



果园生草及灌水对油橄榄果实产量及品质的影响

焦润安^{1,2}, 焦健³, 李朝周^{1,2}, 闫士朋^{1,2}

(1. 甘肃农业大学 生命科学技术学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省作物遗传改良和种质创新重点实验室, 兰州 730070; 3. 甘肃农业大学 林学院, 兰州 730070)

摘要 在白龙江干热河谷地带的武都大堡油橄榄园设置3个生草类型(毛苕子、自然生草和清耕)和2个水分(补灌和不补灌)交互的6个处理,研究果园生草及灌水对油橄榄产量及品质指标的影响,旨在为揭示生草增产提质的机制提供依据。结果表明,生草与灌水处理对油橄榄单株产量、果实游离脂肪酸质量分数、总多酚质量分数、果肉生长的交互效应达极显著水平,对果实干基含油率、单果质量的交互效应达显著水平;在不补灌条件下,间作毛苕子处理较清耕增加油橄榄单株产量8.79%,且该处理下果实横径、纵径和果实体积均显著高于自然生草;此外,生草处理较清耕提高油橄榄果实含油率。在补灌条件下,间作毛苕子和自然生草均较清耕提高单株产量,增幅分别为10.56%和5.79%;自然生草条件能显著提高果实横径、纵径、果实体积和单果质量,自然生草处理果实游离脂肪酸、总多酚、还原糖质量分数显著高于间作毛苕子处理,间作毛苕子处理的果实横径、纵径和体积均显著高于清耕。在不补灌和补灌条件下,间作毛苕子的油橄榄果实单果质量均显著高于自然生草和清耕。根据果实品质综合指数的大小,不同生草及灌水处理油橄榄果实品质高低的顺序为间作毛苕子+补灌>自然生草+补灌>间作毛苕子+不补灌>自然生草+不补灌>清耕+补灌>清耕+不补灌。综上所述,在补灌条件下,间作毛苕子有助于提高油橄榄果实品质。

关键词 油橄榄;生草;形态指标;营养品质;补充灌溉

中图分类号 S565.7

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2018)08-1161-12

油橄榄 (*Olea europaea* L.) 是木樨科 (Oleaceae) 木樨榄属 (*Olea*) 常绿乔木, 是世界著名的四大木本油料兼果用经济树种之一。油橄榄果中含有丰富的油脂、氨基酸、维生素、甾醇、多酚、角鲨烯等活性物质, 具有很高的营养价值, 有抗菌、增强免疫力和抗癌等功效^[1], “橄榄油”是新鲜的油橄榄果实在常温下经过纯物理方法提取的果肉油。橄榄油中油酸含量(C18:1)约占亚麻酸、亚油酸和油酸三者总量的90%^[2]。与其他油料植物相比, 油橄榄果中不仅油脂含量丰富、单不饱和脂肪酸(主要为油酸)含量高, 而且 ω -3脂肪酸和 ω -6脂肪酸组成比率与人乳极其相似为1:4, 极易被人体吸收^[3-4]。

白龙江低山河谷地带是中国油橄榄一级适生区之一, 其橄榄油产量占中国总产量的七成以上。然而陇南地处秦岭山地, 山地占总面积的90%以

上^[5], 大部分油橄榄园建在半山干旱地区, 土壤瘠薄^[6], 白龙江、白水江流域低海拔区干热河谷干旱年频率大于60.0%^[7], 当前武都区油橄榄生产普遍低产, 其主要原因除气候因素外, 可能还与粗放果园土壤管理模式导致土壤肥力低下有关^[7]。果园生草也称作“果园生草覆盖制”, 草地分人工生草和自然生草两种形式, 其中自然生草是指在果园自然长出杂草后, 有选择的去除一些田间恶性草种, 保留适宜的草种^[8]。人工种草是指在果园全园行间(或株间)长期种植已选出的适宜草种作为土壤覆盖, 根据果树和草的长势决定刈割期, 刈割的青草覆于树盘。与传统的清耕制果园相比, 覆盖于树盘下的青草通过降解、转化可形成腐殖质, 提高土壤中有机质及有效养分含量, 枯死的根系可提高土壤孔隙度、降低土壤体积质量, 改善土壤的透气和透水性能, 通过减少地表径流和无效

收稿日期:2018-01-12 修回日期:2018-03-08

基金项目:国家自然科学基金(31660223);甘肃省农牧厅项目(GNSW-2016-28);秦巴山片区(甘肃)精准扶贫富民产业培育及示范项目。

第一作者:焦润安,男,硕士研究生,研究方向为植物逆境生理。E-mail:jiaora0328@163.com

通信作者:焦健,女,教授,研究方向为植物生态学。E-mail:jiaoj@gsau.edu.cn

蒸发损失的方式达到蓄水保墒、提高果园天然降水利用率的效果,最终达到高产目标^[8]。

有研究表明,生草可明显提高柿^[9]、梨^[10]、栗^[11]、‘巨峰’葡萄^[12]的产量;还可有效改善‘赤霞珠’葡萄^[13-14]、‘巨峰’葡萄^[9]、‘粉红女士’苹果^[15]和梨^[16]的品质,这可能与生草果园的土壤肥力和果园生态环境均优于清耕区,利于果实的生长发育有关。

当前针对于油橄榄果实品质的研究多集中于品种筛选和采收期选择上,生草对油橄榄产量和品质的研究目前较少;针对白龙江低山河谷地带油橄榄园土壤管理模式粗放和果园地处干旱地区两个问题,本研究采用果园生草制和补充灌溉的方式作用于油橄榄园,测定不同处理下果实的产量、形态指标和营养品质,旨在探索生草和补灌对油橄榄果实产量和品质的影响。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验在甘肃省陇南市武都区大堡油橄榄试验园进行,该试验园位于 104° 53' 32. 8" E, 33° 24' 03. 6" N,海拔约 1 048 m。年平均气温 15.3 ℃,极端最高气温 38.2 ℃,极端最低气温 -7 ℃;年平均降水量 468 mm,降水主要集中在 6-9 月,年均相对湿度 56.6%;年日照时数 1 871 h,无霜期 270 d 以上。土壤为沙壤土,排水良好。

供试油橄榄(*Olea europaea* L.)为 7 a 生‘豆果’(Arbequina,原产地西班牙,含油率 20%~22%),株高 2.06~3.25 m,基径 27.61~29.60 cm,东西冠幅 1.78~2.67 m,南北冠幅 1.73~2.88 m;行株距 5 m×4 m。

1.2 试验设计

2014 年 4 月初于油橄榄园的油橄榄行间撒播毛苕子(*Vicia villosa* Roth),播量为 60 kg/hm²,同时确定供试自然生草(主要草种有刺儿菜、早熟禾、苦苦菜等)和清耕(作为对照组)的果园,因 5 月下旬至 6 月中旬为陇南油橄榄的坐果期,对水肥需求较高,刈割草可抑制草对水肥的吸收,毛苕子是豆科野豌豆属的 1 a 生或越年生草本植物,是春性和冬性的中间类型,偏向冬性,抗寒能力强,5 月可收一茬鲜草^[17],故选择每年 5 月底对间作毛苕子和自然生草的油橄榄园进行刈割(刈割高度 25 cm),割下的草覆盖于油橄榄树盘,刈割余下的草继续完成生命周期以供结实,产

生的种子第 2 年自然繁育,不需重复播种,不使用除草剂。清耕则采用常规的中耕除草措施。

选择间作毛苕子、自然生草和清耕的油橄榄园,并设置补充灌水与不灌水 2 种水分处理,于 2017-04-03、5 月 5 日和 6 月 25 日进行补灌溉,每次每株浇灌 0.3 m³。各处理设 3 个重复,共 18 个小区,小区面积约为 120 m²(12 m×10 m),每个小区 9 株油橄榄树;每个小区选择生长状况一致的 3 株油橄榄作为试验树。于 2017-11-25 采摘果实,测单株产量,并在处理油橄榄植株的 4 个方向分别采集油橄榄果实用于品质的测定。

1.3 测定项目与方法

油橄榄果实单果质量测定:每小区采摘来自 3 株试验树的 100 颗油橄榄鲜果,采用电子天平测定,单果质量=果实总质量/100;电子天平称 100 颗油橄榄果核,核质量=果核总质量/100;果实横、纵径及果核横、纵径采用游标卡尺测定;果形指数=果实纵径/果实横径;核形指数=果核横径/果核纵径;果肉率=果实去核质量/果质量×100%;果肉果核比率=(单果质量-果核质量)/果核质量;采摘每棵树的全部果实进行单株产量统计;果实和果核体积计算,由于油橄榄果实和果核均呈球形,同时将油橄榄果实和果核的纵切面均视为规则的圆面,因此采用椭球体积计算方法进行估算,即果实和果核体积=(4π×横径²×纵径)/3。

在采摘时将同株油橄榄树的果实置于同一自封袋,再将同一处理的自封袋放置在一起,即按照处理混合油橄榄果实,按照标记的试验树的编号进行 3 次重复。测定油橄榄果实营养品质。含水率测定:称取洗净的油橄榄鲜果 50 g,于烘箱中 105 ℃烘至恒量,计算含水率。总多酚质量分数测定采用福林酚比色法,以没食子酸做标准曲线。还原糖质量分数测定采用 DNS 显色法,以葡萄糖做标准曲线^[18]。粗脂肪质量分数测定采用索氏提取法,参考王贵德^[19]的实验操作;游离脂肪酸质量分数测定采用 KOH 溶液滴定法^[20]。

1.4 数据处理

利用双因素方差(two-way ANOVA)分析各处理对油橄榄果实品质指标(产量、形态指标和营养品质)的效应,用单因素方差分析对各处理的以上指标进行分析,采用 Duncan's 法进行数据差异的多重比较;统计分析利用 SPSS 19.0 完成,用 Excel 2013 软件绘图。

在主成分分析中,根据累积贡献率确定主成分的个数,通过主成分中各指标负荷量(F)与特征根(Y)计算各品质指标对油橄榄品质的作用大小,确定权重。

$$W_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^m (F_{ij} \times Y_j)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (F_{ij} \times Y_j)} \quad (1)$$

公式(1)中, W_{ij} 是第 i 个指标在油橄榄品质评价中的权重, F_{ij} 是第 i 个指标在第 j 个主成分上的负荷量, Y_j 是第 j 个主成分的特征根, m 是提取出的主成分的个数, n 是需要降维的原变量(指标)的个数。

由于各指标量纲并未统一,各指标的变化又具有连续性,采用隶属函数法进行数据的转化,其中,与品质呈正相关的单果质量、果肉率、含油率、游离脂肪酸质量分数、还原糖及总多酚用式(2)计算。

$$U(X_{ik}) = (X_{ik} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

与品质呈负相关的含水率采用反隶属函数(3)计算。

$$U(X_{ik}) = 1 - (X_{ik} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (3)$$

式(2)、(3)中, $U(X_{ik})$ 为第 i 个处理第 k 项指标的隶属度,且 $U(X_{ik}) \in [0, 1]$; X_{ik} 表示第 i 个处理第 k 项指标测定值; X_{\max} 、 X_{\min} 为所有处理中第 k 项指标的最大值和最小值。

根据各指标隶属度值与权重,通过加乘法则对各指标进行合成,得到各处理油橄榄的品质综合指数。

$$I = \sum [W_i \times R(X_i)] \quad (4)$$

式(4)中, I 为油橄榄品质评价综合指数, W_i 、 $R(X_i)$ 分别为 i 指标的权重值和隶属函数值。

2 结果与分析

2.1 生草与灌水对油橄榄果实品质影响的双因素方差分析

双因素方差分析(表 1)结果表明,生草处理极显著地影响油橄榄单株产量、果实横径、果实纵径、果实体积、单果质量、果形指数、果肉果核比、果核质量、果肉率、果实含水率、游离脂肪酸质量分数和总多酚质量分数,对核横径、核纵径、果核体积及果实还原糖质量分数影响显著,对核形指数和干基含油率影响不显著。灌水处理极显著地影响油橄榄单株产量、果实横径和果形指数,对干基含油率及果实体积影响显著,对含水率、游离脂肪酸质量分数、还原糖质量分数、总多酚质量分数、果实纵径、单果质量、果肉果核比率、核横径、核纵径、核质量、核体积、核形指数及果肉率影响均不显著。

生草与灌水处理对油橄榄单株产量、果实游离脂肪酸质量分数、总多酚质量分数、果实横径、果实纵径、果实体积及果形指数的交互效应均达极显著水平,对果实干基含油率及单果质量的交互效应达显著水平,对果实含水率、游离脂肪酸质量分数、还原糖质量分数、果肉果核比率、核横径、核纵径、核质量、核体积、核形指数及果肉率均无交互效应(表 1)。

表 1 生草与灌水处理对油橄榄果实品质影响的双因素方差分析

Table 1 Two-way ANOVA analysis for the effects of sod-culture and supplementary irrigation treatments on the fruit yield and quality of olives

处理 Treatment	含水率 Moisture in fresh fruit	干基含油率 Oil content in dry fruit	游离脂肪酸质量分数 Mass fraction of free fatty acid	还原糖质量分数 Mass fraction of reducing sugar	总多酚质量分数 Mass fraction of total polyphenols	单株产量 Fruit yield
生草 Sod-culture (S)	14.561**	1.760	38.591**	5.216*	13.565**	16.656**
灌水 Supplementary irrigation(W)	0.713	11.666*	1.254	3.652	1.986	24.938**
S×W	7.457*	10.898*	21.267**	3.058	23.244**	16.342**
处理 Treatment	横径 Fruit transect diameter	纵径 Fruit longitudinal diameter	单果质量 Single fruit mass	果实体积 Fruit volume	果形指数 Fruit shape index	果肉果核比率 Flesh-stone ratio
生草 Sod-culture (S)	34.745**	12.197**	44.990**	27.494**	6.895**	7.113**
灌水 Supplementary irrigation(W)	8.691**	0.008	1.733	4.123*	15.718**	1.623
S×W	6.022**	9.887**	3.259*	7.159**	8.294**	0.541
处理 Treatment	核横径 Stone transect diameter	核纵径 Stone longitudinal diameter	核质量 Stone mass	核体积 Stone volume	核形指数 Stone shape index	果肉率 Rate of fruit pulp
生草 Sod-culture (S)	5.251*	4.164*	6.025**	5.553*	2.083	7.910**
灌水 Supplementary irrigation(W)	0.987	2.258	1.056	1.556	1.402	1.977
S×W	0.286	1.022	0.494	0.460	1.446	0.466

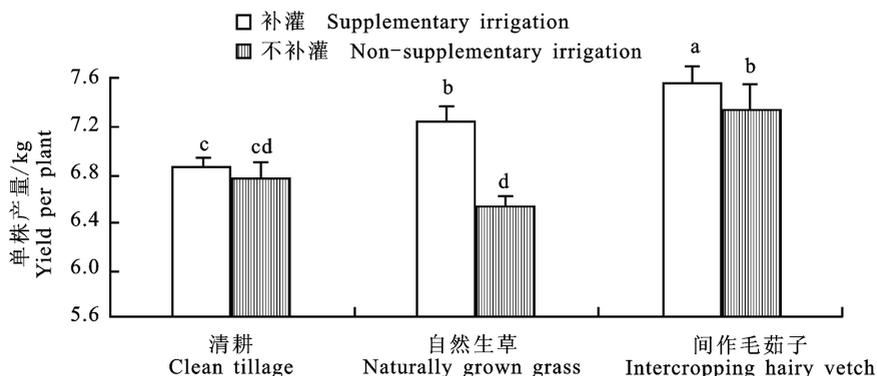
注:表中数值为 F 检验值,*表示 $P < 0.05$,**表示 $P < 0.01$ 。

Note: Values are results of F test, * show $P < 0.05$, ** show $P < 0.01$.

2.2 生草与灌水对油橄榄产量的影响

由图 1 可知,在不补灌条件下,间作毛苕子较清耕增加油橄榄单株产量 8.79%,但自然生草未能增产,在补灌条件下,间作毛苕子和自然生草均较清耕显著提高单株产量,增幅分别为10.56%和 5.79%。比较 3 种条件下补灌与不补灌条件对油

橄榄单株产量的影响可以看出,清耕条件下补灌较不补灌增产 1.38%,自然生草条件下补灌较不补灌增产 11.09%,间作毛苕子条件下补灌较不补灌增产 3.04%。即在自然生草条件下补灌对单株果质量影响最大。



不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 差异显著 Different lowercase letters mean significant difference at $P < 0.05$

图 1 生草与灌水条件下油橄榄单株产量

Fig. 1 Yield per plant of olives under sod-culture and supplementary irrigation

2.3 生草与灌水对油橄榄果实形态的影响

由表 2 可知,油橄榄果实横径在自然生草条件下补灌与不补灌间差异显著,补灌较不补灌高 7.56%,在间作毛苕子和清耕条件下补灌与不补灌间未表现出显著差异;在不补灌条件下,间作毛苕子的果实横径显著高于自然生草和清耕,较自然生草高 8.20%,较清耕高 10.25%;在补灌条件下,生草处理的果实横径显著高于清耕,间作毛苕子较清耕高 9.70%,自然生草较清耕高 8.81%。

油橄榄果实纵径在自然生草和清耕条件的补灌与不补灌间均差异显著,自然生草条件补灌较不补灌高 6.03%,清耕条件补灌较不补灌低 5.69%,在间作毛苕子条件下补灌与不补灌间未表现出显著差异;在不补灌条件下,间作毛苕子的果实纵径显著高于自然生草,较自然生草高 5.71%,与清耕无显著差异;在补灌条件下,间作毛苕子和自然生草处理的果实纵径显著高于清耕,间作毛苕子较清耕高 9.85%,自然生草较清耕高 10.10%。

油橄榄果实果形指数在清耕条件的补灌与不补灌间差异显著,不补灌较补灌高 6.40%,在生草条件下补灌与不补灌间则差异不显著;在不补灌条件下,生草处理的果实果形指数显著低于清耕,间作毛苕子较清耕低 6.15%,自然生草较清耕低 3.90%;在补灌条件下,3 种处理间无显著

差异。

油橄榄的果实体积在自然生草条件补灌与不补灌间差异显著,补灌较不补灌提高 22.35%,在间作毛苕子和清耕条件下补灌与不补灌间未表现出显著差异;在不补灌条件下果实体积表现为间作毛苕子处理显著高于自然生草和清耕,间作毛苕子处理较自然生草高 23.54%,较清耕高 25.74%;在补灌条件下,果实体积表现为间作毛苕子和自然生草处理显著高于清耕,间作毛苕子处理较清耕高 32.22%,自然生草较清耕高 30.28%。

油橄榄果实单果质量在自然生草条件补灌与不补灌差异显著,补灌较不补灌高 14.64%,在间作毛苕子和清耕条件下补灌与不补灌间未表现出显著差异;在不补灌和补灌条件下,间作毛苕子的果实单果质量均显著高于自然生草和清耕,不补灌下较自然生草高 27.95%,较清耕高 34.26%;在补灌条件下,较自然生草高 14.56%,较清耕高 45.81%。

油橄榄果实核横径、核纵径、核形指数、核体积及核质量在间作毛苕子、自然生草和清耕条件的补灌与不补灌间均未表现出显著差异。在不补灌条件下,油橄榄果实核横径、核纵径、核形指数、核质量在间作毛苕子、自然生草和清耕间未表现出显著差异,间作毛苕子处理的核体积显著高于清耕。在补灌条件下,间作毛苕子处理的果实核

横径显著高于自然生草,核纵径显著高于清耕,清耕处理的果实核形指数显著高于自然生草,间作毛苕子处理的核体积和核质量显著高于自然生草和清耕。

油橄榄果实果核比率和果肉率在间作毛苕子、自然生草和清耕条件下的补灌与不补灌之间均未表现出显著差异。在不补灌条件下,油橄榄果实果肉果核比率在间作毛苕子、自然生草和清

耕间未表现出显著差异;在补灌条件下,间作自然生草处理的油橄榄果实果肉果核比率显著高于清耕处理,较清耕高 40.61%。在不补灌条件下,生草处理的油橄榄果实果肉率与清耕间差异显著,间作毛苕子较清耕高 5.36%;自然生草处理较清耕高 4.98%;在补灌条件下,自然生草处理的油橄榄果实果肉率显著高于清耕处理,较清耕高 6.29%。

表 2 生草与灌水对油橄榄果实形态指标的影响($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Effects of sod-culture and supplementary irrigation on the fruit morphology index of olives

形态指标 Morphology index	间作毛苕子 Intercropping hairy vetch		自然生草 Naturally grown grass		清耕 Clean tillage	
	不补灌 Non-supplementary irrigation	补灌 Supplementary irrigation	不补灌 Non-supplementary irrigation	补灌 Supplementary irrigation	不补灌 Non-supplementary irrigation	补灌 Supplementary irrigation
	横径/mm Fruit transect diameter	13.753±0.439 a	13.784±0.442 a	12.711±0.557 b	13.672±0.446 a	12.474±0.531 b
纵径/mm Fruit longitudinal diameter	15.543±0.631 a	15.553±0.631 a	14.703±0.677 bc	15.589±0.582 a	15.013±0.567 ab	14.159±0.620 c
单果质量/g Single fruit mass	1.932±0.221 a	1.983±0.169 a	1.510±0.228 c	1.731±0.177 b	1.439±0.165 c	1.360±0.143 c
果实体积/mm ³ Fruit volume	1 543.923± 158.82 a	1 551.857± 159.168 a	1 249.775± 165.748 b	1 529.100± 139.123 a	1 227.844± 140.252 b	1 173.701± 121.444 b
果形指数 Fruit shape index	1.130±0.022 b	1.128±0.023 b	1.157±0.031 b	1.141±0.038 b	1.204±0.033 a	1.127±0.036 b
果肉果核比率 Flesh-stone ratio	4.821±0.894 abc	4.923±0.859 ab	4.737±0.903 abc	5.547±0.941 a	3.712±0.694 c	3.945±0.622 bc
核横径/mm Stone transect diameter	6.734±0.261 a	6.738±0.263 a	6.47±0.251 ab	6.313±0.336 b	6.538±0.152 ab	6.422±0.215 ab
核纵径/mm Stone longitudinal diameter	10.972±0.707 a	10.972±0.71 a	10.564±0.391 ab	10.347±0.836 ab	10.612±0.415 ab	9.896±0.195 b
核质量/g Stone mass	0.334±0.046 a	0.335±0.044 a	0.291±0.024 ab	0.281±0.043 b	0.303±0.035 ab	0.272±0.016 b
核体积/mm ³ Stone volume	261.773±36.099 a	262.104±36.393 a	232.261±24.979 ab	217.275±37.468 b	237.721±16.09 ab	213.774±12.628 b
核形指数 Stone shape index	0.615±0.021 ab	0.615±0.021 ab	0.613±0.014 b	0.612±0.036 b	0.617±0.024 ab	0.649±0.030 a
果肉率/% Rate of fruit pulp	82.474±2.830 ab	82.823±2.546 ab	82.216±2.814 ab	84.493±1.862 a	78.344±3.713 c	79.538±2.405 bc

注:同行不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters in the same rows mean significant difference at $P < 0.05$. The same below.

2.4 生草与灌水对油橄榄果实营养品质的影响

由表 3 可知,油橄榄果实含油率在清耕条件下的补灌与不补灌间差异显著,补灌是不补灌 2.12 倍,在间作毛苕子和自然生草条件下则未出现显著差异;在不补灌条件下,生草处理的油橄榄果实含油率显著高于清耕,间作毛苕子较清耕高 72.09%,自然生草较清耕高 83.08%;在补灌条件下,间作毛苕子、自然生草和清耕处理间未表现出显著差异。

油橄榄果实游离脂肪酸含量在自然生草和清耕条件下的补灌与不补灌间差异显著,自然生草条件下补灌较不补灌高 1.48 倍,清耕条件下补灌较不补灌低 35.80%,在间作毛苕子条件下差异不显著;在不补灌条件下,清耕处理的油橄榄果实游离脂肪酸质量分数显著高于生草,较间作毛苕子提高 3.51 倍,较自然生草高 1.65 倍;在补灌条

件下,自然生草处理的果实游离脂肪酸质量分数显著高于间作毛苕子和清耕处理,较间作毛苕子高 3.31 倍,较清耕高 45.55%。

油橄榄果实总多酚质量分数在自然生草和清耕条件下的补灌与不补灌差异显著,自然生草条件下不补灌较补灌低 20.97%,清耕条件下补灌较不补灌低 29.71%,在间作毛苕子条件下则未表现出显著差异;在不补灌条件下,自然生草处理的油橄榄果实总多酚质量分数显著低于清耕;在补灌条件下,自然生草处理的果实总多酚质量分数显著高于间作毛苕子。以清耕不补灌处理的总多酚质量分数最高。

油橄榄果实还原糖质量分数在自然生草条件下补灌显著高于不补灌,间作毛苕子和清耕条件下则未表现出显著差异;在不补灌条件下,间作毛苕子、自然生草、清耕处理间的油橄榄果实还原糖

质量分数未表现出显著差异;在补灌条件下,自然生草处理的果实还原糖质量分数显著高于间作毛苕子和清耕。以自然生草补灌处理的还原糖质量

分数最高。在补灌条件下,果实含水率在间作毛苕子、自然生草和清耕处理间未表现出差异显著性。

表 3 生草与灌水对油橄榄营养品质指标的影响

Table 3 Effects of sod-culture and supplementary irrigation on the nutritional quality indicators of olives

营养指标 Nutritional index	间作毛苕子 Intercropping hairy vetch		自然生草 Naturally grown grass		清耕 Clean tillage	
	不补灌 Non-supplementary irrigation	补灌 Supplementary irrigation	不补灌 Non-supplementary irrigation	补灌 Supplementary irrigation	不补灌 Non-supplementary irrigation	补灌 Supplementary irrigation
含水率/% Moisture in fresh fruit	69.284±1.14 a	65.379±1.15 b	64.384±2.882 bc	63.441±1.399 bc	61.207±1.803 c	64.104±1.289 bc
干基含油率/% Oil content in dry fruit	53.725±0.401 a	57.441±1.587 a	57.159±1.459 a	54.538±1.876 a	31.220±4.534 b	66.205±13.938 a
游离脂肪酸质量分数 (以油酸计)/% Mass fraction of free fatty acid	0.446±0.054 c	0.436±0.048 c	0.758±0.003 c	1.879±0.365 a	2.011±0.321 a	1.291±0.046 b
还原糖质量分数/ (mg·g ⁻¹) Mass fraction of reducing sugar	2.306±0.344 b	2.499±0.345 b	2.531±0.444 b	3.643±0.442 a	2.393±0.25 b	2.289±0.31 b
总多酚质量分数/ (mg·g ⁻¹) Mass fraction of total polyphenols	20.038±1.601 c	20.164±1.52 c	19.443±2.227 c	24.601±0.356 b	29.909±1.266 a	21.022±1.229 bc

2.5 生草与灌水处理油橄榄的果实品质综合评价

对评价果实品质比较重要的 7 个因子进行主成分分析,由表 4 可知,前 3 个主成分的累积贡献率达到了 95.710%。由此确定提取的主成分的个数为 3,根据式(1)确定权重 W_i ,计算过程中, $m=1,2,3,n=1,2,\dots,7$ 。采用式(2)和式(3)计算各指标隶属度值,通过式(4)得到各处理油橄榄的品质综合指数(I)。如表 5 所示。根据品质综合指数的大小,不同生草处理油橄榄品质的顺序为间作毛苕子+补灌>自然生草+补灌>间作毛苕子+不补灌>自然生草+不补灌>清耕+补灌

>清耕+不补灌。

本试验根据因子得分和特征根计算出各主成分得分,以第 1 主成分作横坐标,分别以第 2 和第 3 主成分为纵坐标做散点图(图 2),可直观地揭示各处理油橄榄果实品质分布状况。以第 1 主成分排序,毛苕子不补灌、自然生草补灌和自然生草不补灌处理较高;第 2 主成分中间作毛苕子补灌、间作毛苕子不补灌和清耕不补灌处理较高;第 3 主成分以自然生草补灌处理和自然生草不补灌处理较优。

表 4 油橄榄果实品质指标的主成分分析

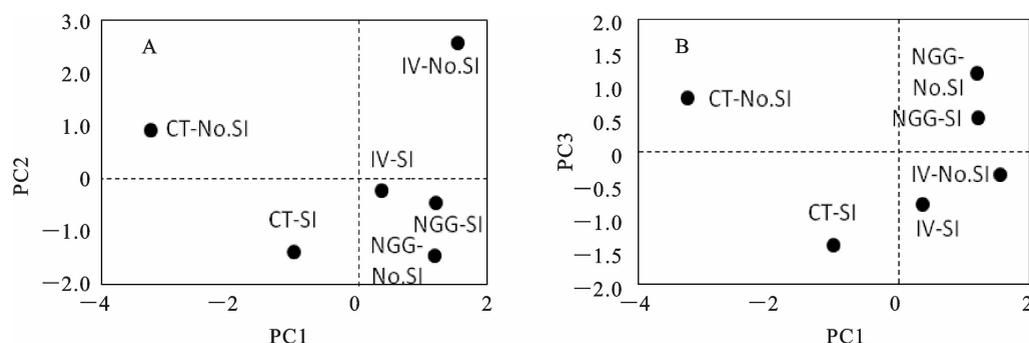
Table 4 Principal components analysis of the evaluation indexes of olive fruit quality

指标 Index	负荷量 Load			$F_{i1} \times Y_1 + F_{i2} \times Y_2 + F_{i3} \times Y_3$	权重 Weight component
	第 1 主成分 The first principal component	第 2 主成分 The second principal component	第 3 主成分 The third principal component		
单果质量 Single fruit mass	0.702	0.359	0.575	3.949 2	0.195 7
果肉率 Rate of fruit pulp	0.653	0.744	-0.014	3.857 0	0.191 1
含水率 Moisture in fresh fruit	0.882	-0.146	0.260	3.396 3	0.168 3
含油率 Oil content in dry fruit	0.704	-0.025	-0.683	1.963 2	0.097 3
游离脂肪酸质量分数 Mass fraction of free fatty acid	-0.897	0.355	-0.151	-2.963 0	0.146 8
还原糖质量分数 Mass fraction of reducing sugar	-0.097	0.976	-0.189	1.210 8	0.060 0
总多酚质量分数 Mass fraction of total polyphenols	-0.918	0.195	0.324	-2.843 2	0.140 9
特征根 Eigenvalue	3.850	1.821	1.029		
方差贡献率/% Contribution rate	54.996	26.018	14.696		
累计方差贡献率/% Cumulative contribution rate	54.996	81.014	95.710		

表 5 油橄榄果实品质指标的隶属函数值及综合评价值

Table 5 Membership function value and integrate evaluation values of the evaluation indexes of olive fruit quality

评价指标 Evaluation index	间作毛苕子 Intercropping hairy vetch		自然生草 Naturally grown grass		清耕 Clean tillage	
	不补灌 Non-supplementary irrigation	补灌 Supplementary irrigation	不补灌 Non-supplementary irrigation	补灌 Supplementary irrigation	不补灌 Non-supplementary irrigation	补灌 Supplementary irrigation
	单果质量 Single fruit mass	0.919	1.000	0.242	0.597	0.129
果肉率 Rate of fruit pulp	0.672	0.728	0.6300	1.000	0.000	0.194
含水率 Moisture in fresh fruit	0.000	0.484	0.607	0.723	1.000	0.641
含油率 Oil content in dry fruit	0.643	0.750	0.741	0.667	0.000	1.000
游离脂肪酸质量分数 Mass fraction of free fatty acid	0.994	1.000	0.796	0.084	0.000	0.457
还原糖质量分数 Mass fraction of reducing sugar	0.0130	0.155	0.179	1.000	0.077	0.000
总多酚质量分数 Mass fraction of total polyphenols	0.057	0.069	0.000	0.493	1.000	0.151
综合指数 Composite index	0.589	0.684	0.484	0.663	0.145	0.233
排名 Ranking	3	1	4	2	6	5



A. 第 1,2 主成分二维排序 Scatter plot based on the first and second PCA; B. 第 1,3 主成分二维排序 Scatter plot based on the first and third PCA; CT-No.SI 表示清耕+不补灌 Clean tillage + Non-supplementary irrigation; CT-SI 表示清耕+补灌 Clean tillage + Supplementary irrigation; IV-No.SI 表示间作毛苕子+不补灌 Intercropping hairy vetch + Non-supplementary irrigation; IV-SI 表示间作毛苕子+补灌 Intercropping hairy vetch + Supplementary irrigation; NGG-No.SI 表示自然生草+不补灌 Naturally grown grass + Non-supplementary irrigation; NGG-SI 表示自然生草+补灌处理 Naturally grown grass + Supplementary irrigation

图 2 油橄榄果实品质主成分二维排序

Fig. 2 Two-dimensional sorting diagram based common factor of olive fruit quality

3 讨论

果园生草刈割后覆盖于果园,起土壤覆盖作用,可提高冬季果园土壤温度,对果树顺利越冬有重要意义;其降解可形成腐殖质,起绿肥的作用,可增加土壤有机质和速效养分含量,活跃土壤生物活性^[21];在坡地造林种草可增加植被覆盖率,增强土壤抗蚀力,作为水土保持措施可减少坡地果园水土和养分流失^[22];以增加生物多样性方式减少果园虫害,起植物保护作用^[23];在草和果树

间的资源利用型的种群间竞争关系影响果树物质运输可达到控梢促花效应;多方面的综合效益影响了果树的生长发育和果实的品质。

李憑峰等^[24]研究发现灌水量和施肥量 2 因素交互对樱桃产量和果径均有影响,武俊英等^[25]研究发现水钾互作对甜菜产量的影响最大,即水肥对果实的产量和品质均有交互效应。本研究通过双因素方差分析得出生草与灌水处理对油橄榄单株产量、果实游离脂肪酸质量分数、总多酚质量分数、果肉生长的交互效应达极显著水平,对果实

干基含油率、单果质量的交互效应达显著水平,果园生草刈割后降解可形成腐殖质起绿肥作用,灌水与生草的互作作用也可看做水肥互作,本试验发现果园生草对油橄榄产量和品质有交互效应,这为果园生草和补灌水的实际应用提供了指导。

果形指数是指果实纵径与横径的比值,它不仅能直观地反映出果实的外观形状品质信息^[26],而且还能表现果树的内部品质情况^[27],在欧美等国已成为商品果实等级分类的重要指标,果形指数结合果实重量能够较好的表征苹果内部物质疏密情况^[28]。孔维宝等^[29]指出果形指数可直观反映油橄榄果实的性状和特征。是油橄榄优树选择与品种鉴别的重要特征指标^[30]。龙伟等^[31]对油橄榄果实油脂脂肪酸组成分析发现棕榈烯酸与果形指数存在显著负相关。本试验发现油橄榄果实果形指数在间作毛苕子和自然生草条件下补灌与不补灌间未表现出显著差异,冯德强等^[32]研究发现果实的果形指数与灌溉量的多少无关,这与本试验生草处理的油橄榄果形指数表现规律一致。补灌提高了清耕条件的果形指数,在不补灌条件下,间作毛苕子和自然生草的油橄榄果实果形指数显著低于清耕;补灌条件下3种处理间均无显著性差异。

油橄榄果实核横径、核纵径、核形指数、核体积及核质量在间作毛苕子、自然生草和清耕条件的补灌与不补灌间均未表现出显著差异。冯德强等^[32]研究表明,油橄榄果核生长对灌溉量的变化不敏感;果肉却随着灌溉量的增加而增加,由此单果质量也随着灌溉量的增加而增加;本试验结论与此一致。

含油率是比较稳定的性状,含油率的提高能够增加品种单位面积产油量^[33]。干果含油率是油橄榄果实中的绝对含油率,直接反映品种的绝对含油量^[34]。油橄榄果实含油率在间作毛苕子条件下补灌与不补灌间未表现出显著差异,在补灌条件下,间作毛苕子、自然生草和清耕处理间的果实含油率未表现出显著差异,冯德强等^[32]研究发现当油橄榄园灌溉量大于100%ET₀(蒸腾蒸发量)时,油橄榄的产果量和含油率都随着灌溉量的增加而降低。本试验发现自然生草条件下不补灌较补灌的油橄榄果实含油率高;即高的灌溉量对于含油率提高并不一定有积极作用,以果实含油率为标准则果园生草可节约果园灌水用量。

果肉中游离脂肪酸是合成脂肪的原料之一。

在油橄榄果实收获时期的确定上要统筹考虑果实酸值和不饱和脂肪酸含量,一般油橄榄果实愈近成熟,酸值愈低,不饱和脂肪酸含量越高^[20]。自然生草条件下补灌的果实游离脂肪酸质量分数高于不补灌1.48倍,并且在补灌条件下,自然生草处理其质量分数显著高于间作毛苕子和清耕处理,即补灌可能造成自然生草果园油橄榄中脂肪合成速度减慢,造成游离脂肪酸积累。清耕条件下补灌较不补灌降低果实游离脂肪酸质量分数35.80%,即灌水可能促进清耕果园油橄榄果实中油脂的合成;在不补灌条件下,间作毛苕子和自然生草的油橄榄果实游离脂肪酸质量分数显著高于清耕处理,即在较为干旱的环境中,生草促进脂肪合成。根据试验设计的唯一差异原则,采用统一时间采摘果实,在对采摘过程中果皮色泽的观察可以发现生草和灌水均影响到了果实的成熟度,在相同时间内清耕果园补灌处理的果皮颜色为少半紫,不补灌果皮为黄绿,这可能是导致清耕条件下补灌与不补灌处理之间含油率差异大的主要原因,同理,脂肪酸作为油脂合成的原料之一,其质量分数受果实成熟程度的影响,所以自然生草条件下补灌与不补灌处理之间游离脂肪酸质量分数差异大可能与成熟度有关。

多酚类化合物是植物代谢中重要的次生产物,包括黄酮类、单宁类、酚酸类以及花色苷类等,能作为天然的抗氧化剂调节活性氧代谢,调节机体内非正常状态下的氧化-还原的稳态,降低生物大分子的氧化损伤,从而达到延缓衰老等的作用^[35]。酚类化合物是油橄榄果实中仅次于油脂的重要有效成分,油橄榄中主要的多酚类化合物为橄榄苦甙、羟基酪醇、芦丁、木犀草素和毛蕊花糖苷等^[36-37]。它们赋予油橄榄果实和橄榄油特殊的色泽、风味和功效^[29],并对橄榄油的稳定性及活性功能有重要影响。在不补灌条件下,清耕处理的油橄榄果实总多酚质量分数显著高于生草;可能与清耕条件下油橄榄对干旱等逆境环境的响应较为敏感,从而促进多酚类化合物这种次级代谢物来调控机体有关;在补灌条件下,自然生草处理的果实总多酚质量分数显著高于间作毛苕子,同理,补灌条件下自然生草的旺盛生长造成与油橄榄种群间的资源竞争,油橄榄响应竞争从而促进多酚类物质的合成。

餐用油橄榄果还原糖质量分数在加工过程中的差异会影响发酵过程中糖源的供给^[38]。邓俊

琳等^[36]根据还原糖随油橄榄果实成熟度的变化推测还原糖可能参与了果实成熟初期油脂的合成,导致大量还原糖的分解,而成熟后期,油脂合成减缓,还原糖分解速率小于合成速率使总量增加。Cecchi 等^[39]对粗脂肪和还原糖之间的关系也有相近的报道。在自然生草条件补灌的油橄榄果实还原糖质量分数有显著高于不补灌处理;在补灌条件下,自然生草处理其质量分数显著高于间作毛苕子和清耕,以自然生草补灌处理的还原糖质量分数最高,可能是因为补灌造成自然生草果园中油橄榄果实还原糖分解转化为脂肪的速度降低,造成还原糖的积累。

根据油橄榄果实品质综合指数的大小,不同生草和灌水处理果实品质的顺序为间作毛苕子+补灌>自然生草+补灌>间作毛苕子+不补灌>自然生草+不补灌>清耕+补灌>清耕+不补灌。毛苕子属豆科植物,根系和与其共生的根瘤菌固氮作用^[40]能在土壤中发挥重要的氮素转化作用,给土壤带来大量的有机质和氮素,起到改善土肥田、培肥地力的作用^[41],作为一种重要的农业种质资源,其能与丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)形成共生体系^[42],所以本试验发现的毛苕子表现出更大的优势可能与毛苕子促进丛枝菌根真菌感染果树及根瘤菌固氮作用这两个因素有关。

综上所述,油橄榄单株产量表现为在不补灌条件下间作毛苕子较清耕高 8.79%,在补灌条件下间作毛苕子和自然生草分别较清耕高 10.56%和 5.79%。在自然生草条件补灌较不补灌提高了果实横径、纵径、果实体积、单果质量。在不补灌条件下,间作毛苕子的油橄榄果实横径、纵径、果实体积均高于自然生草处理。在补灌条件下,间作毛苕子处理的果实横径、纵径、果实体积均高于清耕。在不补灌和补灌条件下,间作毛苕子的油橄榄果实单果质量均显著高于自然生草和清耕。在不补灌条件下,间作毛苕子处理提高了油橄榄果实果肉率;并且在补灌条件下,自然生草处理果实游离脂肪酸、总多酚和还原糖质量分数显著高于间作毛苕子处理。

从油橄榄果实品质综合指数来看补灌条件下间作毛苕子有利于提高油橄榄果实品质。生草可提高不补灌条件下油橄榄果实含油率;以果实含油率为标准,果园生草可减少果园灌水量。本试验探索了生草和灌水交互对油橄榄果实品质的影

响,为解决实施果园生草制的坡地油橄榄园的灌溉问题提供了依据,可根据油橄榄果实中多酚物质和还原糖在各处理下的质量分数多少决定各用途的油橄榄需要采用何种生草灌水模式。

参考文献 Reference:

- [1] 程子彰,贺靖舒,占明明,等. 油橄榄果实生长与成熟过程中油脂的合成[J]. 林业科学,2014,50(5):123-131.
CHENG Z ZH, HE J SH, ZHAN M M, et al. Synthesis of olive oil during olive development and ripening[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2014, 50(5): 123-131.
- [2] 李曼曼,柏伟荣,徐振秋,等. 海英菜籽油与山茶油、橄榄油不饱和脂肪酸含量比较研究[J]. 中国油脂,2015(b10):130-132.
LI M M, BAI W R, XU ZH Q, et al. Comparison of the content of unsaturated fatty acids in *Suaeda salsa* seed oil, oil-tea camellia seed oil and olive oil[J]. *China Oils and Fats*, 2015(b10): 130-132.
- [3] NELSON T L, HOKANSON J E, HICKEY M S. Omega-3 fatty acids and lipoprotein associated phospholipase A(2) in healthy older adult males and females[J]. *European Journal of Nutrition*, 2011, 50(3): 185.
- [4] SERVILI M, ESPOSTO S, FABIANI R, et al. Phenolic compounds in olive oil: antioxidant, health and organoleptic activities according to their chemical structure[J]. *Inflammopharmacology*, 2009, 17(2): 76-84.
- [5] 樊明. 陇南市暴雨成因分析及引发泥石流滑坡灾害研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2006.
FAN M. The analysis of forming rainstorm and research about causing mud-rock flow and landslide in Longnan[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2006.
- [6] 杨斌,邓煜. 甘肃陇南油橄榄扩区栽培建议[J]. 中国园艺文摘,2015(6):206-207.
YANG B, DENG Y. Proposal of expanding olive planting area in Longnan of Gansu province[J]. *Chinese Horticulture Abstracts*, 2015(6): 206-207.
- [7] 赵梦炯. 油橄榄配方施肥技术的研究[D]. 兰州:兰州大学,2015.
ZHAO M J. Olive formula fertilization technology research [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2015.
- [8] 周玉燕,廖空太,张莉,等. 山旱塬区苹果园不同覆盖措施对土壤水分运动及产量的影响[J]. 中国果树,2017(1):5-10.
ZHOU Y Y, LIAO K T, ZHANG L, et al. Effects of different mulching measures on soil moisture and yield of apple orchard in the mountain plateau area[J]. *China Fruits*, 2017(1): 5-10.
- [9] 蒋小军. 柿园种草试验[J]. 中国南方果树,2003(5):47-49.
JIANG X J. Study of cultivate grass in persimmon orchard [J]. *South China Fruits*, 2003(5): 47-49.

- [10] 闫春鸣. 河西走廊地区梨园生草栽培试验[J]. 防护林科技, 2010(6):16-17.
YAN CH M. Growing grass cultivation of pear orchard in Hexicorridor region [J]. *Protection Forest Science and Technology*, 2010(6):16-17.
- [11] 张善江, 陈思源, 王乃红, 等. 有机板栗园土壤管理模式及施肥试验[J]. 河北果树, 2012(5):4-6.
ZHANG SH J, CHEN S Y, WANG N H, *et al.* Soil management model and fertilization experiment in organic chestnut orchard[J]. *Hebei Fruits*, 2012(5):4-6.
- [12] 史祥宾, 王海波, 王孝娣, 等. 自然生草对巨峰葡萄产量和品质及枝条贮藏营养的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2016(4):14-17.
SHI X B, WANG H B, WANG X D, *et al.* Effects of natural grass on yield, fruit quality and cane storage nutrient of Kyoho grapevine [J]. *Sin-overseas Grapevine & Wine*, 2016(4):14-17.
- [13] 惠竹梅. 行间生草对葡萄与葡萄酒影响的研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
XI ZH M. Study on influence of cover crop in vineyard on vine and wine [D] Yangling Shaanxi: Northwest A&F University, 2008.
- [14] 惠竹梅, 李 华, 刘延琳, 等. 葡萄园行间生草对‘赤霞珠’干红葡萄酒质的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(10):1527-1531.
XI ZH M, LI H, LIU Y L, *et al.* The effect of vineyard green cover on wine quality in grape cultivar ‘Cabernet Sauvignon’ [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(10):1527-1531.
- [15] 鲁玉妙. ‘粉红女士’苹果果实发育动态及品质分析研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2005.
LU Y M. Study on the dynamic development and quality changes of ‘pink lady’ s fruit’ [D]. Yangling Shaanxi: Northwest A & F University, 2005.
- [16] 王永恒. 贵州西部山地梨园生草与果实套袋技术试验与示范[D]. 贵阳: 贵州大学, 2008.
WANG Y H . The technical test and demonstration of grassing and fruits bagging in pear orchard at western mountain in Guizhou province [D]. Guiyang: Guizhou University, 2008.
- [17] 陈宝书. 牧草饲料作物栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001:278-281.
CHEN B SH. Forage Crop Cultivation[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001:278-281.
- [18] 程子彰. 西昌引种油橄榄生物学特性研究[D]. 四川雅安: 四川农业大学, 2013.
CHENG Z ZH. Biological characteristics of olive cultivated in Xichang [D]. Ya’an Sichuan: Sichuan Agricultural University, 2013.
- [19] 王贵德, 邓 煜, 张正武, 等. 甘肃陇南油橄榄主栽品种含油率的测定与分析[J]. 经济林研究, 2012, 30(3):87-90.
WANG G D, DENG Y, ZHANG ZH W, *et al.* Determination and analysis on oil content of major olive cultivars in Longnan of Gansu [J]. *Nonwood Forest Research*, 2012, 30(3):87-90.
- [20] 刘 泉. 引进油橄榄果肉油脂积累规律及相关合成酶活性的研究[D]. 四川雅安: 四川农业大学, 2012.
LIU Q. Study on the rule of oil accumulation and the activities of related synthetic enzymes in olive pulps of introduced cultivars [D]. Ya’an Sichuan: Sichuan Agricultural University, 2012.
- [21] 焦润安, 李朝周, 焦 健, 等. 生草影响果树生长发育及果园环境的研究进展[J]. 果树学报, 2017, 34(12):1610-1623.
JIAO R A, LI CH ZH, JIAO J, *et al.* Research progress about the effect of sod-culture on the growth and development of fruit and orchard environment [J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, 34(12):1610-1623.
- [22] 李发林, 郑域茹, 黄炎和, 等. 果园带状生草对果园面源污染的控制效果[J]. 水土保持学报, 2013, 27(3):82-89.
LI F L, ZHENG Y R, HUANG Y H, *et al.* Influence of zonal grass on non-point source pollution control in orchard [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 27(3):82-89.
- [23] 王艳廷, 冀晓昊, 陈学森, 等. 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, CHEN X S, *et al.* Research progress of cover crop in Chinese orchard [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(6):1892-1900.
- [24] 李懋峰, 谭 煌, 王嘉航, 等. 滴灌水肥条件对樱桃产量、品质和土壤理化性质的影响[J]. 农业机械学报, 2017, 48(7):236-246.
LI P F, TAN H, WANG J H, Y. *et al.* Effect of water and fertilizer conditions under drip irrigation on yield, quality of cherry and physicochemical properties of soil [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(7):236-246.
- [25] 武俊英, 张永丰, 张少英, 等. 水肥耦合对地膜甜菜产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(4):87-91.
WU J Y, ZHANG Y F, ZHANG SH Y, *et al.* Coupling effects of water and fertilizer on roots yield and quality of sugar beet of plastic film mulching cultivation [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2016, 35(4):87-91.
- [26] 韩 锐, 邢文黎, 孔维宝, 等. 甘肃武都区 5 个主栽品种油橄榄果实的性状及品质研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(4):140-144.
HAN R, XING W L, KONG W B, *et al.* Evaluation of fruit quality and characters of five leading olive varieties from Wudu district of Gansu province [J]. *China Oils and Fats*, 2017, 42(4):140-144.
- [27] 张胜珍. 不同结果部位对‘秋红晚蜜’桃果实品质的影响[J]. 西南农业学报, 2013, 26(3):1175-1177.
ZHANG SH ZH. Effects of setting fruit position on quality of ‘Qiu hong wan mi’ peach [J]. *Southwest China Jour-*

- nal of Agricultural Sciences*, 2013, 26(3): 1175-1177.
- [28] 吴辰星. 融合多源信息的苹果霉心病在线检测方法研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
WU CH X. Research on online inspection method for moldy core in apple based on multi-source information[D]. Yangling Shaanxi: Northwest A&F University, 2017.
- [29] 孔维宝, 李万武, 邢文黎, 等. 武都主栽油橄榄品种的果实品质研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(2): 87-92.
KONG W B, LI W W, XING W L, *et al.* Research on the fruit quality of the main cultivated olive varieties in Wudu district[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2016, 31(2): 87-92.
- [30] 贾瑞芬. 广元市青川县油橄榄种质资源的形态学和 RAPD 分析研究[D]. 四川雅安: 四川农业大学, 2007.
JIA R F. Study on germplasm diversity of olive from Qingchuan of Guangyuan by RAPD and morphologic[D]. Ya'an Sichuan: Sichuan Agricultural University, 2007.
- [31] 龙 伟, 王裕斌, 姚小华, 等. 四川省青川县油橄榄果实性状与含油率及脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2017, 42(8): 116-122.
LONG W, WANG Y B, YAO X H, *et al.* Fruit character, oil content and fatty acid composition of *Olea europaea* in Qingchuan of Sichuan province[J]. *China Oils and Fats*, 2017, 42(8): 116-122.
- [32] 冯德强, 陈克超. 不同灌溉量对油橄榄产量和果实品质的影响[J]. 四川林业科技, 2011, 32(6): 76-78.
FENG D Q, CHEN K CH. Effects of different irrigation amounts on the yield and quality of olive fruits[J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2011, 32(6): 76-78.
- [33] 朱万泽, 范建容, 彭建国, 等. 四川省油橄榄引种品种果实含油率及其脂肪酸分析[J]. 林业科学, 2010, 46(8): 91-100.
ZHU W Z, FAN J R, PENG J G, *et al.* Analysis of the oil content and its fatty acid composition of fruits for introduced olive cultivars in Sichuan province[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, 46(8): 91-100.
- [34] 邓 煜. 甘肃陇南油橄榄优良株系选择[J]. 经济林研究, 2013, 31(3): 86-92.
DENG Y. Selection and breeding of olive superior trees in Longnan of Gansu province [J]. *Nonwood Forest Research*, 2013, 31(3): 86-92.
- [35] 向春蓉, 徐 洲, 王寒冬, 等. 3 个引进油橄榄品种初榨油多酚类化合物含量及抗氧化活性研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(9): 94-98.
XIANG CH R, XU ZH, WANG H D, *et al.* The content of polyphenol and antioxidant property of three varieties virgin olive oil[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2017, 32(9): 94-98.
- [36] 邓俊琳, 刘 露, 刘 泉, 等. 油橄榄鲜果中主要化合物随成熟度的变化[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(10): 73-77.
DENG J L, LIU L, LIU Q, *et al.* Effect of ripening stages on the main compounds of olive fresh fruit [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2016, 31(10): 73-77.
- [37] DADELEN A, TMEN G, ZCAN M M, *et al.* Phenolics profiles of olive fruits (*Olea europaea* L.) and oils from Ayvalik, Domat and Gemlik varieties at different ripening stages[J]. *Food Chemistry*, 2013, 136(1): 41-45.
- [38] 吴文俊, 陈炜青, 赵梦炯, 等. 加工过程中餐用油橄榄果营养成分的动态监测与分析[J]. 经济林研究, 2014, 32(1): 155-158.
WU W J, CHEN W Q, ZHAO M J, *et al.* Dynamic monitoring and analysis of nutrient components in table olive fruit during processing [J]. *Nonwood Forest Research*, 2014, 32(1): 155-158.
- [39] CECCHI L, MIGLIORINI M, CHERUBINI C. Phenolic profiles, oil amount and sugar content during olive ripening of three typical Tuscan cultivars to detect the best harvesting time for oil production[J]. *Food Research International*, 2013, 54(2): 1876-1884.
- [40] 陈学森, 张瑞洁, 王艳廷, 等. 苹果园种植长柔毛野豌豆结合自然生草对土壤综合肥力的影响[J]. 园艺学报, 2016, 43(12): 2325-2334.
CHEN X S, ZHANG R J, WANG Y T, *et al.* Effects of growing hairy vetch (*Vicia villosa*) on the soil nutrient, enzyme activities and microorganisms in apple orchard [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, 43(12): 2325-2334.
- [41] 卢 娜. 施肥和混播对云南季节性草田轮作中植物和土壤营养元素的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
LU N. The effects of mixture and fertilization on the forage quantity and soil nutrients of the seasonal rotation system in Yunnan province [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2009.
- [42] 何树斌, 郭理想, 龙明秀, 等. 丛枝菌根真菌与豆科植物共生体研究进展[J]. 草业学报, 2017, 26(1): 187-194.
HE SH B, GUO L X, LONG M X. Advances in arbuscular mycorrhizal fungi and legumes symbiosis research [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 26(1): 187-194.

Effects of Sod-culture and Supplementary Irrigation on Fruit Yield and Quality of Olives

JIAO Run'an^{1,2}, JIAO Jian³, LI Chaozhou^{1,2} and YAN Shipeng^{1,2}

(1. College of Life Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Gansu Key Laboratory of Crop Genetics & Germplasm Enhancement, Lanzhou 730070, China;

3. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract In this study, six treatments were designed with three sod-culture levels (intercropping of hairy vetch, naturally grown grass and clean tillage) and two irrigation levels (supplementary irrigation and no supplementary irrigation) in the olive orchard in dry-hot valley of Bailongjiang River. The effects of sod-culture and supplementary irrigation on the yield and fruit quality indexes were studied in olive orchard, aims to provide some basis for revealing the mechanism of sod-culture on the yield increase and quality improvement. The results showed that the interaction effects of sod-culture and supplementary irrigation treatments on yield per plant, free fatty acid content, total polyphenol content and fruit flesh growth were extremely significant, and the interaction effects on oil content of the fruit and fruit mass were significant. Under the condition of no irrigation, the yield per plant were 8.79% higher in intercropping of hairy vetch than that of clean tillage, the diameter, vertical diameter and fruit volume of olive fruits with intercropping hairy vetch were significantly higher than those of naturally grown grass, in addition, the sod-culture increased the oil content of the fruit, compared with the clean tillage. Under the condition of supplementary irrigation, the intercropping of hairy vetch and naturally grown grass improved the yield per plant by 10.56% and 5.79%, respectively, compared with the clean tillage; naturally grown grass treatment could significantly increase the fruit diameter, vertical diameter, fruit volume and fruit mass, compared with the intercropping of hairy vetch, the treatment of naturally grown grass improved the contents of free fatty acids, total polyphenols, and reducing sugar significantly, the fruit diameter, length and volume of intercropping hairy vetch were significantly higher than those of clean tillage. Under both the conditions of no irrigation and supplementary irrigation, the fruit weight under the intercropped hairy vetch was significantly higher than the treatments of naturally grown grass and clean tillage. According to the overall index of the fruit quality, olive fruit quality under different treatments order could be ordered by: intercropping hairy vetch + supplementary irrigation > naturally grown grass + supplementary irrigation > intercropping hairy vetch + non-supplementary irrigation > naturally grown grass + non-supplementary irrigation > clean tillage + supplementary irrigation > clean tillage + non-supplementary irrigation. In summary, under the condition of supplementary irrigation, the intercropping of hairy vetch increased the olive fruit quality.

Key words Olive; Sod-culture; Morphological index; Nutritional quality; Supplementary irrigation

Received 2018-01-12

Returned 2018-03-08

Foundation item The National Natural Science Foundation of China (No. 31660223); Department of Agriculture and Animal Husbandry Project of Gansu Province (No. GNSW-2016-28); Qinba Mountain Area (Gansu) Targeted Poverty Alleviation and Rich Industry Demonstration.

First author JIAO Run'an, male, master student. Research area: plant physiology under stress conditions. E-mail: jiaora0328@163.com

Corresponding author JIAO Jian, female, professor. Research area: plant ecology. E-mail: jiaoj@gsau.edu.cn

(责任编辑: 史亚歌 Responsible editor: SHI Yage)