

柴梦滢,马娟娟,孙西欢,等. 蓄水坑灌条件下苹果树新梢旺长期光合效率分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(4):108-110.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.04.025

蓄水坑灌条件下苹果树新梢旺长期光合效率分析

柴梦滢¹, 马娟娟¹, 孙西欢^{1,2}, 郭向红¹

(1. 太原理工大学水利科学与工程学院,山西太原 030024;2. 山西晋中学院,山西晋中 030619)

摘要:以 6 年生生长富二号矮化砧处理苹果树为试验材料,研究蓄水坑灌条件下新梢旺长期对苹果树的生长、光合速率、叶绿素荧光参数、超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响,为蓄水坑灌法的普及提供理论基础。结果表明,与普通的地面灌溉相比,蓄水坑灌法果树新梢和叶水势值均大于地面灌溉;增加了苹果树叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r);使苹果树叶片的光化学淬灭系数(q_p)增大,电子传递效率(ETR)提高,PS II 实际的光化学量子效率(Φ_{PSII})增大,提高了叶片的光合效率;超氧化物歧化酶(SOD)活性降低。蓄水坑灌法提高了苹果树叶片的光合效率,有利于苹果树的生长发育。

关键词:蓄水坑灌;苹果;新梢旺长期;光合速率;叶绿素荧光参数;超氧化物歧化酶(SOD)

中图分类号: S275.9;S661.107 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)04-0108-03

光合作用是一系列复杂的代谢反应的总和,是生物界赖以生存的基础,也是地球碳氧循环的重要媒介。对于北方的重要经济作物——苹果,其果实干物质中 90% 以上是由果树叶片的合作用形成的,因而果树光合作用对于果树的成长发育、果实品质的优劣以及果实产量至关重要。光合作用的能力通常采用净光合速率表示,随着科技发展,叶绿素荧光技术逐渐应用于光合反应的测定,光能以光化学反应、热能耗散和荧光散失 3 种形式被植物利用,3 种能量相互竞争,叶绿素荧光成为研究光合作用的有效“探针”^[1-3]。除此之外,超氧化物歧化酶(SOD)对果树光合作用起着重要的作用,能够清除光合反应过程中植物体内活性氧的增加,SOD 活性成为环境胁迫下植物应激反应的重要监测指标^[4-5]。

为了适应北方干旱气候,针对山西中部地区水资源紧缺、水土流失等严重问题,孙西欢等提出了蓄水坑灌的方法^[6]。蓄水坑灌法改变了土壤水分分布^[7],使土壤水分集中在中深层,这种特有的水分分布特征必然会影响果树光合作用。前人针对不同龄期的苹果树叶片光合特性进行研究,发现在蓄水坑灌条件下,果树的净光合速率明显优于地面灌溉^[8-9],但是蓄水坑灌法对于果树光合作用影响的研究还未涉足光合反应的内部机理,为进一步弄清光合反应的特性,掌握蓄水坑灌法的光合机理,本试验对光合特性、SOD 活性及叶绿素荧光参数等光合机理指标进行研究,为蓄水坑灌法的普及提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验区情况

收稿日期:2017-10-15
基金项目:国家自然科学基金(编号:51579168);山西省自然科学基金(编号:201601D011053)。
作者简介:柴梦滢(1993—),女,山西运城人,硕士研究生,主要从事灌排理论方面的研究。E-mail:chai0504@qq.com。
通信作者:马娟娟,教授,博士生导师,主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail:mjjxty@163.com。

试验区位于山西省农业科学院果树研究所,土质以壤土为主,土壤容重为 1.47 g/cm³,田间持水量为 30%。试验区为南北向,果树种植株行距为 2 m×4 m,灌溉水源为地下水,试材为 6 年生生长富二号矮化砧嫁接的苹果树。

试验时期为新梢旺长期(2017 年 5 月 15 日至 2017 年 6 月 8 日),这个时期叶片和枝条充分生长,如果营养不足或遇干旱,就会严重影响当年的生长和产量^[10]。选取无病虫害、树龄及长势基本一致的 16 棵苹果树作为试验用树,设 4 个处理,4 个重复,每棵树下设 4 个蓄水坑,均匀布置于环状沟中(东北、东南、西南、西北方向各 1 个),坑深 40 cm,坑径 30 cm。处理 WSP1 参考当地田间灌溉定额,根据土壤含水率和果树叶片生理确定灌溉时间,在 5 月 15 日灌水量约为 450 m³/hm²,处理 WSP2 与 WSP3 灌溉定额设为 WSP1 的 80%与 60%,在 5 月 15 日灌水量分别为 360 m³/hm²和 270 m³/hm²,以地面灌溉为对照,与处理 WSP1 的灌溉定额相同,试验设计及灌水量(表 1)。

表 1 试验设计及灌水量

灌水方式	编号	灌水量(m ³ /hm ²)
地面灌溉	CK	450
蓄水坑灌	WSP1	450
	WSP2	360
	WSP3	270

1.2 测定项目与方法

从各处理中的树冠外围中部,东西南北 4 个方向取长势、叶龄及叶位相一致的鲜活叶片,用于叶水势、光合速率、叶绿素荧光参数、叶绿素、SOD 活性及叶片碳水化合物含量的测定,每个处理 3 组重复,结果取平均值。

1.2.1 新梢测定 用卷尺测量新梢长度,每棵树各取 3 支长势良好的长枝、中枝、短枝进行测量。

1.2.2 叶水势测定 在晴天 06:00,采用 WP4C 露点水势仪对各处理叶片的晨间叶水势进行测定。

1.2.3 光合速率及相关参数 试验采用 LI-6400 便携式光合测定系统进行苹果树净光合速率的测定。光合速率的测定

参数包括净光合速率(P_n)、叶片的气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)及蒸腾速率(T_r)等。在光合速率测定中,测定时段为 09:00—11:00,光强设定为 $1\,500\,\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,以 4 个方向的叶片平均净光合速率作为整棵树的净光合速率进行分析。

1.2.4 叶绿素荧光参数测定 试验采用 Li-6400XT 光合测定系统进行叶绿素荧光参数的测定。叶绿素荧光参数包括最小初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、最小荧光(F_0')、光下最大荧光(F_m')、稳态荧光(F_s)、光化学量子效率(F_v/F_m)、光化学淬灭系数(q_p)、非光化学淬灭系数(NPQ)、电子传递效率(ETR)以及作用光存在时光系统 II(PS II)实际的光化学量子效率($\Phi_{\text{PS II}}$)。

测定叶绿素荧光参数时,先对叶片暗适应 30 min,测定最小初始荧光 F_0 与最大荧光 F_m ,然后对叶片光适应 30 min 后,测定光下最小荧光 F_0' 、光下最大荧光 F_m' 与稳态荧光 F_s ,以 4 个方向的叶片平均叶绿素荧光参数作为整棵树的叶绿素荧光参数。

1.2.5 抗氧化物歧化酶 SOD 活性测定 采用氮蓝四唑比色法^[9],准确称取新鲜叶片 0.1 g,将叶片在磷酸缓冲溶液中研

磨,采用高速冷冻离心机在 12 000 r/min、4 ℃ 下离心,加入显色剂后在 4 000 lx 下进行光照显色处理,采用紫外可见分光光度计在 560 nm 处测定吸光度,计算 SOD 活性。

1.2.6 数据处理 试验数据采用 Excel 和 SPSS 软件进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 蓄水坑灌对苹果树新梢生长和叶水势的影响 研究发现,在苹果树的短、中、长 3 种新梢类型中,短梢长度集中在 8~10 cm 之间,中梢长度集中在 14~17 cm 之间,长梢长度集中在 23~25 cm 之间。蓄水坑灌下各处理的新梢生长均优于地面灌溉,灌水量减少时,新梢长度呈现递减,处理 WSP2 的平均新梢长度相对于 WSP1 仅减少了 0.4 cm 左右。晨间叶水势集中 -1.6~-2.2 kPa,蓄水坑灌下各处理的叶水势均高于地面灌溉,与马艳荣等的研究结论^[10-11]相一致,与地面灌溉相比,蓄水坑灌具有较强的保水性;蓄水坑灌下灌水量减少时,叶水势呈现递减,但处理 WSP2 的灌水量是 WSP1 的 80%,叶水势仅降低了 0.08 kPa,体现了蓄水坑灌的保水节水作用(表 2)。

表 2 新梢旺长期蓄水坑灌对苹果树新梢生长和叶水势的影响

处理	短梢长度 (cm)	中梢长度 (cm)	长梢长度 (cm)	叶水势 (kPa)
CK	8.38 ± 1.57b	14.21 ± 2.03a	24.84 ± 4.70a	-2.15 ± 0.07b
WSP1	9.97 ± 0.88a	16.33 ± 1.90a	24.93 ± 2.48a	-1.62 ± 0.20a
WSP2	9.77 ± 1.32ab	16.09 ± 2.53a	23.93 ± 2.43a	-1.70 ± 0.14a
WSP3	8.86 ± 2.01ab	14.69 ± 2.38a	22.74 ± 2.13a	-2.01 ± 0.07b

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下表同。

2.2 蓄水坑灌对苹果树叶片光合特性的影响

研究发现,净光合速率集中在 $9\sim13\,\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,蓄水坑灌条件下各处理的净光合速率均大于地面灌溉的净光合速率,蓄水坑灌处理果树净光合速率大小关系为 WSP1>WSP2>WSP3,与张敏等的研究结论^[9]相一致,可以得出蓄水坑灌有利于提高叶片的净光合速率。气孔导度集中在 $0.14\sim0.19\,\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,蓄水坑灌下各处理的气孔导度均高于地面灌溉,灌水量减少时,气孔导度减少,但相比处理 WSP1, WSP2 的气孔导度并不因灌水量的减少而下降。胞间 CO_2 浓度集中在 $270\sim296\,\mu\text{mol}/\text{mol}$,受净光合速率与气孔导度的影响,处理 WSP1 的净光合速率和气孔导度均达到最大,其胞间 CO_2 浓度最小;WSP2 气孔导度与 WSP1 相同,其净光

合速率小于 WSP1,使 WSP2 的胞间 CO_2 浓度最大;地面灌溉的气孔导度和净光合速率均小于 WSP3,其胞间 CO_2 浓度与 WSP3 相近。蒸腾速率集中在 $4\sim6\,\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,蓄水坑灌下各处理的蒸腾速率均大于地面灌溉,蒸腾速率受气孔导度和叶片水势的影响,地面灌溉的气孔导度最小,使其蒸腾速率最小,WSP2 气孔导度与 WSP1 相同,但叶水势较 WSP1 降低了 0.08 kPa,使 WSP2 的蒸腾速率增大。水分利用效率集中在 $1.5\sim2.5\,\mu\text{mol}/\text{mmol}$,它是由净光合速率除以蒸腾速率计算得出,WSP1 的净光合速率大,使其水分利用效率高于地面灌溉,处理 WSP2 与 WSP3 的净光合速率小,蒸腾速率大,使其叶片光合作用的水分利用效率下降(表 3)。

表 3 新梢旺长期蓄水坑灌对苹果树叶片光合特性的影响

处理	P_n [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	G_s [$\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	C_i ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	T_r [$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	WUE ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)
CK	9.42 ± 3.44b	0.14 ± 0.04a	280.34 ± 44.01a	3.98 ± 0.90b	2.35 ± 0.83a
WSP1	12.87 ± 2.58a	0.19 ± 0.04a	270.53 ± 19.25a	5.31 ± 0.83a	2.43 ± 0.37a
WSP2	10.05 ± 2.61b	0.19 ± 0.05a	295.21 ± 14.37a	5.81 ± 1.18a	1.72 ± 0.26b
WSP3	9.90 ± 2.37b	0.17 ± 0.05a	281.54 ± 17.74a	4.87 ± 1.35ab	2.06 ± 0.31ab

2.3 蓄水坑灌对苹果树叶片叶绿素荧光参数的影响 光化学量子效率(F_v/F_m)是指没有遭受任何环境胁迫并经过充分暗反应的植物体叶片,其光合机构光系统 II(PS II)最大的潜在光化学量子效率,用于光合能力的灵敏的指示,处

理 WSP1 与 WSP2 的 F_v/F_m 高于地面灌溉,WSP3 的 F_v/F_m 小于地面灌溉,蓄水坑灌有利于提高光合的潜在光化学量子效率,灌溉定额为 WSP1 的 60% 时果树受到环境胁迫。光化学淬灭系数(q_p)反映了 PS II 反应中心的开放程度,它的变化是

由于饱和光导致的反应中心的关闭,其值集中在 0.59 ~ 0.70,蓄水坑灌下各处理的 q_P 值均显著高于地面灌溉,灌水量减少时, q_P 值呈现递减,说明蓄水坑灌有利于叶片光反应中心的开放,灌水量减少会限制光反应中心的开放。非光化学淬灭系数(NPQ)反映了植物热耗散能力的变化,通常非光化学淬灭系数的增长可能是叶片为免受光破坏的保护机制,其值集中在 2.40 ~ 2.85,WSP1 的 NPQ 值最小,在蓄水坑灌条件下,处理 WSP1 与 WSP2 的苹果叶片受光破坏小,用于热耗散的能量较低,WSP3 的 NPQ 值骤增,因为 WSP3 的果树受到胁迫,用于热耗散的能量多。电子传递效率(ETR)与植物体叶片固定 CO₂ 存在一定的相关性,也是研究苹果树叶片光

合作用的一个重要指标,其值集中在 170 ~ 226,蓄水坑灌下各处理的 ETR 值均大于地面灌溉,蓄水坑灌有利于提高光合反应过程中电子的传递,灌水量减少时,ETR 值呈现递减,灌水量减少会降低叶片中电子的传递效率。作用光存在时 PS II 实际的光化学量子效率,即 PS II 反应中心电荷分离实际量子效率,反映了被用于光化学途径激发能占进入 PS II 总激发能的比例,是植物光合能力的一个重要指标,其值集中在 0.25 ~ 0.35,蓄水坑灌下各处理的 Φ_{PSII} 值均高于地面灌溉,灌水量减少时, Φ_{PSII} 值呈现递减,WSP3 的 Φ_{PSII} 值仍比地面灌溉高 0.05,可见,蓄水坑灌有利于提高果树叶片的真实光合能力(表 4)。

表 4 新梢旺长期蓄水坑灌对苹果树叶片叶绿素荧光参数的影响

处理	光化学量子效率 (F_v/F_m)	光化学淬灭系数 (q_P)	非光化学淬灭系数 (NPQ)	电子传递效率 (ETR)	实际的光化学量子效率 (Φ_{PSII})
CK	0.80 ± 0.02a	0.59 ± 0.08b	2.68 ± 0.29ab	172.18 ± 37.14b	0.26 ± 0.06b
WSP1	0.81 ± 0.01a	0.70 ± 0.05a	2.41 ± 0.34b	225.01 ± 48.79a	0.34 ± 0.07a
WSP2	0.81 ± 0.01a	0.67 ± 0.03a	2.53 ± 0.26ab	215.99 ± 33.32ab	0.33 ± 0.05ab
WSP3	0.79 ± 0.01a	0.66 ± 0.08a	2.84 ± 0.46a	205.28 ± 24.59a	0.31 ± 0.04a

2.4 蓄水坑灌对苹果树叶片 SOD 活性的影响

超氧化物歧化酶是生物体内重要的抗氧化酶^[12-13],它能够对抗与阻断超氧离子 O₂⁻· 对叶片细胞的损坏。研究发现,超氧化物歧化酶的活性集中在 135 ~ 151 U/g,WSP1 的 SOD 活性最低,蓄水坑灌下处理 WSP1 与 WSP2 的酶活性均低于地面灌溉,灌水量减少时,SOD 活性逐渐增大,相比于 WSP1,WSP2 的 SOD 活性仅增加了 1.75 U/g,说明 WSP2 的 80% 灌水定额对 SOD 活性的影响不大。蓄水坑灌条件下,对 SOD 需求少,光合反应过程产生的超氧离子 O₂⁻· 含量少,对叶片细胞的损伤程度小(表 5)。

表 5 新梢旺长期蓄水坑灌对苹果树叶片 SOD 酶活性的影响

处理	SOD 酶活性(U/g)
CK	146.24 ± 85.03a
WSP1	138.75 ± 79.72a
WSP2	140.50 ± 82.40a
WSP3	150.96 ± 90.20a

3 结论

通过研究蓄水坑灌条件下苹果树新梢旺长期光合效率,以传统的地面灌溉为对照,分析了蓄水坑灌对苹果树新梢生长、光合特性、SOD 活性的影响,以及直接反映光合效率的叶绿素荧光参数的影响,得到以下结论:蓄水坑灌条件下,各处理的短梢和中梢生长均优于地面灌溉,灌水量减少时,新梢长度呈现递减;蓄水坑灌各处理的叶片晨间叶水势多显著高于对照,说明蓄水坑灌具有较强的保水性。蓄水坑灌条件下,各处理的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均大于地面灌溉,当灌水量减少时,其值呈现递减。蓄水坑灌条件下,叶片光反应中心的开放度大,电子传递速率大,作用光存在时 PS II 实际的光化学量子效率均高于地面灌溉,叶绿素荧光参数相互关联,表征蓄水坑灌真实的光合能力强。蓄水坑灌条件下,对叶片细胞的损伤程度小,对 SOD 需求少。

参考文献:

[1] 张 栋. 干旱胁迫对苹果光合作用和叶绿素荧光的影响及叶片衰老特性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2011.

[2] 李林光,李芳东,王 颖,等. 苹果四倍体品种叶绿素荧光参数的日变化[J]. 果树学报,2011(1):129-133.

[3] 张海燕,张林森,李丙智,等. 半根灌溉对成龄苹果树光合荧光及果实品质的影响[J]. 西北农业学报,2009,18(5):306-311.

[4] 马怀宇,吕德国,刘国成,等. 不同灌水方式对‘寒富’苹果叶片光合功能和抗氧化酶活性的影响[J]. 生态学杂志,2012,31(10):2534-2540.

[5] 裴 斌,张光灿,张淑勇,等. 土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响[J]. 生态学报,2013,33(5):1386-1396.

[6] 孙西欢,马娟娟,周青云,等. 蓄水坑灌法技术要素初探[J]. 沈阳农业大学学报,2004,35(5):405-407.

[7] 崔世勇,孙西欢,郭向红,等. 蓄水坑灌不同坑深条件下土壤水分分布特征分析[J]. 节水灌溉,2014(5):14-17.

[8] 李 波,郭向红,孙西欢,等. 蓄水坑灌条件下不同灌水下限幼龄苹果树叶片光合特性研究[J]. 节水灌溉,2016(5):51-56.

[9] 张 敏,孙西欢,郭向红,等. 蓄水坑灌下苹果树光合日变化与影响因素的分析[J]. 中国科技论文,2015(9):1095-1100.

[10] 马艳荣,马娟娟,孙西欢,等. 蓄水坑灌条件下苹果树叶水势及其影响因素的研究[J]. 中国农村水利水电,2015(10):1-4.

[11] 桑永青,马娟娟,孙西欢,等. 蓄水坑灌下不同灌水对新梢旺长期苹果园 SPAC 系统水势影响研究[J]. 节水灌溉,2016(3):6-10.

[12] 赵 静,吴 茹,李 楠,等. 青钱柳多糖对高脂血症小鼠 SOD、GSH-Px、CAT 基因 mRNA 表达的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(4):124-127.

[13] 杨伟克,唐芬芬,刘增虎,等. 高温和低温条件下琥珀蚕血淋巴 SOD 及 CAT 活性的变化[J]. 江苏农业科学,2017,45(1):153-155.