



草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄生长发育和果实品质的影响

全龙萍, 王明, 周波, 高振, 杜远鹏*

山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东果蔬优质高效生产协同创新中心, 山东泰安271018

*通信作者(duyuanpeng001@163.com)

摘要: 以苗龄三年大田葡萄‘美乐’自根苗为试材, 进行草炭、微生物菌剂、草炭+微生物菌剂复合处理, 以浇灌清水为对照。结果发现, 与对照相比, 各处理均提高了葡萄的新梢和叶片的生长、叶片叶绿素含量、光合速率、根系活力以及果实的生长、可溶性固形物的积累与果实着色和香气的合成, 以复合处理效果最好, 草炭在果实次生代谢方面作用优于微生物菌剂。复合处理的葡萄叶片厚度和叶面积分别比对照增加了50.00%和21.54%, 根系活力提高了36.11%, 果实的纵径、横径、百粒重及果实可溶性固形物的含量分别比对照增加了10.74%、11.77%、20.12%和10.45%, 花色苷、总酚、类黄酮、黄烷醇和单宁分别提高了327.08%、26.90%、51.61%、124.75%和91.67%, 己醛、反式-2-己烯醛和反式-2,4-己二烯醛的含量提高了32.24%、44.73%和51.19%。3种处理均改善了土壤的微生物状况, 其中复合处理假单胞菌相对丰度最高。综上, 以草炭+微生物菌剂复合处理对葡萄的新梢和叶片的生长、叶绿素含量、光合速率、根系活力以及果实的生长、可溶性固形物的积累与果实着色、香气的合成和次生代谢促进效果最好, 显著提高土壤有益菌假单胞菌的相对丰度。

关键词: 葡萄‘美乐’; 草炭; 微生物菌剂; 生长发育; 土壤微生物

Effects of peat and microbial agents on the growth and development of ‘Merlot’ grape

QUAN Longping, WANG Ming, ZHOU Bo, GAO Zhen, DU Yuanpeng*

State Key Laboratory of Crop Biology, Collaborative Innovation Center of Fruit & Vegetable Quality and Efficient Production, College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China

*Corresponding author (duyuanpeng001@163.com)

Abstract: 3-year-old field *Vitis vinifera* L ‘Merlot’ self-rooted seedlings were treated with peat, microbial agents and peat with microbial agents, and the control was irrigated with water. The results showed that compared with the control, all treatments improved the growth of grape shoots and leaves, chlorophyll content of leaves, photosynthetic rate, root activity, fruit growth, accumulation of soluble solids, fruit color and aroma synthesis. The compound treatment had the best effect, and the effect of peat on fruit secondary metabolism was better than that of microbial agents. Compared with the control, the leaf thickness and leaf area increased by 50.00% and 21.54% respectively, and the root activity increased by 36.11%. The longitudinal diameter, transverse di-

收稿 2022-09-05 修定 2023-06-13

资助 山东省重点研发计划(乡村振兴科技创新提振行动计划) (2022TZXD0010)、山东省重点研发计划(重大科技创新工程) (2021CXGC-010804)和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系(CARS-29-zp-1)。

ameter, 100 berry weight and the content of soluble solids in the fruit increased by 10.74%, 11.77%, 20.12% and 10.45% respectively. The anthocyanins, total phenols, flavonoids, flavanols and tannins increased by 327.08%, 26.90%, 51.61%, 124.75% and 91.67% respectively. The contents of hexanal, trans-2-hexenal and trans-2,4-hexadienal increased by 32.24%, 44.73% and 51.19%. All treatments improved the soil microbial status, among which the relative abundance of *Pseudomonas* in the bacteria of the composite treatment was the highest and significantly higher than that of other treatments. In conclusion, the treatment of peat with microbial agents had the best effect on the growth of grape shoots and leaves, chlorophyll content, photosynthetic rate, root activity, fruit growth, accumulation of soluble solids, fruit color, aroma synthesis and secondary metabolism, and significantly increased the relative abundance of soil beneficial bacteria *Pseudomonas*.

Key words: *Vitis vinifera* ‘Merlot’; peat; microbial agents; growth and development; soil microorganisms

葡萄(*Vitis vinifera*)是一种世界上分布范围较广的植物,在我国已有数千年的栽培历史,我国葡萄种植产业发展迅速,在世界葡萄产业中占有重要地位,产量居世界第一(刘俊等2020)。然而,葡萄施肥过程中普遍存在片面追求高产,长期单一大量施用氮(N)、磷(P)、钾(K)肥,不仅造成肥料浪费(谭鸣2018),而且使土壤环境质量降低、酸化、矿质营养供应不均衡,导致葡萄着色不良(宋科2020)、成熟期推迟等(郑小能2019),严重影响果实品质和产量(王锐等2017)。

合理施肥是提高土壤肥力,保证葡萄高产、优质、显著提高酿酒葡萄产量和品质,提高果园的经济效益重要因素之一(李敬川等2010;施平丽等2016),能够使葡萄有效地利用肥料和土壤中的养分,促进、调节营养生长和生殖生长(崔丽贤和刘金利2019),进而影响葡萄果实品质中可溶性固形物、酚类物质、香气等成分(邵书山等2019;江才伦等2006;李文超等2012)。生物有机肥和生物菌肥在生产上发挥重要作用(刘吉峰2018;王灵哲等2018),能够有效地提高土壤肥力促进养分平衡,提高作物光合特性、产量和品质。微生物菌剂是一种利用微生物及其生命活动的产物来改善土壤环境,对环境无污染,它可以增加土壤中有益微生物,改善根际微环境,促进土壤、植物根系、微生物以及环境之间相互作用,使根际微生物与植物建立长期互惠关系,提高土壤养分利用率,从而增强植株的抗逆性,促进植株生长发育(徐忠山等2018)。目前,我国微生物肥料使用量较低,不足我国肥料使用量的3%(李涛等2019)。为探究适合‘美乐’葡萄高效生

长的施肥方法,本试验以大田三年生‘美乐’自根苗为试材,研究不同施肥水平下‘美乐’葡萄在生长发育、果实品质及微生物种类方面的差异,以期为生产优质高产的葡萄提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料及处理

实验于2021年3月—10月在山东农业大学园艺科学与工程学院试验站葡萄园内进行。以大田苗龄三年‘美乐’(*Vitis vinifera* L. ‘Merlot’)自根苗葡萄为试材,于3月20日在距干30 cm两侧各挖宽30 cm、深20 cm的条状沟进行草炭砖施用、微生物菌剂浇灌及草炭砖+微生物菌剂复合处理。每棵树在树冠范围内均匀放置4块草炭砖;于4月11日开始每隔10 d对每棵树浇灌10 L稀释500倍的微生物菌剂。对照与草炭处理挖同样的条状沟并在同时期浇灌等量清水;每个处理3次重复,每个重复3株树。

为了有效持久为微生物提供载体,将草炭加水拌湿,采用模具压制为草炭砖,每块干重约750 g。

参照杜远鹏等(2022)方法,制作微生物菌剂。将麸皮、豆粕和红糖加水蒸煮,加入复合氨基酸、尿素及磷酸铵,再加入复合菌进行发酵,依次加入过磷酸钙、钙镁磷肥、石灰粉、硫酸钾、硼砂、黄腐酸钾、粉煤灰、七水硫酸锌和水进行第2次发酵,得到液态微生物菌肥。复合菌群为光合菌、乳酸菌、酵母菌、枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、胶质芽孢杆菌、胶冻样芽孢杆菌、革兰氏阳性放线菌、醋酸菌、绿色木霉菌和双歧杆菌。

1.2 测定方法

1.2.1 葡萄新梢相对生长量的测定

从5月4日开始统计新梢生长量, 每棵树选取10个新梢, 挂牌标记, 使用卷尺测量新梢基部到生长点距离, 精确到0.1 cm。5月24日再次测量葡萄新梢长度, 计算新梢相对生长量。

1.2.2 葡萄叶片面积、重量及厚度的测定

于7月中旬采集新梢第四节位叶片10片, 将叶片平铺在1 cm×1 cm的坐标纸上, 拍照并用Digimizer软件测定叶面积, 精确到0.01 cm²。使用Digital数显式游标卡尺测定叶片厚度, 精确到0.01 mm。使用电子天平(JM-A1002, 诸暨市超泽衡器设备有限公司)测定叶片重量, 精确到0.01 g。

1.2.3 葡萄根系活力的测定

采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定葡萄不同时期根系活力, 每个处理各3次生物学重复。

1.2.4 葡萄叶片叶绿素含量的测定

采用乙醇提取法(廖祥儒等1996)于6月、8月、10月中旬测定葡萄第四节位叶片叶绿体色素的含量, 每个处理各3次生物学重复。

1.2.5 葡萄叶片光合气体交换参数的测定

参照管雪强等(2020)的方法, 选择7月中旬晴朗的天气, 上午7:00—10:00采用CIRAS-3便携式光合仪(PP-Systems, 美国)对葡萄新梢第四节位叶片进行叶片净光合速率(P_n)、胞间CO₂浓度(C_i)、气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)的测定, 测定时光照强度为1 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, CO₂浓度设定为(360±20) $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$, 叶室温度为25°C。

1.2.6 果实大小、可溶性固形物、可滴定酸的测定

于果实成熟期采集各处理果实10穗, 每穗上中下部位取样, 共取50粒新鲜果实, 使用天平称取其质量(0~1 500 g, 精确到0.01 g), 重复10次, 计算得果实百粒重。取单粒浆果使用游标卡尺(0~150 mm, 0.02 mm)测定其纵横径, 重复10次, 计算果形指数(纵径/横径)。取30粒浆果, 榨汁离心后用WZB-45数显折光仪测定果实可溶性固形物, 使用酸碱度滴定法测定可滴定酸含量。

1.2.7 果皮花色苷、总酚、类黄酮、黄烷醇、单宁含量的测定

采用pH示差法测定果皮花色苷含量(Orak 2007);

采用福林酚法测定了果皮中总酚的含量(Song等2015); 采用亚硝酸盐-氯化铝法测定类黄酮含量(Kim等1999); 采用香草醛-盐酸法测定黄烷醇含量(Waterhouse等2000); 采用Folir-Denis法测定果实单宁含量(耿娜娜等2013)。每个指标进行3次生物学重复测定。

1.2.8 果实香气的提取、测定及定量

参考刘孟龙等(2021)的方法, 对葡萄香气物质成分进行测定。

利用质谱全离子扫描(Scan)的图谱, 结合NIST17和WILEY7比对结果及相关文献的参考对香气物质进行定性; 采用面积归一化法定量, 取3次重复平均值作为香气物质的相对含量。

1.2.9 微生物种类测定方法

于10月中旬采集各处理组根际土壤样品, 提取样品总DNA, 根据保守区设计得到引物, 在引物末端加上测序接头, 进行PCR扩增并对其产物进行纯化、定量和均一化形成测序文库, 建好的文库先进行文库质检, 质检合格的文库用Illumina HiSeq 2500进行测序。高通量测序得到的原始图像数据文件, 经碱基识别(Base Calling)分析转化为原始测序序列(Sequenced Reads), 结果以FASTQ (简称为fq)文件格式存储, 其中包含测序序列(Reads)的序列信息以及其对应的测序质量信息。使用FLASH v1.2.7软件, 通过overlap对每个样品的reads进行拼接, 得到的拼接序列即原始Tags数据(Raw Tags)。使用Trimmomatic v0.33软件, 对拼接得到的Raw Tags进行过滤, 得到高质量的Tags数据(Clean Tags)。使用UCHIME v4.2软件, 鉴定并去除嵌合体序列, 得到最终有效数据(Effective Tags)。将优化后的Clean Tags按照97%的序列相似性水平进行聚类, 划分OUT (Operational Taxonomic Units), 通过数据库比对(细菌: Silva), 对不同样品内微生物进行物种组成分类及丰度分析。

2 实验结果

2.1 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄新梢生长量、生长速率的影响

如图1所示, 与对照(CK)相比, 各处理均提高‘美乐’的新梢相对生长量和相对生长速率。其中

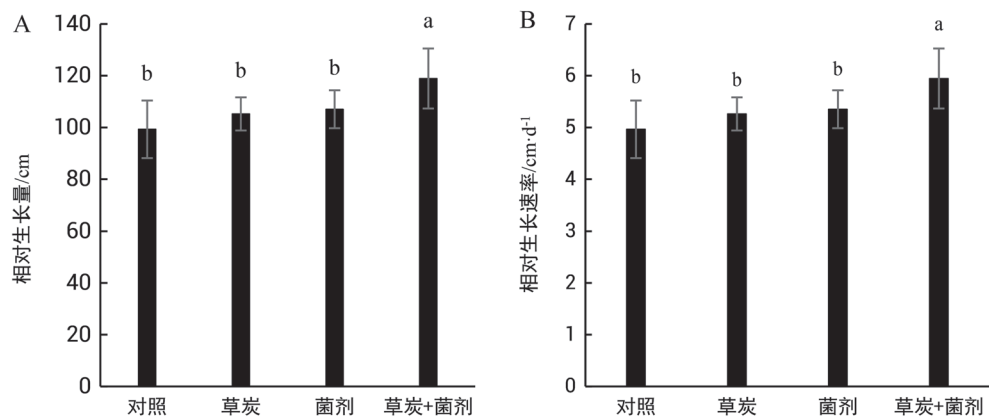


图1 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄新梢相对生长量和生长速率的影响

Fig.1 Effects of peat and microbial agents on relative shoot growth and growth rate of ‘Merlot’ grape

不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 下图表同此。

草炭+微生物菌剂复合处理与对照相比有显著性差异, 新梢相对生长量和相对生长速率比对照显著提高了19.78%和19.96%, 草炭和微生物菌剂单独处理与对照相比没有差异。

2.2 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄叶片生长的影响

由表1可知, 与对照(CK)相比, 各处理均提高葡萄叶片重量、厚度和叶面积, 并以复合处理效果最好。微生物菌剂单独处理及复合处理的葡萄叶片的重量分别比对照显著提高了18.79%和23.46%; 草炭、微生物菌剂及复合处理的葡萄叶片厚度分别比对照显著提高了23.08%、23.08%和50.00%, 草炭和微生物菌剂单独处理间没有显著差异; 草炭、微生物菌剂及复合处理的葡萄叶面积分别比对照提高了14.81%、16.86%和21.54%。

2.3 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄叶绿素含量和叶片光合速率的影响

由表2可知, 8月的叶绿素和类胡萝卜素含量均高于6和10月, 复合处理对叶片叶绿素和类胡萝

卜素含量提高最为显著。6、8和10月复合处理下叶绿素a+b的含量分别比对照(CK)提高18.18%、13.51%和19.23%; 类胡萝卜素含量分别比对照(CK)提高14.45%、14.79%和14.02%, 草炭和微生物菌剂单独处理二者间对叶绿素a+b及类胡萝卜素促进的效果差异不显著。

由表3可知, 3个处理均提高了叶片的净光合速率(P_n), 以复合处理效果最好, 草炭、微生物菌剂和复合处理下叶片 P_n 分别较对照(CK)显著提高了34.24%、40.68%和52.37%; 胞间二氧化碳浓度(C_i)分别降低了17.40%、11.37%和21.17%; 复合处理下的气孔导度(G_s)与对照相比差异显著, 提高了16.74%; 各种处理下叶片蒸腾速率(T_r)没有显著差异。

2.4 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄根系活力的影响

如图2所示, 与对照(CK)相比, 3种处理均显著提高了葡萄根系活力, 以复合处理效果最好, 比对照提高了36.11%, 其次为草炭和微生物菌剂单独

表1 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄叶片生长的影响

Table 1 Effects of peat and microbial agents on the growth of ‘Merlot’ grape leaves

处理	叶片重量/g	叶片厚度/mm	叶片面积/cm ²
对照	7.08±1.45 ^b	0.26±0.03 ^c	314.55±42.78 ^b
草炭	7.79±1.44 ^{ab}	0.32±0.05 ^b	361.13±30.24 ^a
菌剂	8.41±1.43 ^a	0.32±0.04 ^b	367.57±37.47 ^a
草炭+菌剂	8.74±0.89 ^a	0.39±0.07 ^a	382.29±31.32 ^a

表2 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄叶片叶绿体色素含量的影响
Table 2 Effects of peat and microbial on chloroplast pigment contents of ‘Merlot’ grape leaves

时期	处理	叶绿素a含量/mg·g ⁻¹	叶绿素b含量/mg·g ⁻¹	类胡萝卜素含量/mg·g ⁻¹	叶绿素a+b含量/mg·g ⁻¹
6月	对照	1.24±0.02 ^c	0.49±0.01 ^c	0.33±0.01 ^c	1.73±0.02 ^c
	草炭	1.29±0.01 ^{bc}	0.53±0.01 ^b	0.37±0.01 ^b	1.81±0.01 ^b
	菌剂	1.30±0.03 ^b	0.53±0.01 ^b	0.36±0.01 ^b	1.83±0.04 ^b
	草炭+菌剂	1.39±0.03 ^a	0.58±0.02 ^a	0.39±0.01 ^a	1.98±0.05 ^a
8月	对照	1.51±0.07 ^b	0.53±0.02 ^b	0.37±0.01 ^c	2.03±0.09 ^b
	草炭	1.71±0.04 ^a	0.56±0.01 ^b	0.41±0.01 ^b	2.26±0.05 ^a
	菌剂	1.54±0.07 ^b	0.74±0.07 ^a	0.45±0.03 ^a	2.28±0.13 ^a
	草炭+菌剂	1.71±0.02 ^a	0.62±0.01 ^b	0.42±0.01 ^{ab}	2.33±0.03 ^a
10月	对照	1.17±0.02 ^c	0.47±0.01 ^b	0.26±0.01 ^c	1.64±0.03 ^c
	草炭	1.28±0.01 ^b	0.50±0.01 ^a	0.30±0.01 ^b	1.78±0.02 ^b
	菌剂	1.22±0.02 ^c	0.49±0.02 ^{ab}	0.29±0.01 ^b	1.71±0.01 ^b
	草炭+菌剂	1.35±0.04 ^a	0.52±0.01 ^a	0.31±0.01 ^a	1.87±0.05 ^a

表3 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄叶片光合速率的影响
Table 3 Effects of peat and microbial agents on photosynthetic rate of ‘Merlot’ grape leaves

处理	$P_n/\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	$C_i/\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\text{mol}^{-1}$	$G_s/\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	$T_r/\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
对照	9.93±0.75 ^b	339.67±16.17 ^a	390.33±24.58 ^b	6.67±0.64 ^a
草炭	13.33±1.17 ^a	289.33±30.24 ^b	399.33±30.29 ^{ab}	7.57±0.61 ^a
菌剂	13.97±0.40 ^a	305.00±12.12 ^{ab}	406.67±31.01 ^{ab}	7.73±0.96 ^a
草炭+菌剂	15.13±1.17 ^a	280.33±20.12 ^b	455.67±41.55 ^a	8.07±0.67 ^a

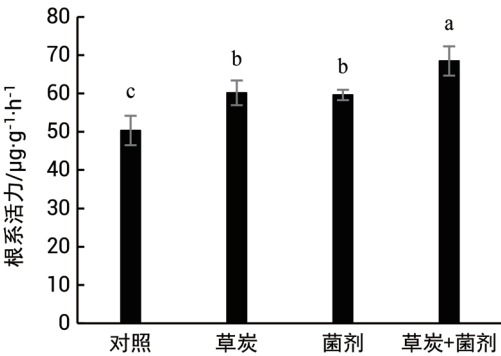


图2 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄根系活力的影响
Fig. 2 Effects of peat and microbial agents on root activity of ‘Merlot’ grape

处理, 分别比对照提高了19.55%和18.44% , 二者间没有显著性差异。

2.5 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄果实大小和果实糖酸的影响

如表4所示, 各处理均促进了果实的生长, 以复

合处理效果最好。与对照相比, 复合处理下果实的纵径、横径及百粒重分别增加了10.74%、11.77%和20.12%, 果实可溶性固形物的含量增加了10.45% (图3-A)。各处理果实中可滴定酸含量无显著性的差异(图3-B)。草炭和菌剂单独处理的果实纵径、横径、百粒重和可溶性固形物含量分别比对照增加了4.75%、6.46%、10.80%、7.73%和5.84%、6.39%、15.24%、6.21%。

2.6 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄果实次生代谢物的影响

各处理均显著促进葡萄果实的次生代谢物的积累(图4), 并以复合处理效果最好, 花色苷、总酚、类黄酮、黄烷醇和单宁含量分别比对照显著提高了327.08%、26.90%、51.61%、124.75%和91.67%。草炭对果实次生代谢产物提升效果优于微生物菌剂, 草炭和微生物菌剂处理下果皮花色苷含量分别比对照提高了273.11%和138.45%, 总酚含量分别提高了9.75%和16.81%, 总类黄酮含量分别提

表4 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄果实大小的影响

Table 4 Effects of peat and microbial agents on fruit size of ‘Merlot’ grape

处理	果实纵径/mm	果实横径/mm	纵径/横径	果实百粒重/g
对照	13.69±0.84 ^c	13.93±0.76 ^c	0.98±0.03 ^a	147.74±5.80 ^c
草炭	14.34±0.92 ^b	14.83±0.91 ^b	0.97±0.03 ^a	163.69±3.51 ^b
菌剂	14.49±0.77 ^b	14.82±0.96 ^b	0.98±0.02 ^a	170.26±9.92 ^{ab}
草炭+菌剂	15.16±0.60 ^a	15.57±0.83 ^a	0.97±0.03 ^a	177.46±5.89 ^a

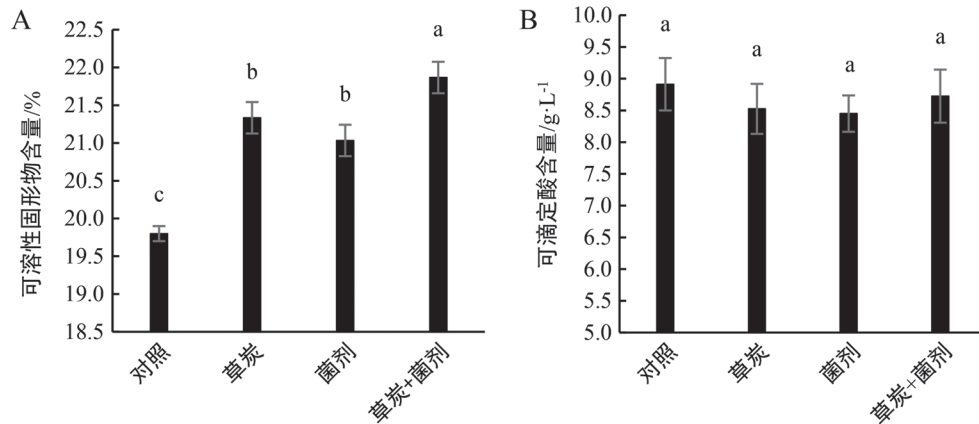


图3 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄果实糖酸含量的影响

Fig. 3 Effects of peat and microbial agents on sugar and acid contents of ‘Merlot’ grape fruit

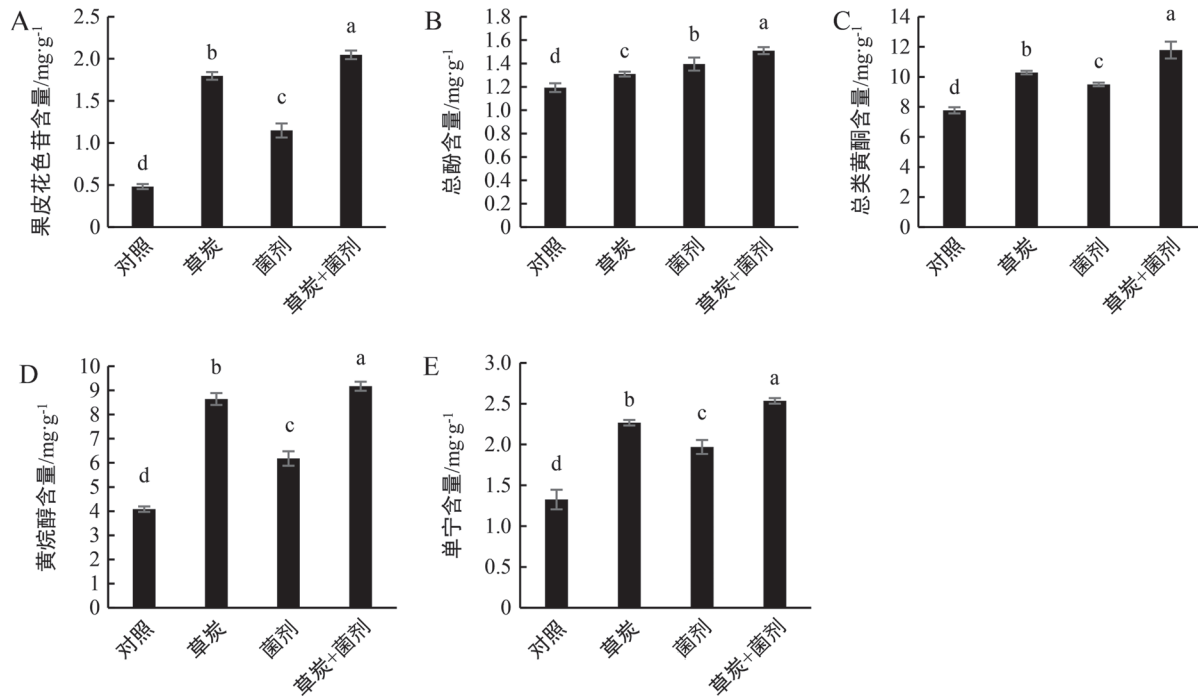


图4 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄果实次生代谢物的影响

Fig. 4 Effects of peat and microbial agents on secondary metabolites of ‘Merlot’ grape fruit

高了29.95%和21.57%，黄烷醇含量分别提高了117.17%和64.14%，单宁含量分别提高了68.15%和39.26%。

2.7 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄果实香气成分的影响

由表5可见，各处理均提高了果实香气成分含

表5 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄果实香气成分的影响

Table 5 Effects of peat and microbial agents on aroma components of ‘Merlot’ grape fruits

种类	化合物	果实中香气成分浓度/ng·g ⁻¹			
		对照	草炭	菌剂	草炭+菌剂
醛类	己醛	868.08±22.87 ^c	949.75±32.05 ^b	936.60±41.41 ^b	1 280.11±111.74 ^a
	反式-2-己烯醛	959.18±24.32 ^c	1 054.15±79.64 ^{bc}	1 231.11±233.47 ^{ab}	1 388.03±133.21 ^a
	反式-2,4-己二烯醛	2.59±0.75 ^b	3.40±20.91 ^{ab}	3.09±0.50 ^{ab}	4.46±0.95 ^a
	庚醛	0.43±0.04 ^b	0.51±0.02 ^b	0.45±0.11 ^b	0.72±0.09 ^a
	壬醛	3.20±0.40 ^b	3.03±0.39 ^b	6.50±0.88 ^a	6.74±0.47 ^a
	3-甲基丁醛		14.87±0.14 ^b		16.89±1.15 ^a
	反式-2-辛烯醛				0.66
	3-羟基丁醛		9.86		
	β-环柠檬醛	0.22±0.01 ^c	0.43±0.04 ^b	0.95±0.04 ^a	
	癸醛		0.79		
酯类	邻苯二甲酸二乙酯	2.14±0.02 ^b	2.19±0.30 ^b	4.27±0.08 ^a	4.12±0.58 ^a
	甲酸正癸酯			0.40±0.03	
	2,2,4-三甲基戊二醇异丁酯	1.45±0.34 ^a	0.97 ^b	1.17±0.30 ^a	
芳香族类	2-乙基呋喃	0.52±0.10 ^c	2.69±0.47 ^a	1.93±0.23 ^b	2.05±0.29 ^b
	苊	0.96 ^b	0.92±0.12 ^b	1.50±0.03 ^a	0.94±0.09 ^b
	甲苯	0.58 ^b	3.16±0.40 ^a	0.80±0.24 ^b	0.27 ^c
	2-乙烯基萘			0.85	
	联苯烯			0.95±0.18	
	蒽	0.79 ^a	0.62 ^b		
	茚			0.76±0.02	
	2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚	3.44±0.83 ^a	0.60±0.07 ^b		
萜烯类	柠檬烯		0.34±0.06 ^b	0.59±0.15 ^a	0.43±0.10 ^{ab}
	萜澄茄油烯				0.77
	蒎烯	0.62 ^b		0.89±0.18 ^a	0.58 ^b
	石竹烯		0.19		
	γ-衣兰油烯	0.24			
醇类	2-乙基己醇	0.75±0.09 ^c	1.30±0.33 ^{ab}	1.59±0.28 ^a	1.07±0.16 ^{bc}
	1-壬烯-3-醇				0.44±0.04
	环丙甲醇				4.53
	薄荷醇				0.12
	2-异丙基-5-甲基-1-庚醇			1.05±0.01	
	反式-2-壬烯-1-醇		0.16		
	2-辛酮	0.36 ^b		0.87 ^a	0.95 ^a
酮类	2-十一烷酮		1.25 ^a		0.23 ^b
其他	2,4,4-三甲基-1-己烯				1.24
	顺-莰蒲烯	0.94 ^b	0.59±0.08 ^c	1.86±0.26 ^a	
	正己基正辛醚	0.37			

空白表示未检测。

量,以复合处理下成分含量较高,醛类中己醛、反式-2-己烯醛和反式-2,4-己二烯醛的含量比对照显著提高了32.24%、44.73%和51.19%;酯类中的邻苯二甲酸二乙酯比对照显著提高了92.52%;芳香族中的2-乙基呋喃是对照的3.94倍。草炭和菌剂单独处理二者对果实香气成分含量没有显著差异。

2.8 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄土壤微生物多样性的影响

主坐标分析(PCoA)用来反映3组处理和对照土壤细菌的差异(图5)。PC1和PC2是最主要的特征值,分别可以解释细菌分析结果的59.96%和8.04%。3组处理和对照相比土壤微生物群落分布在不同的象限,说明处理改变了原来土壤的微生物群落。其中草炭单独处理和复合处理在细菌分析结果上分布距离较菌剂单独处理和对照相比近。

2.9 草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄土壤微生物群落组成的影响

从细菌群落门水平上,各处理的土壤微生物主要以放线菌门、变形细菌门、绿弯菌门、酸杆菌门、拟杆菌门、芽单胞菌门为主。其中,复合处理后变形菌门的物种丰富度显著升高,酸杆菌门丰富度降低,拟杆菌门和放线菌门在复合处理后比对照和菌剂处理组物种丰富度高,与草炭处理

组相比较没有较大差异;芽单胞杆菌门和绿弯菌门与草炭处理相比丰富度低,与其他两组相比较没有较大差异。

进一步在属水平上分析发现,草炭与微生物菌剂复合处理后细菌中假单胞菌相对丰度增加最为明显(图7),其他细菌属的相对丰度较低。

3 讨论

草炭是植物残体经过上万年的周期转化而成的天然有机物质(唐立松等2002),不仅包含有机质、腐殖酸及N、P、K、Ca等(王周琼和李述刚2001),而且具有质轻的特点,因此,有利于改善土壤容重,促进根系呼吸生长。本实验结果发现草炭施用提高葡萄根系活力并显著提高‘美乐’葡萄地下部根系活力,利于养分吸收,进而促进地上部新梢及叶片生长,加速叶绿素的合成与光合积累进而促进果实品质提高,显著提高葡萄果实可溶性固形物

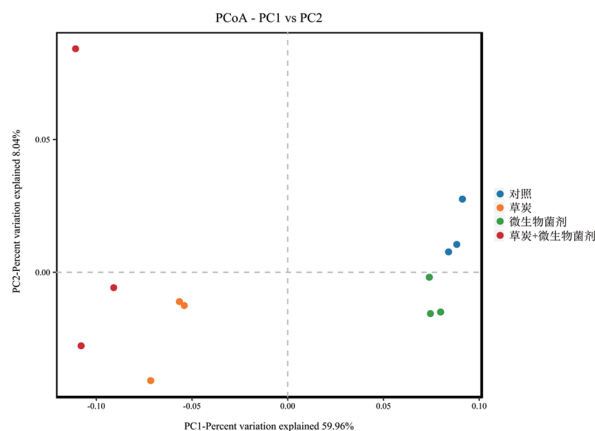


图5 草炭和微生物菌剂处理的主坐标分析
Fig. 5 Principal coordinates analysis (PCoA) of peat and microbial agents treatments

PC1和PC2分别为导致对照和不同处理间差异最大的2个特征值,百分数值体现各维度解释结果的百分比。

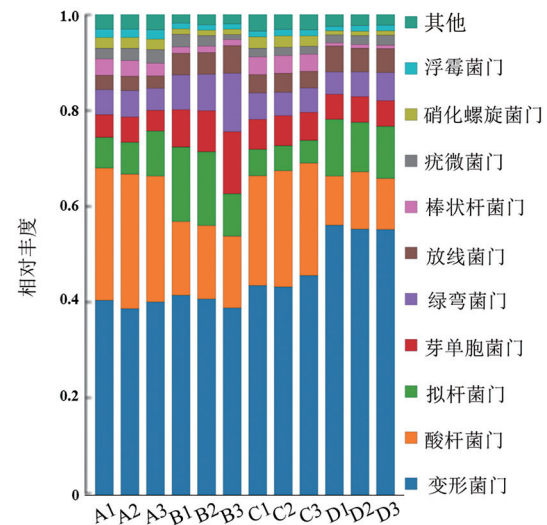


图6 在细菌门水平上草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄土壤细菌微生物物种丰富度的影响

Fig. 6 Effects of peat and microbial agents on microbial species richness in soil of ‘Merlot’ grape at bacterial gate level

A: 对照; B: 草炭; C: 菌剂; D: 草炭+菌剂。1种颜色代表1个物种,色块长度(柱状图)表示物种所占相对丰度比例;为使视图效果最佳,只显示丰度水平前10的物种,并将其他物种合并为其他在图中显示,每个处理3个重复。

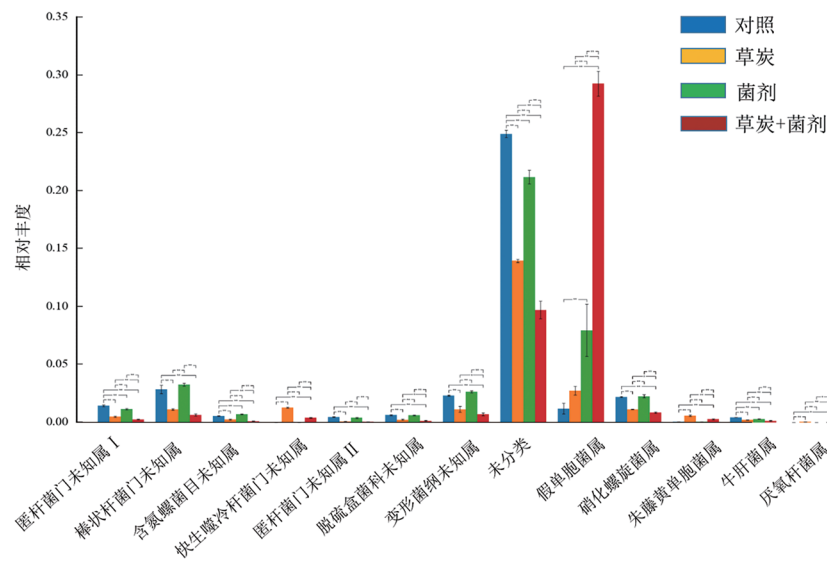


图7 在细菌属水平上草炭和微生物菌剂对‘美乐’葡萄土壤细菌微生物种丰富度的影响
Fig. 7 Effects of peat and microbial agents on microbial species richness in soil of ‘Merlot’ grape at bacterial genus level

和次生代谢物质花色苷、类黄酮、黄烷醇和单宁含量, 效果好于微生物菌剂。微生物在有机物分解、养分循环、维持植物正常生长发育、协助植物抵抗外界胁迫等方面起着至关重要的作用(李怡佳等2023), 但微生物使用的限制因素是其在土壤中的定殖问题。本实验中草药炭复合微生物菌剂对葡萄植株、根系生长及果实品质提高作用好于草炭和单施菌剂处理, 显著提高了叶片的气孔导度(G_s), 降低叶片的蒸腾速率(T_r), 促进了‘美乐’葡萄的光合效能, 加速了有机物的产生与积累, 提高果粒的大小、重量、纵横径, 促进了糖分的积累、果实着色、香气的合成和次生代谢。说明草炭促进了微生物定殖利于葡萄生长和果实品质提高, 主要原因在于, 一方面草炭中的有机质能够为土壤中微生物的生长提供充足的N、P、K以及其他微量元素(杜彭涛2019); 另一方面草炭改良的土壤透气保水能力强, 为微生物的定殖提供了良好的环境, 可显著提高土壤有益菌群数量, 提高土壤的有效养分含量, 从而促进植株的生长发育(毛丹丹2018; 刘宝勇等2012)。

草炭与菌剂复合处理后显著提高土壤中细菌变形菌门的相对丰度, 增加了有益菌假单胞菌属

数量, 假单胞菌属的定殖能够保护植物免受病原菌的侵害(严婉荣等2013), 提高植物抗逆性(倪万梅和王慧娟2021), 而一些微生物分泌的赤霉素等物质能够促进植株代谢(惠治兵2021; 杨天乐等2020), 有助于根系的养分吸收(庞宁2021), 本实验中草药炭与菌剂复合处理提高了变形菌门和拟杆菌门的相对丰度, 促进了氮循环的营养元素富集(蔺玉红等2022), 推测这些微生物在促进葡萄植株生长和果实品质提高中发挥重要作用。

综上所述, 与对照相比, 各处理均提高了葡萄的新梢和叶片的生长、叶片叶绿素含量、光合速率、根系活力以及果实的生长、可溶性固形物的积累与果实着色和香气的合成, 其中复合处理促进效果最显著。草炭单独处理在果实次生代谢方面作用优于微生物菌剂单独处理。3种处理均改善土壤的微生物状况, 其中复合处理芽孢杆菌和假单胞杆菌等有益微生物相对丰度最高, 显著改善土壤理化性质, 促进‘美乐’葡萄生长发育及果实品质。

参考文献(References)

- Cui LX, Liu JL (2019). Rational fertilization techniques in vineyards. *Fruit Grow Fri*, (2): 22 (in Chinese) [崔丽贤, 刘金利(2019). 葡萄园合理施肥技术. *果农之友*, (2): 22]

- Du PT (2019). Development of trichoderma peat bioorganic fertilizer (dissertation). Nanjing: Nanjing Agricultural University (in Chinese with English abstract) [杜彭涛(2019). 木霉草炭生物有机肥的研制(学位论文). 南京: 南京农业大学]
- Du YP, Wang M, Gao Z (2022). A liquid composite microbial fertilizer and its production method. CN202-111521557.6. 2022-03-18 (in Chinese) [杜远鹏, 王明, 高振(2022). 一种液态复合微生物菌肥及其制作方法. CN202111521557.6. 2022-03-18]
- Geng NN, Li XY, Gu D, et al (2013). Determination of tannic acid content in Gallnut by Folin-Denis Spectrophotometry. J Anhui Agric Sci, 41 (29): 11848–11850 (in Chinese with English abstract) [耿娜娜, 李学英, 顾丁等(2013). Folin-Denis分光光度法测定五倍子中单宁酸的含量. 安徽农业科学, 41 (29): 11848–11850]
- Guan XQ, Wang JF, Wang HZ, et al (2020). Effects of leaf removal on photosynthetic capacity of *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon. Sino-Over Grape Wine, (6): 11–15 (in Chinese with English abstract) [管雪强, 王俊芳, 王恒振等(2020). 摘叶对‘赤霞珠’葡萄光合能力的影响. 中外葡萄与葡萄酒, (6): 11–15]
- Hui ZB (2021). Research on development and application of microbial agents based on potato starch wastewater (dissertation). Yinchuan: Ningxia University (in Chinese with English abstract) [惠治兵(2021). 基于马铃薯淀粉废水微生物菌剂的研制与应用研究(学位论文). 银川: 宁夏大学]
- Jiang CL, Peng ZL, Lei T, et al (2006). The difference of soluble solid content between single fruit and different parts of citrus fruit. South China Fruits, 35 (2): 3–5 (in Chinese) [江才伦, 彭良志, 雷霆等(2006). 柑桔单果间和果实不同部位的可溶性固形物含量差异. 中国南方果树, 35 (2): 3–5]
- Kim HK, Cheon BS, Kim YH, et al (1999). Effects of naturally occurring flavonoids on nitric oxide production in the macrophage cell line RAW 264.7 and their structure-activity relationships. Biochem Pharmacol, 58 (5): 759–765
- Li JC, Liu J, Wu YJ, et al (2010). Effects of different fertilization techniques on soil and grape growth and fruit quality. Non-wood Forest Res, 28 (3): 34–39 (in Chinese with English abstract) [李敬川, 刘俊, 武亚敬等(2010). 不同施肥技术对土壤、葡萄生长和果实品质的影响. 经济林研究, 28 (3): 34–39]
- Li T, Zhang CH, Guo YW, et al (2019). Research progress and prospect of microbial fertilizer at domestic and abroad. Jiangsu Agric Sci, 47 (10): 37–41 (in Chinese with English abstract) [李涛, 张朝辉, 郭雅雯等(2020). 国内外微生物肥料研究进展及展望. 江苏农业科学, 47 (10): 37–41]
- Li WC, Sun P, Wang ZP (2012). Effects of different soil condition on physiology and fruit quality of wine grapes. J Fruit Sci, 29 (5): 837–842 (in Chinese with English abstract) [李文超, 孙盼, 王振平(2012). 不同土壤条件对酿酒葡萄生理及果实品质的影响. 果树学报, 29 (5): 837–842]
- Li YJ, Ma JW, Li YQ, et al (2023). Research of soil microbial community to global climate change: a review. Microbio China, 50 (4): 1700–1719 (in Chinese with English abstract) [李怡佳, 马俊伟, 李玉倩等(2023). 土壤微生物群落对全球气候变化响应的研究进展. 微生物学通报 50 (4): 1700–1719]
- Liao XR, He PC, Zhu XC (1996). Effect of salt on photosynthetic pigment content of grape. Acta Horti Sin, (3): 94–96 (in Chinese with English abstract) [廖祥儒, 贺普超, 朱新产(1996). 盐渍对葡萄光合色素含量的影响. 园艺学报, (3): 94–96]
- Lin YH, Ma JW, Zhang XY (2022). Effects of peat or vermicompost mixed with biochar on the physical and chemical properties of the substrate and composition and metabolism of bacterial communities. J China Agric Univ, 27 (7): 84–94 (in Chinese with English abstract) [蔺玉红, 马嘉伟, 张雪艳(2022). 蚯蚓粪、草炭与生物炭混合对基质理化性质和细菌群落组成、代谢的影响. 中国农业大学学报, 27 (7): 84–94]
- Liu BY, Ding HY, Liu SY (2012). Research on effect of peat application to study soil improvement in Keerqin. J Shanxi Agric Sci, 40 (2): 134–135, 145 (in Chinese with English abstract) [刘宝勇, 丁宏宇, 刘姗姗(2012). 施用草炭对科尔沁沙地土壤的改良效果. 山西农业科学, 40 (2): 134–135, 145]
- Liu J, Chao WJ, Qi GM, et al (2020). Booming development of Chinese grape industry. Sino-Over Grape Wine, (1): 1–8 (in Chinese with English abstract) [刘俊, 晁无疾, 亓桂梅等(2020). 蓬勃发展的中国葡萄产业. 中外葡萄与葡萄酒, (1): 1–8]
- Liu JF (2018). Functions and skills of rational fertilization of crops. Rur Eco Sci, 29 (12): 26–13 (in Chinese) [刘吉峰(2018). 农作物合理施肥的作用和技巧. 农村经济与科技, 29 (12): 26–13]
- Liu ML, Yu M, Wang WX, et al (2021). The aroma difference of ‘Muscat’ grape in Penglai, Pingdu and Dongying of Shandong Province. China Fruits, (2): 13–19 (in Chinese with English abstract) [刘孟龙, 于梦, 王文霞等(2021). 山东蓬莱、平度及东营‘玫瑰香’葡萄香气比较. 中国果树, (2): 13–19]
- Mao DD (2018). Effect of peat on the growth, yield and quality of flue-cured tobacco and the planting soil in Fengdu (dissertation). Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University (in Chinese with English abstract) [毛丹丹(2018). 草炭对丰都植烟土壤和烟株生长及产质量的影响]

- 影响(学位论文). 福州: 福建农林大学]
- Ni WM, Wang HJ (2021). Study on the fertilization benefit of potato microbial agents. *Agric Develop Equip*, (8): 148–149 (in Chinese) [倪万梅, 王慧娟(2021). 马铃薯微生物菌剂施肥效益研究. *农业开发与装备*, (8): 148–149]
- Orak HH (2007). Total antioxidant activities, phenolics, anthocyanins, polyphenoloxidase activities of selected red grape cultivars and their correlations. *Sci Hortic*, 111 (3): 235–241
- Pang N (2021). Study on the effect of compound microbial agents promoting improvement of saline-alkali land by rice (dissertation). Changchun: Jilin Agricultural University (in Chinese with English abstract) [庞宁(2021). 复合微生物菌剂促进水稻改良盐碱地的研究(学位论文). 长春: 吉林农业大学]
- Shao SS, Wang XY, Cheng JN, et al (2019). Development status and trend of fertilizer trencher at home and abroad. *J Agric Mech Res*, 41 (5): 256–261, 268 (in Chinese with English abstract) [邵书山, 王晓燕, 程俊男等(2019). 果园施肥开沟机的发展现状和趋势. *农机化研究*, 41 (5): 256–261, 268]
- Shi PL, Ma XL, Wang J, et al (2016). Research on effects of formulated fertilization on soil physicochemical properties and fruit quality of Kyoho grape. *Sino-Over Grape Wine*, (5): 21–24 (in Chinese with English abstract) [施平丽, 马晓丽, 王进等(2016). 测土配方施肥对巨峰葡萄园土壤理化性质和果实品质的影响. *中外葡萄与葡萄酒*, (5): 21–24]
- Song CZ, Liu MY, Meng JF, et al (2015). Promoting effect of foliage sprayed zinc sulfate on accumulation of sugar and phenolics in berries of *Vitis vinifera* cv. Merlot growing on zinc deficient soil. *Molecules*, 20 (2): 2536–2554
- Song K (2020). Effects of formulated fertilization on growth and fruit quality and soil physical and chemical properties of Muscat Hamburg grape (dissertation). Tianjin: Tianjin Agricultural University (in Chinese with English abstract) [宋科(2020). 配方施肥对玫瑰香葡萄生长和果实品质及土壤理化性质的影响(学位论文). 天津: 天津农学院]
- Tan M (2018). Probe into the deficiency of traditional agricultural fertilization and the development direction of modern agricultural fertilization. *Seed Sci Technol*, 36 (10): 8–11 (in Chinese) [谭鸣(2018). 探析传统农业施肥的不足及现代农业施肥的发展方向. *种子科技*, 36 (10): 8–11]
- Tang LS, Wang ZQ, Zhang JB (2002). A preliminary study on the water conservation mechanism by peat treatment. *Arid Zone Res*, (2): 47–51 (in Chinese with English abstract) [唐立松, 王周琼, 张佳宝(2002). 草炭保水机制的初步研究. *干旱区研究*, (2): 47–51]
- Wang LZ, Shi YJ, Song FH, et al (2018). Effects of different fertilization treatments on the diurnal variation of photosynthesis and yield of hybrid of hazelnut. *Xinjiang Agric Sci*, 55 (8): 1495–1504 (in Chinese with English abstract) [王灵哲, 史彦江, 宋锋惠等(2018). 不同施肥处理对平欧杂种榛光合日变化及产量的影响. *新疆农业科学*, 55 (8): 1495–1504]
- Wang R, Ma L, Li L, et al (2017). Influence of different fertilization treatments on soil fertility and wine grapes composition. *North Hortic*, (18): 121–126 (in Chinese with English abstract) [王锐, 马蕾, 李磊等(2017). 不同施肥处理对土壤肥力及酿酒葡萄品质的影响. *北方园艺*, (18): 121–126]
- Wang ZQ, Li SG (2001). Sustainable development strategy for agriculture in desert alkaline soil regions. *Chin J Soil Sci*, (S1): 147–150 (in Chinese) [王周琼, 李述刚(2001). 荒漠碱化土区域农业持续发展战略. *土壤通报*, (S1): 147–150]
- Waterhouse AL, Ignelzi S, Shirley JR (2000). A comparison of methods for quantifying oligomeric proanthocyanidins from grape seed extracts. *Am J Enol Vitic*, 51 (4): 383–389
- Xu ZS, Yang YM, Chen XJ, et al (2018). The effects of microbial fertilizer and mixed-sowing on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Fert Sci China*, 4 (6): 77–83 (in Chinese with English abstract) [徐忠山, 杨彦明, 陈晓晶等(2018). 菌肥对混播牧草土壤酶活性及微生物的影响. *中国土壤与肥料*, 4 (6): 77–83]
- Yan WR, Zhao YC, Xiao TB, et al (2013). Application of biocontrol bacteria in plant disease control. *Genom Appl Biol*, 32 (4): 533–539 (in Chinese with English abstract) [严婉荣, 赵廷昌, 肖彤斌等(2013). 生防细菌在植物病害防治中的应用. *基因组学与应用生物学*, 32 (4): 533–539]
- Yang TL, Wu FF, Liu T, et al (2020). Research progress on the role of crop stomata and its influencing factors. *North Hortic*, (3): 143–148 (in Chinese with English abstract) [杨天乐, 吴峰峰, 刘涛等(2020). 作物气孔的作用及其影响因素的研究进展. *北方园艺*, (3): 143–148]
- Zheng XN (2019). Effects of nitrogen, phosphorus and potassium combined fertilization on fruit quality and yield of facility grape (dissertation). Shihezi, Xinjiang: Shihezi University (in Chinese with English abstract) [郑小能(2019). 氮、磷、钾配合施肥对设施葡萄果实品质和产量的影响(学位论文). 新疆石河子: 石河子大学]