

纪静雯, 纪立东, 杨洋, 等. 基于沼液微生物肥的长红枣水肥耦合效应[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(2): 114-119.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.02.019

基于沼液微生物肥的长红枣水肥耦合效应

纪静雯¹, 纪立东¹, 杨洋¹, 刘菊莲², 司海丽¹

(1. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 宁夏银川 750002; 2. 宁夏顺宝现代农业股份有限公司, 宁夏吴忠 751600)

摘要:针对长红枣滴灌新型沼液复合微生物肥过程中存在的问题,通过分析不同水肥供应条件对长红枣生长发育及其质量产量产生的不同作用,研究长红枣优质高效生产的灌水施肥条件,提出新型沼液复合微生物肥合理的灌溉施肥方案。试验以灵武长红枣为试材,采用2因素3水平完全组合式设计方法,试验数据显示,中水中肥和中水高肥处理下叶片叶绿素含量及光合特性总体优于其他处理,产量构成指标也最好,中水高肥处理坐果率为11.24%,中水中肥处理产量高达13 882.5 kg/hm²,比低水低肥处理高3 199.5 kg/hm²;中水肥条件下利于长红枣糖分合成,能够形成良好的糖酸比,长红枣风味品质更佳;低水中肥与低水高肥处理下有效磷累积过多,而其他处理有效磷含量基本与土壤本底值持平,在生产过程中应适当减少磷肥投入。综合以上结果,宁夏灵武市淡灰钙土沼液复合微生物肥在灌水量4 500 m³/hm²,施肥量3 000 kg/hm²处理下和灌水量4 500 m³/hm²,施肥量3 900 kg/hm²处理下能改善长红枣品质,改良土壤理化性状。

关键词:沼液复合微生物肥;长红枣;水肥耦合;产量;品质

中图分类号:S665.106;S665.107 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)02-0114-06

宁夏回族自治区灵武长红枣是当地优质且具备当地特性的果树种类,以其个大、长椭圆形、味酸甜、营养丰富而得名,灵武长红枣产业也是宁夏灵武市促进地方经济发展的特色优势产业^[1]。随着灵武长红枣种植规模的逐步扩大,其产业发展已由“量的扩张”阶段全面进入“质的提升”阶段^[2],但是宁夏灵武长红枣在种植中仍存在水肥管理不科学

的问题^[3],由于长期单一偏施化肥导致土壤板结、水肥利用率低,这是限制宁夏长红枣可持续发展的因素,导致宁夏长红枣枣树出现落花落果严重、商品性低且品质不佳等情况,成为制约长红枣产业发展的瓶颈。沼液微生物肥营养丰富,含有大量的高分子有机酸、有机物质及氮、磷、钾等较多作物发育及成熟必需的养分及多类中微量元素,可有效增加作物产品数量,提升作物产品质量,提高作物出现的优良抗逆性状^[4-8],同时,可以使果树高效汲取营养^[9-10],还能够增强土壤微生物活性,优化土壤结构,保证土壤健康^[11]。灌水和施肥是影响农业生产的两大可调节控制的关键因素,现代农业生产中作物优质高产需要供应适合的水分和营养,二者缺一不可。众所周知,以水促肥,以肥调水,二者相辅而行,水肥耦合是获得高产、高效的必经之

收稿日期:2021-04-02

基金项目:宁夏农林科学院全产业链科技创新示范项目(编号:YES-2016-0908);宁夏农林科学院科技创新先导资金(编号:NKYG-17-01);宁夏回族自治区重点研发计划(编号:2019BCF01001)。

作者简介:纪静雯(1990—),女,宁夏中宁人,硕士,研究实习员,主要从事农业有机合成研究。E-mail:jjw_526@163.com。

通信作者:纪立东,博士,副研究员,主要从事农业废弃物资源化与循环利用研究。E-mail:Jili521010@163.com。

Journal of Leukocyte Biology, 2020,108(2):531-545.

[7]田淑雨,鹿士峰,吴杨洋,等. 超声破碎辅助提取灵芝多糖工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发,2019,40(8):101-107.

[8]戴玉成,曹云,周丽伟,等. 中国灵芝学名之管见[J]. 菌物学报,2013,32(6):947-952.

[9]孔祥会,姚方杰,王鹏. 食用菌种质资源评价方法及在品种选育上的应用实践[J]. 中国食用菌,2019,38(12):8-10.

[10]孟虎,孙国琴,睢韡,等. ISSR技术在食用菌研究上的应用

[J]. 北方园艺,2016(5):207-210.

[11]郭金英,宋彦龙,李超,等. 四十个野生香菇菌株遗传多样性分析[J]. 北方园艺,2018(10):157-160.

[12]李辉平. ISSR在食用菌遗传多样性研究中的应用[D]. 北京:中国农业科学院,2007:26-27

[13]中华人民共和国农业部. 食用菌菌种真实性鉴定 ISSR法:NY/T 1730—2009[S]. 北京:中华人民共和国农业部,2009.

[14]易腾飞,李珊珊,李嘉豪,等. 261份小麦品种基于农艺性状的遗传多样性分析[J]. 河北农业大学学报,2018,41(2):7-13.

路^[12], 不仅能提高作物产量和品质, 还能够大幅度提高作物对水肥的利用效率^[13-15]。目前, 与水肥协同耦合影响作物生长发育、优质高效生产及提高水肥利用率相关的研究较多, 但是, 针对新型沼液复合微生物肥料进行水肥耦合的研究很少。本研究选取新型沼液复合微生物肥, 探究其对宁夏灵武长红枣的水肥耦合效应, 为确定合理的滴灌施肥方案提供科学依据, 以期为宁夏灵武长红枣产业的健康发展提供实践指导。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于 2017 年 3—10 月, 在宁夏灵武市绿源恒农业综合开发有限公司基地进行。该地区属中温带

大陆性半干旱气候, 光照资源充足, 全年日照时数 3 080.2 h, 平均无霜期 157 d, 年平均气温 ≥ 8.8 °C, 积温 3 351.3 °C, 年均降水量 206.2 ~ 255.2 mm。

1.2 试验材料

选用 8 年龄灵武长红枣作为供试作物, 选取宁夏顺宝现代农业股份有限公司研制的沼液复合微生物肥作为供试肥料, 总养分高于 18%, 有效活菌数大于 0.5 亿 CFU/g, 该肥料有以下 3 个型号: 高氮型 (N、P₂O₅、K₂O 含量分别为 10%、5%、3%)、平衡型 (N、P₂O₅、K₂O 含量分别为 6%、6%、6%)、高钾型 (N、P₂O₅、K₂O 含量分别为 6%、4%、8%)。

1.3 供试土壤

土壤为沙质壤土, 地势平缓, 土壤侵蚀中等, 土质疏松。土壤基本化学性质见表 1。

表 1 土壤基本化学性质

土层深度 (cm)	pH 值	全盐含量 (g/kg)	有机质含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
0 ~ 30	8.28	0.41	9.13	41.10	27.41	130.00
30 ~ 50	8.43	0.54	8.34	36.23	28.94	170.00
50 ~ 100	8.73	0.55	6.38	30.36	21.01	123.33

1.4 试验方法

试验设置滴灌量和施肥量 2 个因素。滴灌量参考当地水肥一体化推荐值: 滴灌定额 (W) 4 500 m³/hm², 施肥量 (F) 参照当地推荐施肥量 (N : P₂O₅ : K₂O = 20.5 : 10.2 : 11.4) 减氮 30% 设计用量为 3 000 kg/hm²。其中灌水量设置 3 个水平: W1 (3 300 m³/hm²)、W2 (4 500 m³/hm²)、W3 (5 700 m³/hm²); 施肥量设置 3 个水平: F1 (2 100 kg/hm²)、F2 (3 000 kg/hm²)、F3 (3 900 kg/hm²)。试验采用 2 因素 3 水平完全组合设计, 共 9 个处理 (表 2), 3 次重复, 共计 27 个小区, 每个小区每个处理 2 行。整个生育期共灌水 13 次, 施肥 6 次, 分别为营养生长期施用总施肥量 30% 的高氮型沼液肥 2 次; 坐花坐果期施用总施肥量 40% 的平衡型沼液肥 2 次; 膨果着色期施用总施肥量 30% 的高钾型沼液肥 2 次。利用水肥一体化滴灌施肥方式, 通过水表和施肥泵精准控制滴灌量和施肥量, 其他日常管理相同。

1.5 测定项目

1.5.1 土壤样品采集与测定 多点混合采集试验田 0 ~ 30 cm 与 30 ~ 60 cm 土层土壤样品, 用于测试土壤化学指标, 其中碱解氮、有机质、速效钾、有效磷含量和 pH 值的检测均遵照国家标准方法进行。

表 2 试验设计

序号	灌水量	施肥量	滴灌定额 (m ³ /hm ²)	施肥定额 (kg/hm ²)
1	W1	F1	3 300	2 100
2	W1	F2	3 300	3 000
3	W1	F3	3 300	3 900
4	W2	F1	4 500	2 100
5	W2	F2	4 500	3 000
6	W2	F3	4 500	3 900
7	W3	F1	5 700	2 100
8	W3	F2	5 700	3 000
9	W3	F3	5 700	3 900

碱解氮含量采用碱解扩散法检测; 有机质含量采用重铬酸钾容量法检测; 速效钾含量采用 1 mol/L 醋酸铵溶液浸提 - 火焰光度计法检测; 有效磷含量采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提 - 钼锑抗比色法检测; 土壤 pH 值使用 pH 计检测; 全盐含量采用 DDS-11 电导率仪检测; 采集 0 ~ 30 cm 土层原状土样检测土壤水稳性团聚体含量^[16-17]。

1.5.2 长红枣生长发育指标监测 (1) 生物学指标: 在果实成熟期, 采用称量法检测单果质量 (小区内全部长红枣单果质量平均数) 及长红枣产量 (小区实测产量折算), 并测量长红枣横纵径及硬度等

农艺指标。(2)生理指标:在长红枣关键生育期,使用叶绿素仪(SPAD-502)检测叶片叶绿素 SPAD 值;选取 6 棵树,对同一位置相同部位叶片进行标记,在 09:00—11:00 时间段内,采用 CI-340 光合作用测量系统测定叶片光合作用特性。(3)品质指标:在长红枣果实成熟期,采集鲜果测定红枣品质指标,其中果实可溶性固形物含量采用手持式折光仪检测;果实可滴定酸含量(以酒石酸计)采用氢氧化钠滴定法检测;维生素 C 含量采用 2,4-二硝基苯肼比色法检测。

1.6 数据分析

所涉及数据及图表均选用 Excel 2017 进行处理,选用 SAS 25 统计软件进行方差分析,同时,用最小显著性差异法评价显著性差异($\alpha=0.05, n=5$)。

2 结果与分析

2.1 不同处理对长红枣叶片叶绿素 SPAD 值的影响

由表 3 可得,开花期长红枣叶片 SPAD 值相对较小,主要是叶片生长前期发育较为缓慢,叶片合成叶绿素不足,随着生育期的推移,在膨大期叶片 SPAD 值达到最大,相比开花期平均增加了 7~13 个单位;开花期,当灌水量与施肥量逐渐升高,叶绿素 SPAD 值总体呈现出增大的趋势,其中,中水高肥(W2F3)条件下叶绿素 SPAD 值达到峰值,相比 W1F1 增加了 4.64%。坐果期在高水(W3)水平下,SPAD 值随着施肥量的增加而增大,在高肥(F3)水平下,SPAD 值表现为高水处理(W3) > 中水处理(W2) > 低水处理(W1),且高水高肥(W3F3)条件下 SPAD 值达到最大。由此可知,当水肥施用充分时,叶绿素含量得到明显提高,植株叶片浓绿^[18]。膨大期中水中肥(W2F2)条件下叶片叶绿素含量最大,且显著高于 W1F1。因此可见,中水中肥有利于

表 3 不同处理对长红枣叶片叶绿素含量的影响

处理	叶绿素含量(SPAD 值)		
	开花期	坐果期	膨大期
W1F1	35.56 ± 0.12c	41.89 ± 0.13c	43.26 ± 0.32e
W1F2	36.21 ± 0.25ab	42.12 ± 0.23bc	44.60 ± 0.43cd
W1F3	35.58 ± 0.31bc	42.07 ± 0.60bc	44.04 ± 0.70d
W2F1	35.68 ± 0.49bc	43.08 ± 0.56ab	46.10 ± 0.41c
W2F2	36.61 ± 0.46ab	43.05 ± 0.34ab	48.72 ± 0.28a
W2F3	37.21 ± 0.31a	43.23 ± 0.41a	48.01 ± 0.27ab
W3F1	36.34 ± 1.01ab	42.10 ± 0.50b	47.76 ± 0.46bc
W3F2	37.10 ± 0.28a	42.24 ± 0.24b	47.80 ± 0.92bc
W3F3	37.13 ± 0.44a	43.86 ± 0.36a	48.10 ± 0.71ab

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。表 4~表 6 同。

长红枣膨大期叶片叶绿素的合成。

2.2 不同处理对长红枣叶片光合特性的影响

从表 4 可得,长红枣叶片的净光合速率在不同灌水量条件下,表现为 W2 > W3 > W1,中水处理明显增加了叶片净光合速率。蒸腾速率也有相似的规律(除 F3 肥力下外),在低水 W1 处理下,叶片蒸腾速率显著低于 W2 和 W3 处理,尤其 W1F1 处理的蒸腾速率为 1.39 mmol/(m²·s),远低于同等肥力条件下的中水和高水处理,说明在低水条件下植物更能适应干旱环境。当施肥量逐渐增加,气孔导度明显升高,W1F1 处理下气孔导度最低,减缓了净光合速率,阻碍了光合产物的合成,W2F3 条件下气孔导度达到最大。同一灌水量条件下,胞间二氧化碳在低肥处理下浓度高于中肥、高肥处理,与净光合速率成反比关系,主要原因是当净光合速率降低时,气孔张度较低,滞留在细胞间的二氧化碳浓度便会升高。水分利用效率在 W1F3 和 W2F3 条件下达到较大值,显著高于其他处理。

表 4 不同处理对长红枣叶片光合特性的影响

处理	净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	蒸腾速率 [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	气孔导度 [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	胞间 CO ₂ 浓度 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	水分利用率 (%)
W1F1	3.98 ± 0.16d	1.39 ± 0.27d	88.68 ± 2.59e	189.08 ± 1.48a	3.06 ± 0.12b
W1F2	5.87 ± 0.18c	2.42 ± 0.51c	99.83 ± 1.18d	111.09 ± 1.11d	2.67 ± 0.05c
W1F3	4.99 ± 0.05d	1.51 ± 0.38d	122.81 ± 10.09cd	125.59 ± 7.58c	3.53 ± 0.04a
W2F1	9.85 ± 0.08ab	4.28 ± 0.75a	149.33 ± 4.48c	141.47 ± 1.48c	2.28 ± 0.09cd
W2F2	10.96 ± 0.18a	4.65 ± 0.68a	201.42 ± 9.47b	92.62 ± 1.43d	2.41 ± 0.02cd
W2F3	10.24 ± 0.19ab	3.08 ± 0.75b	258.56 ± 8.22a	108.23 ± 1.17d	3.48 ± 0.05a
W3F1	7.88 ± 0.25bc	3.18 ± 0.68b	160.43 ± 14.17c	162.72 ± 2.29b	2.74 ± 0.06c
W3F2	8.53 ± 0.15bc	3.62 ± 0.17b	147.28 ± 1.71c	160.14 ± 2.44b	2.51 ± 0.04cd
W3F3	10.02 ± 0.22b	4.47 ± 0.51a	239.19 ± 1.55a	148.07 ± 1.31bc	2.17 ± 0.05d

2.3 不同处理对长红枣脆农艺指标的影响

坐果率对枣树的产量影响较大,根据表5可知,同一施肥水平下,W2处理的坐果率最高,尤其W2F3处理的坐果率达到11.24%,高出其他处理2.12个百分点~3.78个百分点。单果质量在不同肥力条件下,总体表现为W3>W2>W1,在低中水处理下,随着沼液肥的增加,单果质量逐渐增加,在高水处理下,随着沼液肥的增加,单果质量先增加后减少,W3F2处理的单果质量最高,高于其他处理

0.3~3.0 g。长红枣横纵径在中、高水肥条件下高于低水处理,W2F2处理下长红枣横纵径分别达到最大值。裂果导致果实维生素C含量降低,枣果品质和营养含量降低,会影响果实的商品价值,本试验得出,W1F1、W1F3、W2F3、W3F3这4个处理的裂果率明显高于其他处理,而W3F1、W3F2处理的裂果率较小,分别只有8.53%和8.41%,说明缺水 and 沼液肥过量都会导致长红枣出现裂果现象,应适当地控制施肥量从而降低裂果率。

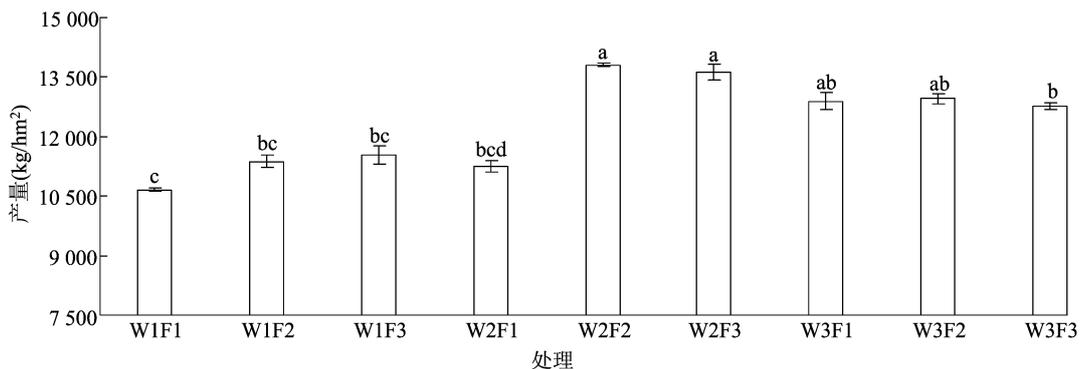
表5 不同处理对长红枣脆农艺指标的影响

处理	坐果率 (%)	单果质量 (g)	长红枣横径 (cm)	长红枣纵径 (cm)	裂果率 (%)
W1F1	8.27 ± 0.32bc	17.65 ± 0.43c	2.89 ± 0.02c	5.11 ± 0.02b	9.87 ± 0.34a
W1F2	7.78 ± 0.43cd	18.32 ± 0.12bc	3.01 ± 0.03b	5.15 ± 0.13b	8.79 ± 0.12b
W1F3	7.46 ± 0.70d	18.43 ± 1.32b	3.02 ± 0.00b	5.13 ± 0.04b	9.83 ± 0.07a
W2F1	9.12 ± 0.12ab	18.23 ± 0.17bc	2.99 ± 0.06b	5.23 ± 0.04a	9.08 ± 0.05b
W2F2	8.98 ± 0.28b	19.21 ± 0.54ab	3.08 ± 0.02a	5.65 ± 0.06a	8.78 ± 0.07bc
W2F3	11.24 ± 0.64a	20.32 ± 1.02a	3.04 ± 0.01ab	5.23 ± 0.11a	9.43 ± 0.08ab
W3F1	8.02 ± 0.41c	20.35 ± 1.32a	3.00 ± 0.00b	5.34 ± 0.03a	8.53 ± 0.07c
W3F2	8.45 ± 0.23bc	20.65 ± 0.43a	3.04 ± 0.02ab	5.45 ± 0.03a	8.41 ± 0.03c
W3F3	8.02 ± 0.45bc	20.21 ± 0.41a	3.07 ± 0.03a	5.36 ± 0.15a	10.34 ± 0.12a

2.4 不同处理对长红枣产量的影响

由图1可知,低水量供应条件下,长红枣产量随施肥量的增加而提高,中水量和高水量供应条件下,长红枣产量随着施肥量的增加呈先增加后降低的趋势,不同施肥量与供水量对长红枣产量的影响

有相似的规律。其中,W2F2处理下长红枣产量最高,为13 882.5 kg/hm²,显著高于低水、中水低肥处理下长红枣的产量。说明中水中肥处理下产量增效明显。



柱上标有不同小写字母表示在0.05水平上差异显著
图1 不同处理对长红枣产量的影响

2.5 不同处理对长红枣品质的影响

水肥耦合调控下长红枣品质表现出较明显的差异。由表6可知,W2F2处理下总糖含量最高,相比W3F1、W3F2、W3F3处理分别增加了1.80百分点、1.61百分点、1.58百分点,说明适量的水肥供给能促进糖分积累,而高水、高肥不利于糖类化合物

形成;总酸在W1F2处理下含量最高,而其他处理之间差异不显著;W2F2处理明显提高了长红枣的糖酸比,改善口感,W1F2处理糖酸比最低,在一定程度上影响口感;维生素C含量在各处理间差异较明显,W1F1处理下维生素C含量最高,这是由于供水量低引起用于果皮渗透调节的水分减少,导致维生

素 C 含量提高, W2F1 处理下维生素 C 含量最低, 因为水肥比例失衡, 养分供给不足, 降低了合成酶的活性, 从而抑制己糖内脂化化合物的合成, 使得维生素 C 含量降低。可溶性固形物含量的增加可有效提升果实的营养品质, W2F2 和 W2F3 处理下可溶

性固形物含量明显高于其他处理, 显著高于 W1 水平下处理; 同一水量供应水平下, 低肥处理的长红枣硬度值大于中肥和高肥处理, W2F3 处理下的果实硬度值最低, 为 12.75 kg/cm^3 。

表 6 不同处理对长红枣品质的影响

处理	总糖含量 (%)	总酸含量 (%)	糖酸比	维生素 C 含量 (mg/100 g)	可溶性固形物含量 (%)	硬度 (kg/cm^3)
W1F1	25.60 ± 1.34ab	0.38 ± 0.05ab	67.37 ± 9.26bc	343.12 ± 14.01a	27.51 ± 0.56b	13.23 ± 0.16ab
W1F2	25.02 ± 1.33ab	0.45 ± 0.02a	55.60 ± 3.24c	291.21 ± 28.02c	27.80 ± 0.62b	13.21 ± 0.25ab
W1F3	24.40 ± 0.62b	0.35 ± 0.02b	69.71 ± 0.76b	310.28 ± 9.84abc	27.32 ± 0.45bc	13.02 ± 0.62bc
W2F1	25.21 ± 0.27ab	0.38 ± 0.01ab	66.34 ± 0.85bc	260.37 ± 8.25c	27.63 ± 0.16b	13.12 ± 0.77b
W2F2	26.22 ± 1.89a	0.32 ± 0.15b	81.94 ± 8.51a	303.29 ± 27.46ab	29.15 ± 1.01a	12.98 ± 0.13bc
W2F3	24.45 ± 0.27b	0.35 ± 0.35b	69.86 ± 1.25b	296.56 ± 33.08c	28.82 ± 0.64a	12.75 ± 0.45c
W3F1	24.42 ± 0.61b	0.38 ± 0.03ab	64.26 ± 3.28bc	338.24 ± 40.33a	28.11 ± 0.33ab	13.22 ± 0.62ab
W3F2	24.61 ± 1.07b	0.35 ± 0.11b	70.31 ± 4.28b	303.68 ± 9.07ab	28.42 ± 0.54ab	13.02 ± 0.56b
W3F3	24.64 ± 0.51b	0.32 ± 0.15b	77.00 ± 5.61ab	324.15 ± 60.45ab	28.12 ± 0.33ab	13.21 ± 0.38ab

2.6 不同处理对土壤化学性质的影响

由表 7 可得, 不同处理对土壤基本化学性质影响较大, W1F2、W1F3 处理能明显增加有效磷含量, 磷素容易在碱性土壤中固定, 水分不足的情况下淋溶作用较弱, 因此在低水高肥处理下土壤有效磷达到极丰富水平, 而其他处理有效磷含量基本与土壤本底值持平, 为较丰富状态, 因此, 在生产过程中应适当减少磷肥投入; 施肥量增大时, 速效钾含量也随之升高, 同时, 高水条件也会对其含量积累产生抑制作用; 有机质含量整体变化不太大, 中水中肥处理下有机质含量有所提升, 这与适当的施肥比例活化土壤养分有一定的关系。

3 讨论与结论

一般情况下, 水肥耦合效应具有临界值, 小于临界值时, 随着灌水量和施肥量的升高, 产量也会明显提高, 大于临界值时, 产量提升不显著^[19], 在施肥过量时, 会对产量产生负效应^[20-21], 本试验也得到了相似结论, 长红枣产量随着施肥量的增加呈先增加后降低的趋势, 且不同灌水量对产量的影响有相似的规律。沼液复合微生物肥作为一种新型肥料, 目前在我国蔬菜、粮食作物领域逐步推行, 研究表明, 灌溉沼液肥能有效增加油菜维生素 C 含量和还原性糖含量, 降低西红柿遭受病虫害程度, 加快西红柿生长发育进程, 并能提升西红柿品质和产量^[22-24], 本试验施用适量沼液肥可提高宁夏灵武长

表 7 不同处理对土壤化学性质的影响

处理	土壤层次 (cm)	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	有机质含量 (g/kg)
W1F1	0 ~ 30	37.8	23.3	196.0	10.74
	30 ~ 60	30.4	21.4	186.0	7.54
W1F2	0 ~ 30	41.0	60.1	213.0	11.65
	30 ~ 60	43.2	49.1	199.0	6.34
W1F3	0 ~ 30	21.2	55.6	245.0	9.08
	30 ~ 60	33.9	48.4	221.0	9.64
W2F1	0 ~ 30	33.9	29.3	186.0	8.95
	30 ~ 60	32.5	22.9	176.0	8.59
W2F2	0 ~ 30	22.6	45.3	191.0	12.84
	30 ~ 60	44.5	27.6	185.0	11.82
W2F3	0 ~ 30	32.5	36.5	215.0	12.70
	30 ~ 60	29.7	28.5	208.0	7.50
W3F1	0 ~ 30	21.0	32.4	175.0	8.23
	30 ~ 60	26.0	32.7	177.0	8.88
W3F2	0 ~ 30	24.0	34.9	234.0	10.23
	30 ~ 60	35.2	21.3	221.0	10.42
W3F3	0 ~ 30	21.9	26.1	216.0	7.13
	30 ~ 60	31.1	24.9	189.0	7.83

红枣可溶性糖及维生素 C 含量的结果与之一致。灌溉沼液肥还可增加土壤铵态氮和硝态氮含量, 增进稻田营养物质可持续化利用, 与化肥配施功效更加显著^[25]。本试验研究表明, 沼液肥供给土壤的有效磷含量基本与土壤本底值持平, 在生产过程中应

适当减少磷肥投入。还有研究表明,沼液肥还田明显增加了各深度土壤中细菌、放线菌及真菌的含量^[26],提高了土壤微生物的丰富度,在今后的试验中,应关注沼液肥对枣园土壤微生物的影响,以及沼液肥和化肥配施对宁夏长红枣的影响。畜禽养殖粪便作为沼液肥的主要来源,会导致重金属和抗生素污染等问题发生,因此,仍需要对沼液还田应用技术进行全面的风险评估,从而促进并推动农业高质量发展。

适量的沼液复合微生物肥可增加枣树叶片叶绿素含量,加快光合作用,从而积聚大量养分,为枣树的健康发育提供保障;W2F3 处理能提高枣树坐果率;W2F2 处理可促进长红枣可溶性固形物的形成,降低长红枣的硬度,改善果实品质,长红枣的横径和纵径较大,增产效果较好;中水供应条件下,低肥与中肥处理小于 0.25 mm 的团聚体含量保持在 40% 左右,利于构建完善的土体结构;在低水供应条件下,中肥与高肥处理有效磷累积过多,而其他处理有效磷含量基本与土壤本底值持平,在生产过程中应适当减少磷肥投入。整体分析长红枣生长发育、产量、质量等指标,宁夏灵武市淡灰钙土沼液复合微生物肥在灌水量 4 500 m³/hm²,施肥量 3 000 kg/hm² 处理下和灌水量 4 500 m³/hm²,施肥量 3 900 kg/hm² 处理下能改善长红枣品质,改良土壤理化性状。

参考文献:

- [1] 岳坤,孙亚萍,李占文,等. 配方施肥对灵武长枣叶片荧光特性的影响[J]. 陕西林业科技,2018,46(6):89-93.
- [2] 周丽红. 宁夏灵武长枣产业发展中存在的问题及对策[J]. 果树实用技术与信息,2015,2(23):34-36.
- [3] 李华. 宁夏灵武长枣种植基地土壤养分调查与分析[D]. 银川:宁夏大学,2013:1-39.
- [4] 聂爱湘,古丽米热,布娅. 沼液肥在温室大白菜上的应用对比示范初探[J]. 蔬菜,2010,11(26):35-36.
- [5] 蒋华,王忠义,李忠碧,等. 沼液对番茄、萝卜、芹菜、豇豆产量及品质的影响[J]. 贵州农业科学,2007,35(2):99-100.
- [6] Sanchez C A, Doerge T A. Using nutrient uptake patterns to develop efficient nitrogen management strategies for vegetables [J]. Hort Technology,1999,16(4):601-606.
- [7] 王连君,刘桂英. 酵素菌肥对藤稔葡萄产量和品质的影响[J]. 北方园艺,2009(6):9-12.
- [8] 刘小刚,李丙智,张林森,等. 追施沼液对红富士苹果品质及叶片生理效应的影响[J]. 西北农业学报,2007,16(3):105-108.
- [9] 申丽霞,王璞,张软斌. 施氮对不同种植密度下夏玉米产量及子粒灌浆的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(3):314-319.
- [10] 王桂芳,李丙智,张林森,等. 苹果园沼液配施钾肥对土壤酶活性及果实品质的影响[J]. 西北林学院学报,2009,24(5):88-91.
- [11] 罗健航,刘晓彤,刘超,等. 沼液微生物菌肥对设施番茄植株生长及土壤环境的影响[J]. 安徽农业科学 2017,45(36):98-101.
- [12] 周罕冕. 苹果幼树水肥耦合效应及高效利用机制研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2015:1-122.
- [13] 王振华,杨培岭,郑旭荣,等. 新疆现行灌溉制度下膜下滴灌棉田土壤盐分分布变化[J]. 农业机械学报,2014,45(8):149-159.
- [14] 邢英英,张富仓,张燕,等. 滴灌施肥水肥耦合对温室番茄产量品质和水氮利用的影响[J]. 中国农业科学,2015,48(4):713-726.
- [15] 张会梅,田军仓,马波,等. 膜下滴灌灌溉定额对油菜光合特性和水分生产效率的影响[J]. 灌溉排水学报,2016,35(3):56-60.
- [16] Gartzia - Bengoetxea N, González - Arias A, Merino A, et al. Soil organic matter in soil physical fractions in adjacent semi - natural and cultivated stands in temperate Atlantic forests[J]. Soil Biology and Biochemistry,2009,41(8):1674-1683.
- [17] Schutter M E, Dick R P. Microbial community profiles and activities among aggregates of winter fallow and cover - cropped soil[J]. Soil Science Society of America Journal,2002,66(1):142-153.
- [18] 纪立东,李磊,刘菊莲,等. 基于沼液复合微生物肥的西瓜水肥耦合效应研究[J]. 节水灌溉,2020,9(1),21-24.
- [19] Halil K, David H, Cengiz K, et al. Effects of irrigation and nitrogen rates on growth, yield, and quality of muskmelon in semiarid regions [J]. Journal of Plant Nutrition,2005,28(4):621-638.
- [20] 王新,马富裕,刁明,等. 不同施氮水平下加工番茄植株生长和氮素积累与利用率的动态模拟[J]. 应用生态学报,2014,25(4):1043-1050.
- [21] 高炜城, Azeem M, 孙吉翠,等. 沼液与化肥配施对苹果生长及土壤理化性状的影响——以烟台红富士苹果为例[J]. 江苏农业科学,2020,48(21):160-165.
- [22] 韩晓莉,李博文,刘薇,等. 沼液配方肥对油菜生长、品质及氮素利用的影响[J]. 水土保持学报,2012,35(3):20-24.
- [23] 康凌云,赵永志,曲明山,等. 施用沼渣沼液对设施果类蔬菜生长及土壤养分积累的影响[J]. 中国蔬菜,2011(21):57-62.
- [24] Gao T G, Chen N, Li W Q, et al. Effect of highly efficient nutrient solution of biogas slurry on yield and quality of vegetable [J]. Agricultural Science & Technology,2011,12(4):567-570.
- [25] 左狄,吕卫光,李双喜,等. 沼液还田对稻田土壤养分与氮循环微生物的影响[J]. 上海农业学报,2018(2):55-59.
- [26] Odlare M, Pell M, Svensson K. Changes in soil chemical and microbiological properties during four years of application of various organic residues [J]. Waste Management,2008,28(7):1246-1253.