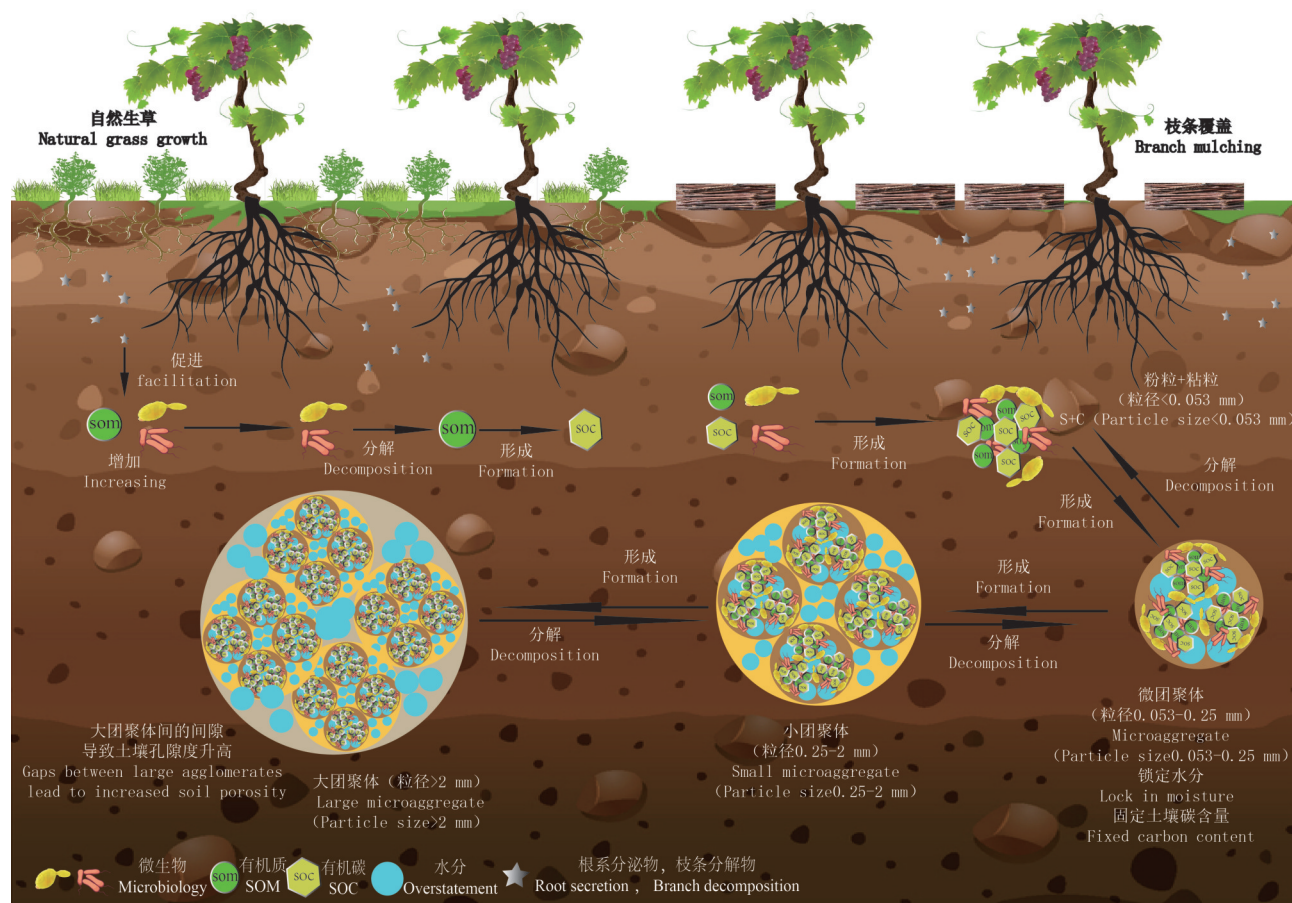


图2 葡萄园有机覆盖措施对土壤团聚体、土壤理化和微生物的调控机制

Fig. 2 Mechanisms of soil aggregates, soil physicochemical and microbiological regulation by organic mulching measures in vineyards

路,从而为团聚体的相关碳提供物理保护<sup>[91-93]</sup>。

关于不同粒径的团聚体,他们之间相互合成大粒径团聚体或者破裂分解形成小粒径团聚体。大团聚体孔隙连接度高、通气性好、周转率快并且有机质含量丰富;微团聚体持水能力强、稳定性碳含量高并且具有更高的微生物多样性。其中对有机碳的贡献率主体为大团聚体,大团聚体与有机碳含量之间呈极显著正相关<sup>[94]</sup>。Rabbi等<sup>[92]</sup>通过扫描土壤团聚体研究不同类型的有机物残体覆盖,发现外源有机质的分解促进了大团聚体的形成,而形成团聚体的碳主要来源于微生物,故微生物对外加碳的处理促进了大团聚体的形成。总体而言,土壤中的有机碳作为重要的胶结物质使小团聚体形成大团聚体,团聚体组成良好的土壤结构又能提高土壤有机碳的固持,生草和枝条覆盖可以促进土壤关键的理化性质以及微生物群落结构的改善,对于土壤固碳和有机碳库的稳定具有重要意义<sup>[95]</sup>。

## 6 总结和展望

本研究综述了近年来生草和枝条覆盖对土壤理化和微生物方面的影响,发现2种覆盖措施均可以减少土壤的容重,通过增加土壤的有机质含量、改善土壤结构并且减少土壤的压实和侵蚀,更易于形成团聚体和增加土壤的孔隙度。而且覆盖减少了土壤表面的水分蒸发和水分流失。生草和枝条覆盖可以通过植物残体分解以及根系分泌物增加土壤有机质含量、土壤养分并且提高土壤pH,防止土壤酸化。养分的增加驱动了微生物的丰度以及群落结构改变。2种覆盖措施均促进了土壤微生物的生长和繁殖,并且改善了土壤微生物群落多样性。团聚体、微生物和有机碳之间息息相关,在2种覆盖措施的作用下,团聚循环被激发并保护起来。

目前,国内外学者对果园生草以及枝条覆盖对土壤理化以及微生物的影响的研究陆续增加。但是着重点依旧是果园生草覆盖后对土壤基本理化

性质的研究,对此,提出以下展望:

1)土壤理化性质会影响微生物的变化,但是具体的影响机制并没有确定的结论。今后在研究土壤理化性质驱动微生物变化机制的同时,应该侧重于研究影响微生物的确切元素,并且研究这些元素是否能在影响有益微生物的同时达到抑制病原菌的效果。

2)目前对于枝条覆盖的研究聚焦在土壤理化性质影响微生物以及团聚体的方面,重点在于有机碳与微生物影响团聚体的形成,将来的研究重点应该在土壤微生物量以及微生物的不同分布是如何影响土壤结构的稳定以及土壤其他元素的周转与储存上。

3)中国大部分葡萄园在越冬期间使用埋土防寒,是否对土壤肥力也造成了负面影响,对此时期的研究亟需发展。未来应该加强冬季废弃葡萄枝条、秸秆和其他防寒材料覆盖等对土壤影响的研究,并且考察这些覆盖措施对来年葡萄园土壤的影响,探明覆盖措施是否对土壤的影响是持续且积极的。加大生草、枝条和秸秆覆盖等对葡萄园土壤理化性质以及微生物方面的研究力度,有助于推动我国葡萄园的资源利用以及可持续生态发展。

## 参考文献 References

- [1] 李天凯, 陈林, 庞丹波, 高峰. 基于文献计量的植物-土壤反馈研究态势与热点分析[J]. 中国草地学报, 2022, 44(12): 73-86  
Li T K, Chen L, Pang D B, Gao F. Research progress on plant-soil feedback based on bibliometrics[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2022, 44(12): 73-86(in Chinese)
- [2] He Y T, Zhang W J, Xu M G, Tong X G, Sun F X, Wang J Z, Huang S M, Zhu P, He X H. Long-term combined chemical and manure fertilizations increase soil organic carbon and total nitrogen in aggregate fractions at three typical cropland soils in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 532: 635-644
- [3] Zhu L Q, Hu N J, Zhang Z W, Xu J L, Tao B R, Meng Y L. Short-term responses of soil organic carbon and carbon pool management index to different annual straw return rates in a rice-wheat cropping system[J]. *CATENA*, 2015, 135: 283-289
- [4] International Organisation of Vine and Wine. International Organisation Vine and Wine Country statistics [EB/OL]. [2023-07-08]. <https://www.oiv.int/what-we-do/country-report?oiv>
- [5] 刘文政, 平凤姣, 白雪冰, 房玉林, 董树萌, 杨继红, 袁春龙, 来疆文. 葡萄枝条资源化利用研究现状及进展[J]. 农业工程学报, 2022, 38(16): 270-283  
Liu W Z, Ping F J, Bai X B, Fang Y L, Dong S M, Yang J H, Yuan C L, Lai J W. Status and prospect of resource utilization for grape vine stalks[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(16): 270-283(in Chinese)
- [6] 涂倩, 李媛媛, 周书博, 刘世秋, 闵旭武, 袁春龙. 葡萄废弃枝条资源化利用研究进展及对策[J]. 北方园艺, 2022(17): 129-136  
Tu Q, Li Y Y, Zhou S B, Liu S Q, Min X W, Yuan C L. The vineyard research progress on abandoned branches resource utilization and tactics[J]. *Northern Horticulture*, 2022(17): 129-136(in Chinese)
- [7] Golosov V N, Collins A L, Dobrovolskaya N G, Bazhenova O I, Ryzhov Y V, Sidorchuk A Y. Soil loss on the arable lands of the forest-steppe and steppe zones of European Russia and Siberia during the period of intensive agriculture[J]. *Geoderma*, 2021, 381: 114678
- [8] 薛婷婷, 韩星, 张红娟, 李华. 埋土防寒区葡萄不同越冬措施的防风沙效应风洞试验研究[J]. 泥沙研究, 2018, 43(5): 58-64  
Xue T T, Han X, Zhang H J, Li H. Study on wind erosion control of grapes by different methods in wind tunnel experiments[J]. *Journal of Sediment Research*, 2018, 43(5): 58-64(in Chinese)
- [9] 王心语, 李素艳, 孙向阳, 张骅, 熊凯毅, 曲炳鹏, 负炳辉. 不同地表覆盖物对城市表层土壤物理性质的影响[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(6): 71-78  
Wang X Y, Li S Y, Sun X Y, Zhang H, Xiong K Y, Qu B P, Yun B H. Effects of different surface mulches on the physical properties of surface soil[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2018, 16(6): 71-78 (in Chinese)
- [10] Daryanto S, Fu B J, Wang L X, Jacinthe P A, Zhao W W. Quantitative synthesis on the ecosystem services of cover crops[J]. *Earth-Science Reviews*, 2018, 185: 357-373
- [11] 王艳廷, 冀晓昊, 吴玉森, 毛志泉, 姜远茂, 彭福田, 王志强, 陈学森. 我国果园生草的研究进展[J]. 应用生态学报, 2015, 26(6): 1892-1900  
Wang Y T, Ji X H, Wu Y S, Mao Z Q, Jiang Y M, Peng F T, Wang Z Q, Chen X S. Research progress of cover crop in Chinese orchard[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(6): 1892-1900 (in Chinese)
- [12] 邵竹松. 废弃枝条及秸秆再利用对梨园土壤肥力及树体发育的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020  
Shao Z S. Effects of recycling of waste branches and corn straws on plant growth and soil fertility in pear orchard [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2020 (in Chinese)
- [13] 张茹. 林木枝条不同施用方式对宁夏旱作苜蓿地丛枝菌根真菌的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2021  
Zhang R. Effects of different application methods of tree branches on arbuscular mycorrhizal fungi in alfalfa grassland of ningxia [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2021 (in Chinese)
- [14] 卢佳. 种植年限及枝条还田对盐碱地土壤和酿酒葡萄品质的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2021  
Lu J. Effects of planting years and branches returning to the field on soil and grape quality in saline-alkali soil[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2021 (in Chinese)
- [15] Oliveira F E R, Oliveira J M, Xavier F A S. Changes in soil organic carbon fractions in response to cover crops in an orange orchard[J]. *Revista Brasileira De Ciência Do Solo*, 2016, 40: 0150105
- [16] 沈良英, 蒋红明, 黎梅杰, 余超, 蔡明, 罗富成, 薛世明, 黄必志. 基于文献计量的果园生草栽培技术研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(2): 74-89  
Shen L Y, Jiang H M, Li M J, Yu C, Cai M, Luo F C, Xue S M, Huang B Z. Research progress of cultivation technology for interplanting grass in

- orchard based on bibliometrics [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(2): 74-89 (in Chinese)
- [17] 曹铨, 沈禹颖, 王自奎, 张小明, 杨轩. 生草对果园土壤理化性状的影响研究进展[J]. *草业学报*, 2016, 25(8): 180-188
- Cao Q, Shen Y Y, Wang Z K, Zhang X M, Yang X. Effects of living mulch on soil physical and chemical properties in orchards: A review[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(8): 180-188 (in Chinese)
- [18] Wang Y J, Liu L, Yang J F, Duan Y M, Luo Y, Taherzadeh M J, Li Y F, Li H K, Awasthi M K, Zhao Z Y. The diversity of microbial community and function varied in response to different agricultural residues composting[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 715: 136983
- [19] Verzeaux J, Alahmad A, Habbib H, Nivelles E, Roger D, Lacoux J, Decocq G, Hirel B, Catterou M, Spicher F, Dubois F, Duclercq J, Tetu T. Cover crops prevent the deleterious effect of nitrogen fertilisation on bacterial diversity by maintaining the carbon content of ploughed soil[J]. *Geoderma*, 2016, 281: 49-57
- [20] Mbutia L W, Acosta-Martínez V, DeBruyn J, Schaeffer S, Tyler D, Odoi E, Mphesha M, Walker F, Eash N. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, 89: 24-34
- [21] Peng J, Wei W, Lu H C, Chen W, Li S D, Cheng C F, Wang J, Duan C Q, He F. Effect of inter-row peanut growing in the vineyard on the quality of 'cabernet sauvignon' grape fruits and wines in Northwest China[J]. *Foods*, 2022, 11(22): 3730
- [22] Ferrara G, Nigro D, Torres R, Gadaleta A, Fidelibus M W, Mazzeo A. Cover crops in the inter-row of a table grape vineyard managed with irrigation sensors: Effects on yield, quality and glutamine synthetase activity in leaves[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 281: 109963
- [23] 张茹, 李建平, 彭文栋, 王芳, 李志刚. 柠条枝条覆盖对宁夏荒漠草原土壤水热及补播牧草生物量的影响[J]. *草业学报*, 2021, 30(4): 58-67
- Zhang R, Li J P, Peng W D, Wang F, Li Z G. Effects of mulching with *Caragana* (*Caragana intermedia*) branches on soil moisture content and temperature and reseeded forage biomass in desertified grassland in Ningxia Province, China[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30(4): 58-67 (in Chinese)
- [24] 李祥, 柯希恒, 孙喜军, 褚春年, 郭学军, 王永平, 曾桥. 苹果枝条不同还田模式对果园土壤性状及苹果质量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(23): 238-242
- Li X, Ke X H, Sun X J, Chu C N, Guo X J, Wang Y P, Zeng Q. Influences of returning patterns of apple branches on orchard soil properties and apple quality[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2021, 49(23): 238-242 (in Chinese)
- [25] 王博, 张茹, 刘静, 李志刚. 翻埋与覆盖林木枝条对干旱区沙化土壤及紫花苜蓿根系丛枝菌根真菌的影响[J]. *草业学报*, 2023, 32(2): 15-25
- Wang B, Zhang R, Liu J, Li Z G. Effects of incorporated and mulched tree branches on arbuscular mycorrhizal fungi in the desertified soil and root of alfalfa in arid areas[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2023, 32(2): 15-25 (in Chinese)
- [26] Gaiotti F, Marcuzzo P, Belfiore N, Lovat L, Fornasier F, Tomasi D. Influence of compost addition on soil properties, root growth and vine performances of *Vitis vinifera* cv Cabernet sauvignon [J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 225: 88-95
- [27] Zhao J L, Yang Z Q, Govers G. Soil and water conservation measures reduce soil and water losses in China but not down to background levels: Evidence from erosion plot data[J]. *Geoderma*, 2019, 337: 729-741
- [28] Dai C T, Liu Y J, Wang T W, Li Z X, Zhou Y W. Exploring optimal measures to reduce soil erosion and nutrient losses in Southern China[J]. *Agricultural Water Management*, 2018, 210: 41-48
- [29] 李晓娜, 闫林峰, 赵春桥, 张微微, 王超, 史瑞双, 万秀云, 武菊英. 行间生草覆盖对延怀盆地葡萄园沙化土壤理化性质的影响[J]. *华北农学报*, 2020, 35(S1): 315-321
- Li X N, Yan L F, Zhao C Q, Zhang W W, Wang C, Shi R S, Wan X Y, Wu J Y. Effects of living grass mulching on sandy soil physicochemical characteristics in vineyard of yanhuai basin [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2020, 35(S1): 315-321 (in Chinese)
- [30] Capó-Bauçà S, Marqués A, Llopis-Vidal N, Bota J, Baraza E. Long-term establishment of natural green cover provides agroecosystem services by improving soil quality in a Mediterranean vineyard [J]. *Ecological Engineering*, 2019, 127: 285-291
- [31] Vukicevich E, Lowery T, Hart M. Effects of living mulch on young vine growth and soil in a semi-arid vineyard[J]. *Vitis*, 2019, 58: 113-122
- [32] 李志照, 白岗栓, 邹超煜, 邵发琦. 自然生草对渭北旱塬苹果园土壤孔隙和水分入渗的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2022, 27(5): 146-156
- Li Z X, Bai G S, Zou C Y, Shao F Q. Effects of self-sown grass on soil porosity and soil infiltration in apple orchard in Weibei dry plateau [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(5): 146-156 (in Chinese)
- [33] Tu A G, Xie S H, Zheng H J, Li H R, Li Y, Mo M H. Long-term effects of living grass mulching on soil and water conservation and fruit yield of citrus orchard in South China [J]. *Agricultural Water Management*, 2021, 252: 106897
- [34] 余锦林, 尤龙辉, 徐惠昌, 游惠明, 程分生, 聂森, 叶功富, 李建民, 黄勇来, 黄爱珍. 果园生草改善土壤质量和锥栗农艺性状的效果[J]. *草业科学*, 2021, 38(12): 2460-2470
- Yu J L, You L H, Xu H C, You H M, Cheng F S, Nie S, Ye G F, Li J M, Huang Y L, Huang A Z. Effects of artificial grass on improving soil quality and agronomic traits of chestnuts in a *Castanea henryi* orchard [J]. *Pratacultural Science*, 2021, 38(12): 2460-2470 (in Chinese)
- [35] Celette F, Gaudin R, Gary C. Spatial and temporal changes to the water regime of a Mediterranean vineyard due to the adoption of cover cropping [J]. *European Journal of Agronomy*, 2008, 29(4): 153-162
- [36] Garcia L, Celette F, Gary C, Ripoche A, Valdés-Gómez H, Metay A. Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, 251: 158-170
- [37] 罗玲, 钟奇, 刘伟, 潘宏兵. 地面覆盖对避雨葡萄园土壤水分、温度及酶活性的影响[J]. *核农学报*, 2020, 34(12): 2839-2849
- Luo L, Zhong Q, Liu W, Pan H B. Effects of mulching on soil moisture, temperature and enzyme activities in rain-sheltered vineyard [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020, 34(12): 2839-2849 (in Chinese)
- [38] Qin T Y, Wang L, Zhao J S, Zhou G F, Li C H, Guo L Y, Jiang G M. Effects of straw mulching thickness on the soil health in a temperate organic vineyard[J]. *Agriculture*, 2022, 12(11): 1751
- [39] Prosdociimi M, Jordán A, Tarolli P, Keesstra S, Novara A, Cerdà A. The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards [J].

- Science of the Total Environment*, 2016,547:323-330
- [40] López-Urrea R, Sánchez J M, Montoro A, Mañas F, Intrigliolo D S. Effect of using pruning waste as an organic mulching on a drip-irrigated vineyard evapotranspiration under a semi-arid climate[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2020,291:108064
- [41] Abad F J, Marín D, Imbert B, Virto I, Garbisu C, Santesteban L G. Under-vine cover crops: Impact on physical and biological soil proprieties in an irrigated Mediterranean vineyard[J]. *Scientia Horticulturae*, 2023, 311:111797
- [42] 庞群虎. 生草覆盖对酿酒葡萄园土壤环境及酿酒葡萄品质的影响研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2019
- Pang Q H. Effects of grass covering on the soil environment of winemaking vineyards and the quality of wine grapes [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2019 (in Chinese)
- [43] Guzmán G, Cabezas J M, Sánchez-Cuesta R, Lora Á, Bauer T, Strauss P, Winter S, Zaller J G, Gómez J A. A field evaluation of the impact of temporary cover crops on soil properties and vegetation communities in southern Spain vineyards[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2019,272:135-145
- [44] Modak K, Ghosh A, Bhattacharyya R, Biswas D R, Das T K, Das S, Singh G. Response of oxidative stability of aggregate-associated soil organic carbon and deep soil carbon sequestration to zero-tillage in subtropical India[J]. *Soil and Tillage Research*, 2019,195:104370
- [45] Ampoorter E, de Schrijver A, van Nevel L, Hermly M, Verheyen K. Impact of mechanized harvesting on compaction of sandy and clayey forest soils: Results of a meta-analysis[J]. *Annals of Forest Science*, 2012,69(5):533-542
- [46] Blanco-Canqui H, Shaver T M, Lindquist J L, Shapiro C A, Elmore R W, Francis C A, Hergert G W. Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils[J]. *Agronomy Journal*, 2015, 107(6):2449-2474
- [47] Garcia-Franco N, Wiesmeier M, Colacho Hurtarte L C, Fella F, Martínez-Mena M, Almagro M, Martínez E G, Kögel-Knabner I. Pruning residues incorporation and reduced tillage improve soil organic matter stabilization and structure of salt-affected soils in a semi-arid *Citrus* tree orchard[J]. *Soil and Tillage Research*, 2021,213:105129
- [48] 赵鹏, 詹国勤, 徐加宽, 梅新兰, 董彩霞, 徐阳春. 梨园秸秆和修剪枝条的还田效果研究[J]. 南京农业大学学报, 2015,38(4):610-616
- Zhao P, Zhan G Q, Xu J K, Mei X L, Dong C X, Xu Y C. Research on the effects of application of straw and pruning branches in pear orchard[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2015, 38(4): 610-616 (in Chinese)
- [49] Fan W, Wu J G, Ahmed S, Hu J A, Chen X D, Li X H, Zhu W Y, Opoku-Kwanowaa Y. Short-term effects of different straw returning methods on the soil physicochemical properties and quality index in dryland farming in NE China[J]. *Sustainability*, 2020,12(7):2631
- [50] Telak L J, Pereira P, Bogunovic I. Soil degradation mitigation in continental climate in young vineyards planted in Stagnosols[J]. *International Agrophysics*, 2021,35(4):307-317
- [51] Huang R, Tian D, Liu J, Lv S, He X H, Gao M. Responses of soil carbon pool and soil aggregates associated organic carbon to straw and straw-derived biochar addition in a dryland cropping mesocosm system [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018,265:576-586
- [52] Zhao H L, Shar A G, Li S, Chen Y L, Shi J L, Zhang X Y, Tian X H. 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
- [53] del Río J C, Rencoret J, Prinsen P, Martínez Á T, Ralph J, Gutiérrez A. Structural characterization of wheat straw lignin as revealed by analytical pyrolysis, 2D-NMR, and reductive cleavage methods [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012,60(23):5922-5935
- [54] Kasaka D, Onautshu O, Muliwambene K, Lebisabo B, Katho G, Baert G, Swennen R, Haesaert G, Dhed'a D. Influence of agrosystems on the diversity of mycorrhizae under plantain banana cultivation in the forest region of Kisangani (Tshopo Province, DR Congo) [J]. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 2022:72-84
- [55] Rabot E, Wiesmeier M, Schlüter S, Vogel H J. Soil structure as an indicator of soil functions: A review[J]. *Geoderma*, 2018,314:122-137
- [56] 王小龙, 刘凤之, 史祥宾, 王孝娣, 冀晓昊, 王志强, 王宝亮, 郑晓翠, 王海波. 行内生草对葡萄根系生长和土壤营养状况的影响[J]. 华北农学报, 2018,33(S1):230-237
- Wang X L, Liu F Z, Shi X B, Wang X D, Ji X H, Wang Z Q, Wang B L, Zheng X C, Wang H B. Effects of grass cover in vineyard on the vine root growth and soil nutrition [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2018, 33(S1):230-237 (in Chinese)
- [57] 王波波. 葡萄园行内生草对土壤及植株矿质营养和果实品质的影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2021
- Wang B B. Effects of inter-row cover crop on soil and plant mineral nutrition and fruit quality in vineyard [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2021 (in Chinese)
- [58] 段鑫垚, 高飞飞, 韩星, 官凌霄, 张亮, 李华, 王华. 覆盖处理对棚葡萄果实品质及土壤理化指标的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2022,50(3):107-114, 124
- Duan X Y, Gao F F, Han X, Guan L X, Zhang L, Li H, Wang H. Effects of mulching treatments on fruit quality of *Vitis vinifera* cv Meili and physical and chemical indicators of topsoil [J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2022,50(3):107-114, 124 (in Chinese)
- [59] 王元基. 覆盖模式下黄土高原苹果园土壤质量提升效应的微生物学机制[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020
- Wang Y J. The microbiological mechanism of soil quality improvement effect under mulching pattern in apple orchard on Loess Plateau [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2020 (in Chinese)
- [60] 庞群虎, 王竞, 孙权, 许兴, 王锐. 生草覆盖对酿酒葡萄园土壤养分及浆果品质的影响[J]. 西南农业学报, 2019,32(8):1833-1838
- Pang Q H, Wang J, Sun Q, Xu X, Wang R. Effects of grass covering on soil nutrients and berry quality in winegrowers [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019,32(8):1833-1838 (in Chinese)
- [61] Warren Raffa D, Antichi D, Carlesi S, Frascioni C, Marini S, Priori S, Bärberi P. Groundcover mulching in Mediterranean vineyards improves soil chemical, physical and biological health already in the short term [J]. *Agronomy*, 2021,11(4):787
- [62] 段鑫垚. 不同行内覆盖处理对葡萄园土壤性质和葡萄果实品质的影响研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021
- Duan X Y. Research on the influence of different In-row mulching treatments on soil properties and berry quality in vineyard [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2021 (in Chinese)
- [63] 耿玉清, 白翠霞, 赵广亮, 余新晓, 姚永刚, 秦永胜. 土壤磷酸酶活性及其

- 与有机磷组分的相关性[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(S2): 139-143
- Geng Y Q, Bai C X, Zhao G L, Yu X X, Yao Y G, Qin Y S. Soil phosphatase activity and its correlation with composition of organic phosphorus[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(S2): 139-143 (in Chinese)
- [64] 李超. 贺兰山东麓葡萄园自然生草对土壤、微气候及果实品质的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2018
- Li C. Effects of natural grass on soil, microclimate and quality of fruit in vineyards of eastern foothill of Helan Mountain [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2018 (in Chinese)
- [65] Qian X, Gu J, Pan H J, Zhang K Y, Sun W, Wang X J, Gao H. Effects of living mulches on the soil nutrient contents, enzyme activities, and bacterial community diversities of apple orchard soils [J]. *European Journal of Soil Biology*, 2015, 70: 23-30
- [66] Zheng W, Gong Q L, Zhao Z Y, Liu J, Zhai B N, Wang Z H, Li Z Y. Changes in the soil bacterial community structure and enzyme activities after intercrop mulch with cover crop for eight years in an orchard [J]. *European Journal of Soil Biology*, 2018, 86: 34-41
- [67] 李志刚, 谢应忠. 翻埋与覆盖林木枝条改善宁夏沙化土壤性质[J]. 农业工程学报, 2015, 31(10): 174-181
- Li Z G, Xie Y Z. Improving desertified soil properties by incorporating and mulching tree branch in Ningxia Province [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(10): 174-181 (in Chinese)
- [68] Stefanowicz A M, Kapusta P, Stanek M, Rożek K, Rola K, Zubek S. Herbaceous plant species and their combinations positively affect soil microorganisms and processes and modify soil physicochemical properties in a mesocosm experiment [J]. *Forest Ecology and Management*, 2023, 532: 120826
- [69] Zhou Z H, Wang C K. Reviews and syntheses: Soil resources and climate jointly drive variations in microbial biomass carbon and nitrogen in China's forest ecosystems [J]. *Biogeosciences*, 2015, 12(22): 6751-6760
- [70] Kallenbach C M, Frey S D, Grandy A S. Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls [J]. *Nature Communications*, 2016, 7: 13630
- [71] Liang C, Amelung W, Lehmann J, Kästner M. Quantitative assessment of microbial necromass contribution to soil organic matter [J]. *Global Change Biology*, 2019, 25(11): 3578-3590
- [72] Lee S I, Choi J, Hong H, Nam J H, Strik B, Davis A, Cho Y, Do Ha S, Park S H. Investigation of soil microbiome under the influence of different mulching treatments in northern highbush blueberry [J]. *AMB Express*, 2021, 11(1): 134
- [73] Wang R, Cao B, Sun Q, Song L H. Response of grass interplanting on bacterial and fungal communities in a jujube orchard in Ningxia, Northwest China [J]. *Heliyon*, 2020, 6(3): e03489
- [74] Novara A, Catania V, Tolone M, Gristina L, Laudicina V A, Quatrini P. Cover crop impact on soil organic carbon, nitrogen dynamics and microbial diversity in a Mediterranean semiarid vineyard [J]. *Sustainability*, 2020, 12(8): 3256
- [75] Hendgen M, Hoppe B, Döring J, Friedel M, Kauer R, Frisch M, Dahl A, Kellner H. Effects of different management regimes on microbial biodiversity in vineyard soils [J]. *Scientific Reports*, 2018, 8: 9393
- [76] Su H, Zhang H, Wang C X, Huang J Q, Shang J Y, Zhang N, Wang D, Li K. Grape pruning material improves root development and soil microecology in 'shine Muscat' grape soils [J]. *HortScience*, 2020, 55(12): 2011-2022
- [77] 刘思, 徐国前, 张军翔. 葡萄行内覆盖对土壤细菌群落结构的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(12): 2865-2871
- Liu S, Xu G Q, Zhang J X. Effects of soil bacterial community structure in vineyard intra-row mulching [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020, 34(12): 2865-2871 (in Chinese)
- [78] Kumar U, Saqib H S A, Islam W, Prashant P, Patel N, Chen W, Yang F Y, You M S, He W Y. Landscape composition and soil physicochemical properties drive the assemblages of bacteria and fungi in conventional vegetable fields [J]. *Microorganisms*, 2022, 10(6): 1202
- [79] Yuan X, Knelman J E, Wang D L, Goebel A, Gasarch E, Seastedt T R. Patterns of soil bacterial richness and composition tied to plant richness, soil nitrogen, and soil acidity in alpine tundra [J]. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2017, 49(3): 441-453
- [80] Zhang M M, Wang N, Zhang J Y, Hu Y B, Cai D J, Guo J H, Wu D, Sun G Y. Soil physicochemical properties and the rhizosphere soil fungal community in a mulberry (*Morus alba* L)/alfalfa (*Medicago sativa* L) intercropping system [J]. *Forests*, 2019, 10(2): 167
- [81] Zhang L, Xue T T, Yuan L, Gao F F, Hao X Y, Yang C L, Wang L, Han Y L, Li H, Wang H. The effect of vineyard reclamation on soil properties and microbial communities in desertified land in Hongsibu, Ningxia [J]. *CATENA*, 2022, 211: 106002
- [82] Xue T T, Yang F, Li R Y, Li Y, Xu G Q, Zhang L. The impact of viticulture on soil characteristics and microbial communities in the Ningxia region of Northwest China [J]. *Horticulturae*, 2022, 8(12): 1097
- [83] Lori M, Armengot L, Schneider M, Schneidewind U, Bodenhausen N, Mäder P, Krause H M. Organic management enhances soil quality and drives microbial community diversity in cocoa production systems [J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 834: 155223
- [84] Zhao H L, Jiang Y H, Ning P, Liu J F, Zheng W, Tian X H, Shi J L, Xu M, Liang Z Y, Shar A G. Effect of different straw return modes on soil bacterial community, enzyme activities and organic carbon fractions [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2019, 83(3): 638-648
- [85] Wang D Y, Lin J Y, Sayre J M, Schmidt R, Fonte S J, Rodrigues J L M, Scow K M. Compost amendment maintains soil structure and carbon storage by increasing available carbon and microbial biomass in agricultural soil - A six-year field study [J]. *Geoderma*, 2022, 427: 116117
- [86] Zhang X F, Xin X L, Zhu A N, Yang W L, Zhang J B, Ding S J, Mu L, Shao L L. Linking macroaggregation to soil microbial community and organic carbon accumulation under different tillage and residue managements [J]. *Soil and Tillage Research*, 2018, 178: 99-107
- [87] Ali Kubar K, Huang L, Xue B, Li X K, Lu J W. Straw management stabilizes the chemical composition of Soil Organic Carbon (SOC): The relationship with aggregate-associated C in a rice-rape cropping system [J]. *Land Degradation & Development*, 2021, 32(2): 851-866
- [88] Duan Y, Chen L, Li Y M, Wang Q Y, Zhang C Z, Ma D H, Li J Y, Zhang J B. N, P and straw return influence the accrual of organic carbon fractions and microbial traits in a Mollisol [J]. *Geoderma*, 2021, 403: 115373
- [89] Xie Z H, Yu Z H, Li Y S, Wang G H, Liu X B, Tang C X, Lian T X, Adams J, Liu J J, Liu J D, Herbert S J, Jin J. Soil microbial metabolism on carbon and nitrogen transformation links the crop-residue contribution to soil organic carbon [J]. *NPJ Biofilms and Microbiomes*, 2022, 8: 14
- [90] Pellegrino E, Piazza G, Helgason T, Ercoli L. Microbiome structure and interconnection in soil aggregates across conservation and conventional

- agricultural practices allow to identify main prokaryotic and fungal taxa related to soil functioning[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2022, 175: 108833
- [91] Romero P, Navarro J M, Ordaz P B. Towards a sustainable viticulture: The combination of deficit irrigation strategies and agroecological practices in Mediterranean vineyards. A review and update [J]. *Agricultural Water Management*, 2022, 259: 107216
- [92] Rabbi S M F, Minasny B, McBratney A B, Young I M. Microbial processing of organic matter drives stability and pore geometry of soil aggregates[J]. *Geoderma*, 2020, 360: 114033
- [93] Zheng H, Guber A K, Kuzyakov Y, Zhang W, Kravchenko A N. Plant species and plant neighbor identity affect associations between plant assimilated C inputs and soil pores[J]. *Geoderma*, 2022, 407: 115565
- [94] Zhu G Y, Shanguan Z P, Deng L. Variations in soil aggregate stability due to land use changes from agricultural land on the Loess Plateau, China[J]. *CATENA*, 2021, 200: 105181
- [95] Okolo C C, Gebresamuel G, Zenebe A, Haile M, Eze P N. Accumulation of organic carbon in various soil aggregate sizes under different land use systems in a semi-arid environment[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2020, 297: 106924

责任编辑:董金波



**第一作者简介:** 薛婷婷,女,博士,硕士生导师,宁夏大学葡萄酒与园艺学院副教授。2019年于西北农林科技大学葡萄与葡萄酒学硕博连读毕业。主要从事酿酒葡萄冬季免埋土和生态栽培研究。集成宁夏贺兰山东麓产区葡萄生态栽培措施的生理和分子技术,将高效生态的生产措施进行基础理论研究并进行推广应用。主持国家自然科学基金项目1项、省级引才专项1项、宁夏自然科学基金项目1项;参与区级科技重大专项1项、国家自然科学基金地区基金项目1项;主持校级教改项目2个;发表论文10余篇,其中以第一作者或并列第一作者发表SCI论文5篇,国内核心期刊2篇,参与专利2项。



**通讯作者简介:** 张亮,中共党员,博士,讲师,硕士生导师。2022年6月毕业于西北农林科技大学葡萄酒学院,专业葡萄与葡萄酒学。主要从事葡萄园碳汇和葡萄生态化栽培方面的研究,主要研究内容为:1)葡萄园土壤有机碳的固存与分子机制;2)葡萄园土壤微生物源碳的形成与固碳贡献;3)利用葡萄修剪枝条和皮渣等副产物提升土壤有机质的机理;4)葡萄根际土壤促生细菌、固碳微生物的筛选与功能验证;5)绿色低碳化栽培条件下葡萄果实品质形成与调控。2023年度参与宁夏回族自治区重点研发计划项目1项、主持宁夏自然科学基金1项,以第一作者或通讯作者发表SCI论文4篇,中文核心论文3篇。