

行内生草对土壤微环境和酿酒葡萄品质的影响

王锐¹, 闫鹏科¹, 马婷慧², 齐雁冰³, 孙权¹

(1.宁夏大学农学院,宁夏 银川 750021;2.宁夏农林科学院,宁夏 银川 750001;3.西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

摘要:以宁夏贺兰山东麓主栽的6 a生酿酒葡萄‘赤霞珠’为研究对象,进行了连续2 a行内自然生草(CZR)和人工种植马齿苋(CMC)试验,以清耕(CK)为对照,研究行内生草对土壤温度、容重、总孔隙度、肥力、酶活性、微生物数量和酿酒葡萄果实产量及品质的影响。结果表明:CZR处理与CK处理相比,在酿酒葡萄幼果期、膨大期和成熟期5~25 cm土层平均土壤温度下降0.94、1.12℃和0.93℃,0~60 cm土层平均土壤容重和总孔隙度分别下降2.23%和1.73%,脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性分别提高22.67%、30.26%、8.46%和66.65%,微生物数量提高34.97%;CMC处理与CK处理相比,在酿酒葡萄幼果期、膨大期和成熟期5~25 cm土层平均土壤温度分别下降1.82℃、2.02℃和1.38℃,0~60 cm土层平均土壤容重和总孔隙度分别下降0.90%和2.87%,土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、全氮和全磷含量分别提高37.80%、52.67%、31.73%、31.17%、24.81%和21.13%,脲酶、蔗糖酸酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性分别提高72.08%、109.67%、14.93%和154.50%,微生物数量提高103.56%;行内生草对酿酒葡萄产量影响不显著,对改善浆果品质有显著作用,CZR和CMC处理较CK处理可溶性固形物含量分别降低1.33%和3.72%,可滴定酸、单宁、总酚和花色苷含量分别提高14.52%和16.13%、21.23%和25.82%、26.65%和24.41%、32.75%和41.16%。在旱区滴灌条件下,葡萄园连续2 a行内生草能够改善土壤物理性状,提升土壤肥力、土壤酶活性和微生物数量,对产量影响不显著,但有利于酿酒葡萄香气物质累积,能调节糖酸比,以行内种植马齿苋效果最优。

关键词:行内生草;酿酒葡萄;品质;土壤微环境;贺兰山东麓

中图分类号:S365;S663.1 **文献标志码:**A

Effects of intra-row planted grass on soil microenvironment and wine grape quality

WANG Rui¹, YAN Pengke¹, MA Tinghui², QI Yanbing³, SUN Quan¹

(1. School of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

2. Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan, Ningxia 750001, China;

3. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Taking the 6-year-old wine grape, Cabernet Sauvignon, which is mainly planted in Helan Mountain foothill of Ningxia, as the research object, the natural grass (CZR) and artificially planted purslane (CMC) were carried out continuously for 2 years, and clean tillage (CK) was used as a control. The effects of intra-row planted grass on soil temperature, bulk density, total porosity, fertility, enzyme activity, microbial quantity, and wine grape yield and quality were studied. The results showed that compared with CK treatment, the CZR treatment decreased the average soil temperature in 5~25 cm soil layer of young fruit stage, expanding stage, and mature stage by 0.94℃, 1.12℃, and 0.93℃, respectively, the average soil bulk density and total porosity in the 0~60 cm soil layer by 2.23% and 1.73%, respectively, and increased urease activity, invertase activity, alkaline phosphatase activity, and catalase activity significantly by 22.67%, 30.26%, 8.46%, and 66.65%, respectively and the number of total microorganism by 34.97%. The CMC treatment decreased the average soil temperature in the 5~25 cm soil layer at young fruit stage, expanding stage, and mature stage by 1.82℃, 2.02℃, and 1.38℃, respec-

收稿日期:2019-07-13

修回日期:2020-01-08

基金项目:国家科技改革与发展专项(106001000000150012);西夏区科技项目(2018PTSC);宁夏农林科学院先导基金(NKYJ-18-25)

作者简介:王锐(1981-),男,陕西汉中,博士,副教授,主要从事农业资源利用研究。E-mail:amwangrui@126.com

通信作者:孙权(1965-),男,内蒙古乌拉特前旗人,博士,教授,主要从事农业资源利用研究。E-mail:sunquanxu@163.com

tively, and the average soil bulk density and total porosity in the 0~60 cm soil layer by 0.90% and 2.87%, respectively. The soil organic matter, available nitrogen, available phosphorus, available potassium, total nitrogen and total phosphorus increased by 37.80%, 52.67%, 31.73%, 31.17%, 24.81% and 21.13%, respectively. Urease activity, invertase activity, alkaline phosphatase activity, and catalase activity significantly increased by 72.08%, 109.67%, 14.93%, and 154.50%, respectively, and the number of total microorganism increased by 103.56%. Intra-row planted grass had no significant effect on the yield of wine grapes, and had significant effect on improving the quality of grape. The content of soluble solids in grapes with CZR treatment and CMC treatment was 1.33% and 3.72% lower than that of CK treatment. Titratable acid, tannin, total phenol, and anthocyanin content increased by 14.52% and 16.13%, 21.23% and 25.82%, 26.65% and 24.41%, 32.75% and 41.16%, respectively, compared with that of CK treatment. Under the drip irrigation conditions in the arid area, through the continuous 2 years intra-row planted grass research found that the intra-row planted grass improved the soil physical properties, enhanced the soil fertility, increased the soil enzyme activity and the number of microorganisms. The effect of intra-row planted grass on the yield of wine grapes was not significant. In addition, intra-row planted grass was beneficial to the accumulation of aroma components of wine grape, adjusted the ratio of sugar to acid, the best effect of intra-row artificially planting purslane.

Keywords: intra-row planted grass; wine grape; quality; soil microenvironment; east foot of Helan Mountain

酿酒葡萄作为宁夏优势特色产业之一,截止 2018 年栽植面积达 $3.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 年产葡萄酒 $10 \times 10^4 \text{ t}$ 。宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄产区具有“中国波尔多”之称,是中国优质酿酒葡萄产区之一,该产区属于典型的大陆性气候,干旱少雨,日照充足,昼夜温差大,有利于酿酒葡萄的种植,为酿造优质高档葡萄酒提供原料^[1-3];同时也面临着许多问题,如土壤结构性差、养分不足、土壤微环境调控能力较弱,进而导致酿酒葡萄成熟过快、香气物质累积不足、糖酸比不协调、葡萄酒品质下降等问题^[3]。

果园生草也称作生物覆盖,是国内外普遍推行的一种现代化、标准化、可持续发展的果园土壤管理模式,目前主要以行间覆盖为主,在苹果园^[4]、梨园^[5]、橄榄园^[6]和葡萄园^[7-10]研究较多,果园生草可以抑制杂草生长^[11],防止水土流失^[12-13],减少风蚀量^[14],降低病虫害的发生^[15-16],培肥土壤^[17-18],改善土壤理化性状^[19-20]和微生物特性^[10,18,20-21],提高果实品质^[5,16,22]。Ruiz-Colmenero 等^[23]对西班牙坡耕地葡萄园研究发现,生草模式下土壤侵蚀率下降 50%~75%,产量减少 29%~54%。惠竹梅等^[9]对葡萄园行间生草研究表明,生草后固氮菌、纤维素分解菌和细菌数量分别升高 223.4%、83.4%和 68.1%,土壤有机质、全氮、碱解氮、速效钾含量显著提高,全磷和有效磷含量降低^[9]。在降雨量较为丰富的区域,或者不需要补水灌溉的区域,通过行间生草实现全园覆盖后,Irvin 等^[24]在酿酒葡萄园行间种植荞麦后浆果横径平均增大 0.67 mm,含糖量下降 3.2°Brix。‘赤霞珠’葡萄园行间种植白三叶草、紫

花苜蓿和高羊茅草,对葡萄酒香气化合物的形成有促进作用,可以提高葡萄酒风味和质量^[9,22]。Bouzas-Cid 等^[25]通过连续 2 年对‘门西亚’葡萄园行间生草研究也表明,生草能够提高葡萄酒中的花色苷含量。

由于干旱半干旱区降雨少,灌溉方式多以滴灌为主,在滴灌条件下,行内湿润峰在距滴灌行左右两侧 50 cm 的行内,不足以满足行间草生长的水分需求。在该地区通常采用的“厂”字型整形方式下,葡萄结果带多暴露在距离地面 40 cm 高的水平带上;成熟期光照反射强,温度高,适当的生物覆盖能有效调节结果带微环境,因此改葡萄园行间生草为行内生草,既能适应干旱半干旱区葡萄优质栽培的自然生态条件,还能有效调节结果带区域的微环境,有利于促进葡萄园生态环境的健康可持续发展。探讨干旱半干旱区滴灌条件下行内生草对土壤微环境及酿酒葡萄浆果产量和品质的影响,解决葡萄园土壤肥力低下,酿酒葡萄成熟过快、香气物质累积不足、糖酸比不协调等问题,可为旱区酿酒葡萄优质栽培及葡萄园生草模式的推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于 2017 年 4 月至 2018 年 9 月在宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄核心产区立兰酒庄进行,该酒庄位于宁夏银川市永宁县闽宁镇(38°16′38″N, 105°58′20″E),属于温带干旱大陆性气候,海拔约 1 129 m,常年干旱少雨,年均降水量 200 mm 左右,年均气

温 8.8℃,昼夜温差 10~15℃,全年 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温可达 3 000℃以上,年日照时数 2 800 h 以上,无霜期 150~170 d,水分蒸发强烈。该试验区成土母质主要以洪积物为主,土壤类型为砾质灰钙土,基本化学性质见表 1。土壤有机质、碱解氮、全氮和全磷含量极低,有效磷含量次之,速效钾含量较高;随土层深度的增加,土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、全氮和全磷的含量均逐渐下降。

1.2 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,共设 3 个处理:清耕(CK)、自然生草(CZR)、种植马齿苋(CMC),以清耕(CK)为对照,每个处理设 3 个重复,共 9 个小区,小区面积为 $60\text{ m}\times 3.5\text{ m}=210\text{ m}^2$,每个小区有酿酒葡萄树 100 棵。供试酿酒葡萄是当地广泛种植的 6 a 生‘赤霞珠’,南北行向定植,整形方式为长梢修剪倾斜上架,株行距 $0.6\text{ m}\times 3.5\text{ m}$,种植密度 $4\ 760\text{ 棵}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。试验处理具体操作如图 1:2017 年 4 月初葡萄出土,4 月下旬分别在距葡萄行左右两侧 50 cm 内均匀撒播马齿苋,播量 $30\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,同时确定自然生草(主要草种有藜、打碗花、苦苦菜和骆驼蓬等)和清耕试验区,各处理行间均采用清耕,深度约 20 cm;7 月中旬对自然生草和马齿苋进行平茬一次(留茬高度 10 cm 左右),平茬后草继续生长,以供结实,产生的种子自然成熟脱落后第 2 年自然繁育;10 月中下旬葡萄埋土,将残草直接翻压还田;2018

年 4 月葡萄出土,不需重复播种。所有处理施肥、灌溉、修剪整枝以及病虫害防治等生产管理措施一致,均采用水肥一体化进行灌溉施肥,灌溉定额 $3\ 300\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,全生育期灌溉 8 次,施用酿酒葡萄全营养水溶肥,全生育期施肥量为 $750\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,共施肥 5 次。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤物理性状指标测定方法 土壤温度:于 2018 年 6 月 22 日(幼果期)、7 月 31 日(膨大期)和 9 月 10 日(成熟期)分别用 5、10、15、20 cm 和 25 cm 的直角地温计测定 14:00 时的地温。土壤容重:于 2018 年 9 月下旬葡萄采收期,在 0~20、20~40 cm 和 40~60 cm 土层分别用环刀取样,采用环刀法测定各土层土壤容重,并计算土壤总孔隙度^[26]。

1.3.2 土壤化学性质指标测定方法 2017 年 4 月下旬试验处理前及 2018 年 9 月下旬葡萄采收期,每个处理按 20 cm 分层采集 3 个土壤样品,将采回的土样风干、磨细,过 1 mm 和 0.25 mm 筛,测定各土层土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、全氮和全磷含量,具体测定方法参照《土壤农化分析(第三版)》^[27]:有机质采用重铬酸钾容量-外加加热法测定;碱解氮采用碱解扩散法测定;有效磷采用钼锑抗比色法测定;速效钾采用火焰光度法测定;全氮采用凯氏定氮法测定;全磷采用钼锑抗比色法测定。

表 1 土壤基本化学性质

Table 1 Basic chemical properties of soil

土层深度/cm Soil depth	有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter	碱解氮/(mg·kg ⁻¹) Available N	有效磷/(mg·kg ⁻¹) Available P	速效钾/(mg·kg ⁻¹) Available K	全氮/(g·kg ⁻¹) Total N	全磷/(g·kg ⁻¹) Total P
0~20	6.26±0.22a	24.03±0.18a	13.26±0.72a	223.33±7.42a	0.48±0.02a	0.28±0.01a
20~40	5.78±0.34b	21.27±0.56b	8.07±0.39b	183.84±2.85b	0.44±0.01b	0.25±0.01b
40~60	4.82±0.16c	13.93±0.35c	4.09±0.68c	117.62±4.57c	0.28±0.01c	0.17±0.01c

注:表中数据为平均值±标准误。同列数据后小写字母表示不同处理间 $P<0.05$ 水平下差异显著。下同。

Note: The data in the table are mean value ± standard error. The lowercase letters in the same column of datas in the table indicate significant differences among different treatments at $P<0.05$, the same below.

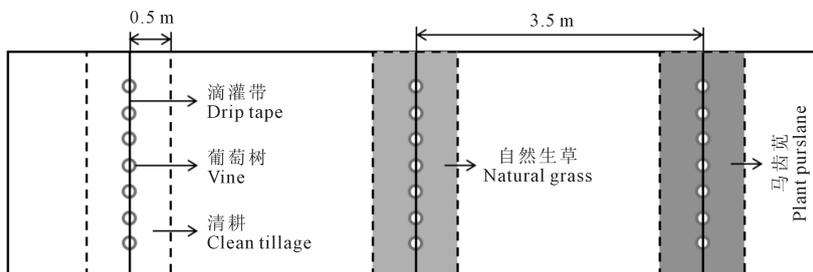


图 1 试验设计

Fig.1 Experiment design

1.3.3 土壤生物学特性指标测定方法 土壤酶活性:于 2018 年 9 月下旬葡萄采收期,每 20 cm 采集 1 个样品,用保温盒和冰袋将其带回实验室,4℃ 恒温储藏,用于测定土壤脲酶活性、蔗糖酶活性、碱性磷酸酶活性和过氧化氢酶活性。脲酶活性采用苯酚-次氯酸钠比色法^[28];蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[28];碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法^[28];过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法^[28]。土壤微生物数量:于 2018 年 9 月下旬葡萄采收期,每 20 cm 采 1 份样品,用保温盒和冰袋将所采土样带回实验室,4℃ 恒温储藏,用稀释平板分离计数法测定土壤细菌、真菌和放线菌三大微生物群落数量。细菌用牛肉膏蛋白胨培养基培养 2~3 d,真菌用马丁氏孟加拉红培养基培养 3~5 d,放线菌用高氏一号培养基培养 5~7 d,算出土壤含水量,以每克干土所含菌落数(cfu)表示^[29]。

1.3.4 酿酒葡萄产量及浆果品质指标测定方法 于 2018 年 9 月下旬葡萄采收期,对每个小区果实全部采摘分别测产后按面积折算为每公顷产量,同时每个处理各小区随机采集 20 个有代表性果穗,在每个果穗的上、中、下 3 个部位随机采集大小相近的 15 粒葡萄榨汁,用于测定可溶性固形物、可滴定酸、单宁、总酚和花色苷。用手持糖量计法测定可溶性固形物,NaOH 滴定法测定可滴定酸,单宁采用福林-丹宁斯(Folin-Denis)法,总酚的测定采用福林-肖卡法,采用 pH 示差法测定葡萄果皮中的总花色苷^[30]。

1.4 数据分析

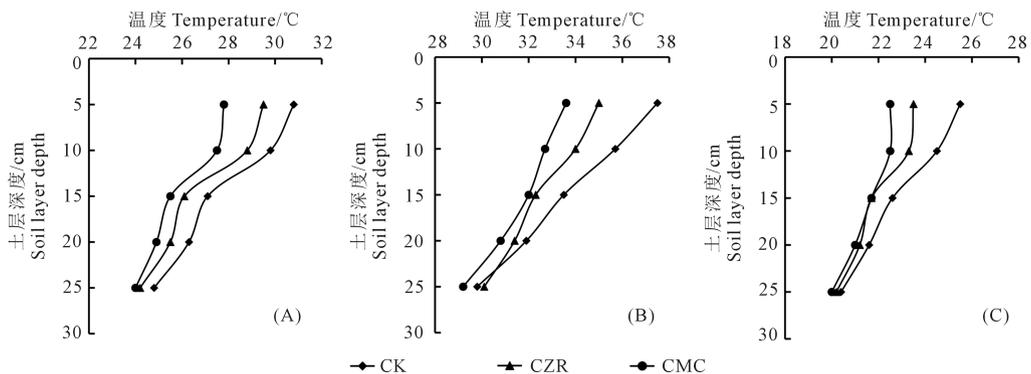
采用 Excel 2007 整理数据和制图,SPSS 21.0 软件进行方差分析和主成分分析,显著性水平为 0.05,并用 Duncan 新复极差法($P < 0.05$)进行多重比较,表中数据为平均值±标准误。

2 结果与分析

2.1 生草对葡萄园土壤物理性状的影响

2.1.1 生草对土壤温度的影响 土壤温度的变化是评价生草对酿酒葡萄园土壤微环境影响的重要指标。酿酒葡萄主要生育期各处理 0~25 cm 土层土壤温度如图 2 所示,生草对降低表层土壤温度有显著影响,各处理随土层深度的增加,土壤温度逐渐下降,各生育期 CZR 和 CMC 处理 0~25 cm 土层温度均低于 CK 处理。幼果期(图 2A),5 cm 土层 CZR 和 CMC 处理较 CK 处理土壤温度分别降低了 1.3℃ 和 3.0℃,从 10~15 cm 起,随土层深度的增加 CZR 和 CK 处理土壤温度急剧下降,在土层深度 15 cm 处,CZR 和 CK 处理土壤温度较 CMC 处理分别高 1.7℃ 和 0.6℃。果实膨大期(图 2B),CZR 和 CMC 处理对降低土壤温度有显著效果,由于该时期降雨少,气温高,生草减少了太阳对地面的直接辐射,在 5 cm 土层温度最高,CZR 和 CMC 处理分别较 CK 处理降低 2.5℃ 和 3.9℃;随土层深度增加,各处理土壤温度逐渐接近,其中 CK 处理温度降低速度最快,CMC、CZR 和 CK 处理从 5 cm 到 25 cm 土壤温度分别下降 4.4℃、4.9℃ 和 7.7℃。果实成熟期(图 2C),在 0~10 cm 土层,CZR 和 CMC 处理温度无显著变化,CK 处理温度降低,各处理土层从 15~25 cm 土层随深度增加逐渐降低,处理间土壤温度逐渐接近。

2.1.2 生草对土壤容重和总孔隙度的影响 土壤容重是反映土壤紧实程度的重要指标之一。生草对酿酒葡萄收获期表层(0~20 cm)土壤容重有显著影响,随土层深度的增加各处理间土壤容重差异不显著(图 3A),各处理 0~60 cm 土壤容重随土壤深度增加表现出先增加后降低,在 0~20 cm 土层 CZR 和

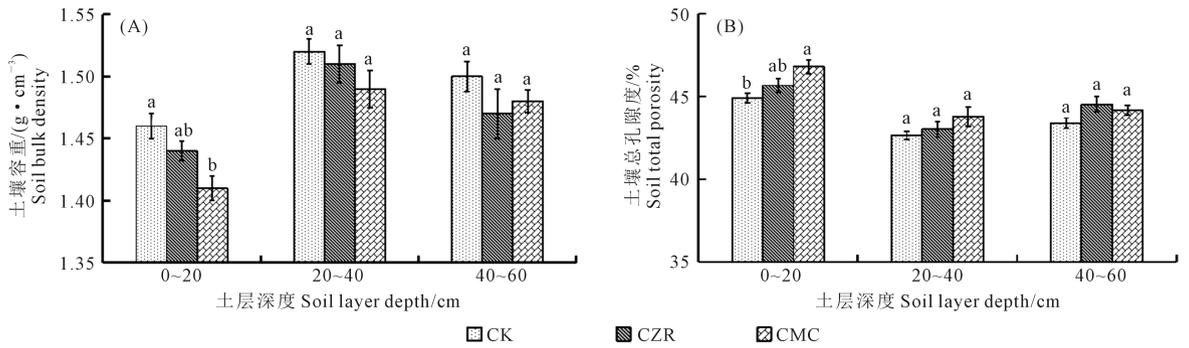


注:CK:清耕,CZR:自然生草,CMC:马齿苋,下同。

Note: CK: Clean tillage; CZR: The natural grass; CMC: Artificially planted purslane, the same below.

图 2 不同处理幼果期(A)、膨大期(B)、成熟期(C)地下 0~25 cm 土层温度变化曲线

Fig.2 Temperature curve of 0~25 cm underground in different treatments at young fruit stage (A), expanding stage (B) and mature stage (C)



注:图中小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$),下同。

Note: The lowercase letters in each figure indicate significant differences at the 0.05 level, the same below.

图3 不同处理对0~60 cm 土层土壤容重和孔隙度的影响

Fig.3 Effects of different treatments on 0~60 cm soil bulk density and total porosity

CMC 处理较 CK 处理土壤容重分别降低 1.37% 和 3.42%,各处理在 20~40 cm 和 40~60 cm 土层土壤容重差异不显著;20~40 cm 土层土壤容重大小顺序为:CK>CZR>CMC;40~60 cm 土层 CZR 处理土壤容重最小,较 CK 和 CMC 处理分别低 2.00% 和 0.68%。土壤总孔隙度与土壤容重变化趋势相反,生草能够改善土壤孔隙状况,生草处理表层土壤总孔隙度显著高于清耕处理,中下层(40~60 cm)土壤总孔隙度差异不显著(图 3B),在 0~20 cm 土层土壤总孔隙度大小顺序为:CMC>CZR>CK,其中 CMC 处理较 CZR 和 CK 处理分别高 4.19% 和 2.47%;20~40 cm 土层 CK 处理较 CZR 和 CMC 处理土壤总孔隙度分别低 0.88% 和 2.58%;40~60 cm 土层 CZR 和 CMC 处理较 CK 处理土壤总孔隙度分别高 2.60% 和 1.73%。

2.2 生草对葡萄园土壤化学性质的影响

由表 2 可知,各处理随着土层深度的增加,土壤肥力逐渐降低,处理间土壤肥力有显著性差异。0~20 cm 土层,CMC 处理较 CZR 和 CK 处理有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、全氮和全磷分别高 41.95% 和 26.16%、85.46% 和 43.99%、35.34% 和 11.47%、33.33% 和 39.23%、43.48% 和 69.23%、25.00% 和 6.06%;20~40 cm 土层,CK 处理较 CZR 处理有机质、碱解氮、有效磷、速效钾和全磷分别低 20.38%、22.06%、18.42%、9.87% 和 18.52%,仅全氮高 16.28%,较 CMC 处理有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、全氮和全磷分别低 37.71%、28.63%、23.97%、26.09%、13.79% 和 21.43%;40~60 cm 土层,CMC 处理土壤肥力较 CZR 和 CK 处理有显著性差异(CZR 与 CMC 的碱解氮除外),CZR 处理较 CK 处理有机质、碱解氮和全磷差异性显著,CZR 处理较 CK 处理有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、全氮分别高 4.43%、11.46%、9.00%、9.59%、9.09%,仅全磷低 14.29%,CMC 处理较 CK 处理有机质、碱解氮、有效

磷、速效钾、全氮和全磷分别高 12.07%、10.22%、21.90%、18.83%、12.12% 和 9.52%。

2.3 生草对葡萄园土壤生物学特性的影响

2.3.1 生草对葡萄园土壤酶活性的影响

土壤酶活性能够反映土壤养分转化能力强弱,是评价生草对酿酒葡萄园土壤肥力影响的重要生物学指标。各处理 0~60 cm 土层土壤酶活性如图 4 所示,生草对表层(0~20 cm)土壤酶活性有显著影响,各处理随土层深度的增加,土壤酶活性逐渐下降。土壤脲酶活性(图 4A)在 0~60 cm 土层 CZR 和 CMC 处理高于 CK 处理,0~20 cm 土层 CMC 处理较 CZR 和 CK 处理分别高 28.40% 和 48.74%,20~40 cm 土层 CK 处理较 CZR 和 CMC 处理分别低 32.34% 和 63.36%,40~60 cm 土层 CZR 和 CK 处理较 CMC 处理分别低 14.64% 和 17.03%。土壤蔗糖酶活性(图 4B)在中上层(0~40 cm)各处理间差异显著,其中,0~20 cm 土层 CMC 处理分别是 CZR 和 CK 处理的 1.75 倍和 2.11 倍,20~40 cm 土层,CZR 和 CK 处理较 CMC 处理分别低 29.42% 和 50.11%,40~60 cm 土层各处理间差异不显著,CMC 处理较 CZR 和 CK 处理分别低 20.49% 和 17.28%。碱性磷酸酶活性(图 4C)在 0~60 cm 土层 CMC 处理均高于 CZR 和 CK 处理,0~20 cm 土层 CZR 和 CMC 处理是 CK 处理的 2.86 倍和 1.49 倍,20~40 cm 土层 CMC 和 CZR 处理较 CK 处理分别高 107.69% 和 28.55%,40~60 cm 土层 CMC 和 CZR 处理分别较 CK 处理高 17.31% 和 9.08%。土壤过氧化氢酶活性(图 4D)随土层深度的增加呈降低趋势,0~20 cm 土层 CK 处理较 CZR 和 CMC 处理分别低 6.90% 和 14.96%,20~40 cm 土层 CMC 处理和 CZR 处理无差异,分别较 CK 处理高 9.68% 和 11.83%,40~60 cm 土层 CZR 处理最高,较 CMC 和 CK 处理分别高 2.27% 和 9.76%,差异不显著。

表 2 不同处理对 0~60 cm 土层土壤肥力的影响

Table 2 Effects of different treatments on 0~60 cm soil fertility

土层深度/cm Soil depth	处理 Treatment	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Available N /(mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)	全氮 Total N /(g·kg ⁻¹)	全磷 Total P /(g·kg ⁻¹)
0~20	CK	7.27±0.22c	25.59±0.13c	11.63±0.12c	217.20±3.58b	0.46±0.00b	0.28±0.01b
	CZR	8.18±0.28b	32.96±0.56b	14.12±0.25b	208.00±1.45c	0.39±0.01c	0.33±0.02a
	CMC	10.32±0.36a	47.46±0.65a	15.74±0.23a	289.60±7.24a	0.66±0.03a	0.35±0.00a
20~40	CK	5.51±0.57c	20.24±0.84b	7.93±0.18c	124.26±2.58c	0.50±0.01b	0.22±0.01b
	CZR	6.92±0.12b	25.97±1.56a	9.72±0.16b	137.87±3.81b	0.43±0.00c	0.27±0.01a
	CMC	8.57±0.18a	28.36±1.35a	10.43±0.39a	168.12±7.06a	0.58±0.01a	0.28±0.02a
40~60	CK	4.97±0.06c	13.79±0.43b	4.11±0.37b	79.67±5.73b	0.33±0.01b	0.21±0.01a
	CZR	5.19±0.03b	15.37±0.56a	4.48±0.44b	87.31±4.89b	0.36±0.01b	0.18±0.01b
	CMC	5.57±0.15a	15.20±0.65a	5.01±0.31a	94.67±2.96a	0.37±0.01a	0.23±0.01a

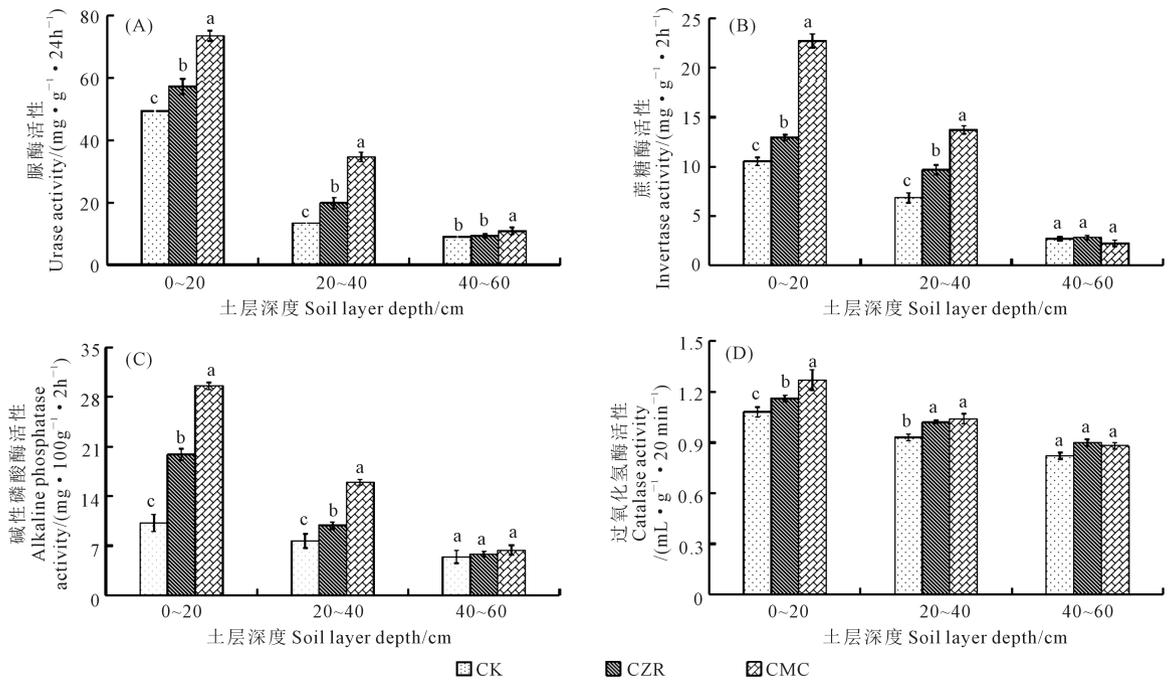


图 4 不同处理对 0~60 cm 土壤酶活性的影响

Fig.4 Effects of different treatments on 0~60 cm soil enzyme activity

2.3.2 生草对葡萄园微生物数量的影响 土壤微生物是土壤生态系统中的重要组成部分,其数量多少和细菌/真菌(B/F)值直接反映了土壤肥力的大小。各处理不同土层微生物数量的变化如表 3 所示,各处理随土层深度的增加,微生物总数逐渐减少;CZR 和 CMC 处理随土层深度的增加,细菌、真菌和放线菌数量呈下降趋势,CK 处理土壤细菌和真菌数量在表层(0~20 cm)最多,放线菌数量在 20~40 cm 土层最高。0~20 cm 土层 CMC 和 CZR 处理较 CK 处理细菌数量、真菌数量、放线菌数量、微生物总数和 B/F 值分别高 29.50% 和 58.99%、27.05% 和 40.98%、11.43% 和 47.62%、22.04% 和 54.29%、1.93% 和 12.78%;20~40 cm 土层 CK 处理较 CZR 和 CMC 处理细菌数量少 40.83% 和 47.92%, CZR 处理真菌数量、放线菌数量最低,分别较 CK 和

CMC 处理低 6.67% 和 11.11%、29.27% 和 34.59%,各处理微生物总数和 B/F 值大小顺序为:CMC>CZR>CK;各处理 40~60 cm 土层细菌数量、真菌数量和放线菌数量与 0~20 cm 和 20~40 cm 土层相比,均达到最低,CMC 处理较 CZR 和 CK 处理微生物总数分别高 70.71% 和 36.36%,CZR 处理的 B/F 值最低,较 CK 和 CMC 处理分别低 1.91% 和 6.62%。

2.4 生草对酿酒葡萄浆果产量及品质的影响

由表 4 可知,生草对酿酒葡萄产量影响不显著,与 CK 处理相比,CZR 和 CMC 处理产量分别下降 3.75% 和 3.27%。可溶性固形物、可滴定酸、单宁、总酚和花色苷是评价酿酒葡萄浆果品质的重要指标,生草对酿酒葡萄浆果品质有显著影响。可溶性固形物是指可溶性糖或其它可溶性物质,CK 处理可溶性固形物含量最高,较 CZR 和 CMC 处理分别

高 1.35% 和 3.86%; 可滴定酸含量 CMC 处理最高, 较 CZR 和 CK 处理分别高 1.41% 和 16.13%; 单宁含量的多少决定葡萄酒的风味、结构与质地, CZR 和 CMC 处理单宁含量分别较 CK 处理高 20.35% 和 24.91%; 酚类物质是酿酒葡萄中重要的次生代谢物质, 与葡萄汁的色泽和风味密切相关, CZR 和 CMC 处理总酚含量较 CK 处理分别高 26.65% 和 24.41%; 花色苷是存在于葡萄皮中的一种类黄酮多酚物质, 生草能显著提高酿酒葡萄的花色苷含量, CK 处理较 CZR 和 CMC 处理分别低 24.67% 和 29.16%; 糖酸比是判断酿酒葡萄果实成熟度的重要指标之一, CMC 和 CZR 处理较 CK 处理糖酸比分别降低 17.10% 和 13.85%。

表 3 不同处理对 0~60 cm 土层土壤微生物数量的影响

Table 3 Effects of different treatments on 0~60 cm soil microbial number

土层深度/cm Soil depth	处理 Treatment	细菌数量 Bacteria number /($\times 10^6$ cfu \cdot g $^{-1}$)	真菌数量 Fungi number /($\times 10^4$ cfu \cdot g $^{-1}$)	放线菌数量 Actinomycetes number /($\times 10^6$ cfu \cdot g $^{-1}$)	微生物总数 Number of total microorganism /($\times 10^6$ cfu \cdot g $^{-1}$)	B/F
0~20	CK	1.39 \pm 0.15c	1.22 \pm 0.13c	1.05 \pm 0.14b	2.45	113.93
	CZR	1.80 \pm 0.05b	1.55 \pm 0.24b	1.17 \pm 0.16b	2.99	116.13
	CMC	2.21 \pm 0.20a	1.72 \pm 0.37a	1.55 \pm 0.20a	3.78	128.49
20~40	CK	1.00 \pm 0.06c	1.20 \pm 0.22a	1.23 \pm 0.07a	2.24	83.33
	CZR	1.69 \pm 0.12b	1.12 \pm 0.14a	0.87 \pm 0.13b	2.57	150.89
	CMC	1.92 \pm 0.22a	1.26 \pm 0.08a	1.33 \pm 0.11a	3.26	152.38
40~60	CK	0.54 \pm 0.11c	0.55 \pm 0.12b	0.44 \pm 0.13c	0.99	98.18
	CZR	0.78 \pm 0.17b	0.81 \pm 0.26a	0.56 \pm 0.15b	1.35	96.30
	CMC	0.99 \pm 0.24a	0.96 \pm 0.09a	0.69 \pm 0.11a	1.69	103.13

表 4 生草对酿酒葡萄浆果产量及品质的影响

Table 4 Effect of grass on the quality of wine grape berry

处理 Treatment	产量/(kg \cdot hm $^{-2}$) Yield	可溶性固形物/% Soluble solid	可滴定酸/% Titratable acid	单宁/(mg \cdot g $^{-1}$) Tannin	总酚/(mg \cdot g $^{-1}$) Total phenol	花色苷/(mg \cdot g $^{-1}$) Anthocyanin	糖酸比 Acid-sugar ratio
CK	7616.10 \pm 43.45a	25.56 \pm 0.25a	0.62 \pm 0.06b	13.81 \pm 0.22b	16.02 \pm 0.21b	5.71 \pm 0.03c	41.23
CZR	7330.80 \pm 83.30a	25.22 \pm 0.20ab	0.71 \pm 0.03a	16.62 \pm 0.37a	20.29 \pm 0.40a	7.58 \pm 0.05b	35.52
CMC	7366.40 \pm 67.99a	24.61 \pm 0.23b	0.72 \pm 0.04a	17.25 \pm 0.26a	19.93 \pm 0.31a	8.06 \pm 0.23a	34.18

表 5 主成分得分与综合得分

Table 5 Principal component score and comprehensive score

处理 Treatment	主成分得分 F1 Principal component score F1	贡献率 Contribution rate/%	综合得分 F Comprehensive scores F	排名 Rank
CK	-0.9863		-0.8832	3
CZR	-0.0269	89.55	-0.0241	2
CMC	1.0132		0.9073	1

3 讨论

3.1 生草对葡萄园土壤微环境的影响

葡萄园生态栽培是指以葡萄树为中心, 通过生草对土壤微环境进行人工调控, 使园内有限的资源得以充分利用^[31]。旱区酿酒葡萄园行内生草能显著降低土壤表层温度, 随土层深度增加温度变化幅

2.5 土壤微环境指标与酿酒葡萄浆果产量品质指标主成分分析

无法通过单一指标评价行内生草对酿酒葡萄园土壤微环境及浆果产量品质的影响, 因此, 采用主成分分析法, 对土壤微环境指标和酿酒葡萄浆果产量和品质进行综合分析, 可以更加科学地筛选出最优试验处理。以土壤物理性质、化学性质、生物学特性和酿酒葡萄浆果产量品质为评价指标, 进行主成分分析, 第一主成分贡献率为 88.25% > 85%, 基本涵盖了土壤微环境和浆果产量品质的全部信息, 结果如表 5 所示, CZR 和 CMC 处理的综合得分均高于 CK 处理, 综合得分排名依次为: CMC > CZR > CK。

度逐渐变小, 同时降低土壤容重, 增加总孔隙度, 与杨江山等^[32]和惠竹梅等^[33]研究结果一致。分析其原因是: 生草能够减少太阳对地面的直接辐射, 减缓了热量向深层土壤的传递, 进而降低了地表温度, 不同草种之间长势差异导致土壤和环境温度降低程度不同; 同时生草不但可以减少机械耕作对土壤的碾压, 而且生草还田在微生物和酶的作用下, 分解形成有机物质, 改善土壤紧实度和孔隙状况。

植物生长的主要营养来源于土壤, 土壤养分含量多少直接影响着植物的形成和发展过程。有研究表明, 果园连续生草 3 a 土壤有机质增加 16.25% ~ 43.75%, 土壤全氮提升 50% 左右, 碱解氮降低 4.73% ~ 34.32%, 有效磷增加 81.93% ~ 332.53%, 速效钾增加 49.24% ~ 89.34%^[34]。本研究发现, 生草

能显著提高土壤肥力,随着土层深度的增加,土壤肥力逐渐降低。究其原因可能为:不同草种所含营养物质种类和含量不同,同时生草还田改善了土壤的微生物环境,使微生物分解能力增强,有利于残草分解,增加了土壤的有机物质含量,提高了土壤对 N、P、K 的吸附能力,使土壤 N、P、K 等元素均衡供应^[5,34];另外植物根系分泌物中的有机酸类物质通过电离 H⁺酸化土壤环境或通过交换和还原作用,使土壤中的难溶性营养物质活化^[35]。

土壤微生物是土壤物质循环的主要动力,土壤微生物种类和数量直接影响着土壤养分循环、物质和能量转化的过程,进而影响着土壤肥力的大小^[36]。土壤酶是参与土壤新陈代谢的重要物质,是具有催化能力的“特殊有机体”,表征土壤养分转化能力的强弱,是土壤评价体系中重要的生物学指标^[37]。本研究认为,连续生草 2 a 能显著增加中上层(0~40 cm)土壤酶活性,极显著地提高了土壤细菌、真菌和放线菌的数量,其中自然生草和马齿苋处理下微生物总数平均提高 21.65% 和 53.70%;相同自然条件下,由于马齿苋处理生物量较自然草更大,覆盖度和均匀度更好,该区域种植马齿苋更有利于土壤微环境的改善。这是因为:生草降低了土壤表层温度,为微生物提供了适宜的生活环境,同时草自身含有大量有机质和 N、P、K,生草还田为土壤微生物的生长提供了丰富营养,促进土壤微生物的繁殖^[5];同时,植物根系分泌、残体腐解和土壤动物活动产生大量的酶^[36,38],当土壤有机质含量增加时,土壤酶积极参与有机质的分解与转化,进而活性增强^[39]。

3.2 生草对酿酒葡萄浆果产量及品质的影响

在干旱半干旱区,夏季高温干旱致使酿酒葡萄果实糖酸比过早达到采收要求,而单宁、酚类物质、花色苷含量较低,香气物质积累不足,进而影响葡萄酒的品质。葡萄园生草能够调节酿酒葡萄浆果糖酸比,促进香气物质积累,进而提高葡萄酒的品质。Irvin 等^[24]研究结果表明,行内种植荞麦使酿酒葡萄浆果含糖量下降 3.2° Brix,同时降低果实脱水萎缩比例。Muscas 等^[16]研究认为,生草年份的增加对可滴定酸无显著影响,能显著增加酿酒葡萄浆果可溶性固形物含量,生禾本科植物能增加酿酒葡萄浆果的总酚和花色苷含量,生豆科植物则相反。本研究结果表明,连续 2 a 行内生马齿苋和自然草对酿酒葡萄产量影响不显著,能够显著调节果实糖酸比,增加单宁、总酚和花色苷含量,CZR 和 CMC 处理较 CK 处理产量分别下降 3.75% 和 3.27%、可溶性

固形物含量分别下降 1.33% 和 3.72%,可滴定酸、单宁、总酚和花色苷含量分别增加 14.52% 和 16.13%、21.23% 和 25.82%、26.65% 和 24.41%、32.75% 和 41.16%,糖酸比分别降低 13.85% 和 17.10%。原因可能为:(1)草的根系主要分布在 0~20 cm 土层,酿酒葡萄的根系主要分布在 20~60 cm 土层,草与酿酒葡萄在 0~20 cm 土层对养分和水分的竞争强烈,在 20 cm 土层以下竞争减弱,故对产量影响不显著;(2)生草降低了土壤和酿酒葡萄冠层温度,使糖代谢过程中各种酶的活性增强,不利于糖分累积,而抑制苹果酸的降解^[40],进而降低糖酸比,促进单宁及酚类物质的合成,同时减少高温导致的果实灼伤率,促进花色苷的合成。

4 结 论

旱区葡萄园行内生草能有效降低且稳定地表温度,降低土壤容重,改善土壤孔隙状况,提高土壤肥力,增加土壤酶活性和微生物数量,在获得稳定产量的同时能够有效调节酿酒葡萄浆果糖酸比,促进浆果单宁、总酚和花色苷含量,尤其以行内种植马齿苋效果为最佳。

参 考 文 献:

- [1] 王素艳,郑广芬,李欣,等.气候变暖对贺兰山东麓酿酒葡萄热量资源及冷冻害的影响[J].生态学报,2017,37(11):3776-3786.
- [2] 郑广芬,王素艳,杨建玲,等.宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄成熟采收期气候资源变化及其对葡萄品质的影响[J].生态学杂志,2016,35(12):3335-3343.
- [3] 王振龙,包蕾,葛新伟,等.有机滴灌肥对酿酒葡萄园土壤微生物量碳、氮及酶活性的影响[J].中国土壤与肥料,2019,280(2):61-67,97.
- [4] 白岗栓,邹超煜,杜社妮.渭北旱塬果园自然生草对土壤水分及苹果树生长的影响[J].农业工程学报,2018,34(3):151-158.
- [5] 魏树伟,王少敏,张勇,等.不同土壤管理方式对梨园土壤养分、酶活性及果实风味品质的影响[J].草业学报,2015,24(12):46-55.
- [6] 焦润安,焦健,李朝周.生草对油橄榄园土壤性质和油橄榄成花生理的影响[J].草业学报,2018,27(7):133-144.
- [7] 司鹏,于会丽,高登涛,等.生草对沙地葡萄园土壤微生物群落碳源利用特征的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(2):247-254.
- [8] Novara A, Minacapilli M, Santoro A, et al. Real cover crops contribution to soil organic carbon sequestration in sloping vineyard [J]. Science of the Total Environment, 2019, 652:300-306.
- [9] Xi Z M, Tao Y S, Zhang L, et al. Impact of cover crops in vineyard on the aroma compounds of *Vitis vinifera* L. cv Cabernet Sauvignon wine [J]. Food Chemistry, 2011, 127(2):516-522.
- [10] King A P, Berry A M. Vineyard $\delta^{15}\text{N}$, nitrogen and water status in perennial clover and bunch grass cover crop systems of California's central valley [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2005, 109(3-4):262-272.

- [11] Arentoft B W, Ali A, Streibig J C, et al. A new method to evaluate the weed-suppressing effect of mulches: a comparison between spruce bark and cocoa husk mulches[J]. *Weed Research*, 2013, 53(3): 169-175.
- [12] Espejo-Pérez A J, Rodríguez-Lizana A, Ordóñez R, et al. Soil loss and runoff reduction in olive-tree dry-farming with cover crops[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2013, 77(6):2140-2148.
- [13] Bagagiolo G, Biddoccu M, Rabino D, et al. Effects of rows arrangement, soil management, and rainfall characteristics on water and soil losses in Italian sloping vineyards [J]. *Environmental Research*, 2018, 166:690-704.
- [14] Ni J J, Ng C W W. Long-term effects of grass roots on gas permeability in unsaturated simulated landfill covers[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 666:680-684.
- [15] Coniberti A, Ferrari V, Disegna E, et al. Complete vineyard floor cover crop to reduce grapevine susceptibility to bunch rot[J]. *European Journal of Agronomy*, 2018, 99:167-176.
- [16] Muscas E, Cocco A, Mercenaro L, et al. Effects of vineyard floor cover crops on grapevine vigor, yield, and fruit quality, and the development of the vine mealybug under a Mediterranean climate[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2017, 237:203-212.
- [17] Tiecher T, Calegari A, Caner L, et al. Soil fertility and nutrient budget after 23-years of different soil tillage systems and winter cover crops in a subtropical Oxisol[J]. *Geoderma*, 2017, 308:78-85.
- [18] 张桂玲. 秸秆和生草覆盖对桃园土壤养分含量、微生物数量及土壤酶活性的影响[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(12):1236-1244.
- [19] Çerçioğlu M, Anderson S H, Udawatta R P, et al. Effect of cover crop management on soil hydraulic properties[J]. *Geoderma*, 2019, 343:247-253.
- [20] Nouri A, Lee J, Yin X, et al. Thirty-four years of no-tillage and cover crops improve soil quality and increase cotton yield in Alfisols, Southeastern USA[J]. *Geoderma*, 2019, 337:998-1008.
- [21] Nevins C J, Nakatsu C, Armstrong S. Characterization of microbial community response to cover crop residue decomposition[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, 127:39-49.
- [22] Xi Z M, Zhang Z W, Cheng Y F, et al. The effect of vineyard cover crop on main monomeric phenols of grape berry and wine in *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2010, 9(3):440-448.
- [23] Ruiz-Colmenero M, Bienes R, Marques M J. Soil and water conservation dilemmas associated with the use of green cover in steep vineyards[J]. *Soil and Tillage Research*, 2011, 117:211-223.
- [24] Irvin N A, Bistline-East A, Hoddle M S. The effect of an irrigated buckwheat cover crop on grape vine productivity, and beneficial insect and grape pest abundance in southern California[J]. *Biological Control*, 2016, 93:72-83.
- [25] Bouzas-Cid Y, Portu J, Pérez-Álvarez E P, et al. Effect of vegetal ground cover crops on wine anthocyanin content[J]. *Scientia Horticulturae*, 2016, 211:384-390.
- [26] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社, 2000:269-288.
- [27] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京:中国农业出版社, 2007:25-271.
- [28] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社, 1986:274-329.
- [29] 姚占芳, 吴云汉. 微生物学实验技术[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2005:123-125.
- [30] 房玉林, 孙伟, 万力, 等. 调亏灌溉对酿酒葡萄生长及果实品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(13):2730-2738.
- [31] 巴德日胡, 孙铁军, 张颖娟. 葡萄园种草的环境效应[J]. *草业科学*, 2013, 30(1):96-103.
- [32] 杨江山, 常永义, 李玟璇. 不同覆盖方式对红地球葡萄园土壤物理性质的影响[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2010, (7):10-13, 17.
- [33] 惠竹梅, 李华, 张振文, 等. 西北半干旱地区葡萄园生草对土壤水分的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2004, 22(4):123-126.
- [34] Qian X, Gu J, Pan H J, et al. 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.
- [35] 陈龙池, 廖利平, 汪思龙, 等. 根系分泌物生态学研究[J]. *生态学杂志*, 2002, 21(6):57-62, 28.
- [36] 惠竹梅, 岳泰新, 张瑾, 等. 西北半干旱区葡萄园生草体系中土壤生物学特性与土壤养分的关系[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(11):2310-2317.
- [37] 孙文泰, 董铁, 刘兴禄, 等. 陇东旱原地表覆盖方式对苹果生育后期叶片质量及根际土壤微环境的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2019, 37(1):101-107.
- [38] 樊军, 郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究 II. 土壤酶活性与土壤肥力[J]. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(2):146-150.
- [39] 安韶山, 黄懿梅, 刘梦云. 宁南山区土壤酶活性特征及其与肥力因子的关系[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(5):55-58.
- [40] Sweetman C, Sadras V O, Hancock R D, et al. Metabolic effects of elevated temperature on organic acid degradation in ripening *Vitis vinifera* fruit [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2014, 65(20):5975-5988.