

紫茄生长及养分利用对增氧地下滴灌的响应研究

雷宏军, 王露阳, 潘红卫, 胡世国

(华北水利水电大学 水利学院/河南省节水农业重点实验室, 郑州 450046)

摘要:【目的】探究不同土壤条件下增氧灌溉方式对作物生长、产量及养分利用的影响。【方法】以郑州黄黏土、洛阳粉黏质壤土和驻马店砂壤土为供试土壤,以常规地下滴灌为对照(CK),设置曝气灌溉(AI)与化学增氧灌溉(HP)2种增氧方式,研究了温室紫茄生长及养分利用对增氧地下滴灌的响应。【结果】与CK相比,AI和HP处理提高供试土壤中紫茄净光合速率,黄黏土、粉黏质壤土和砂壤土下分别增加19.66%和8.49%、14.02%和7.51%、10.13%和5.91%。同时,AI和HP处理均显著促进根系生长、提升根系活力,进而提高紫茄的养分吸收效率、产量和水分利用效率($P<0.05$)。其中,黄黏土下AI和HP处理作物氮吸收效率分别提高136.16%和65.43%,紫茄产量提高46.85%和28.49%,水分利用效率提高44.59%和27.38%;粉黏质壤土AI和HP处理作物氮素吸收效率分别提高141.23%和88.76%,产量分别提高41.52%和20.68%,水分利用效率提高41.06%和21.39%;砂壤土AI和HP处理作物氮素吸收效率分别提高112.60%和45.47%,产量提高49.86%和17.59%,水分利用效率提高48.81%和17.97%。【结论】曝气地下滴灌对紫茄生长、水分和养分利用的促进作用较为显著,而在不同土壤类型下,曝气地下滴灌对砂壤土紫茄产量增产及水分利用效率提升效果最优。

关键词:增氧地下滴灌;产量;光合作用;养分吸收效率;水分利用效率

中图分类号:S275.6

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.20180398

雷宏军,王露阳,潘红卫,等.紫茄生长及养分利用对增氧地下滴灌的响应研究[J].灌溉排水学报,2019,38(3):8-14.

0 引言

作物高产受作物自身基因遗传因素和周围环境因素的双重影响。其中,根际土壤水肥气热的协调与供应是影响作物高产潜力发挥的重要土壤环境因素^[1]。作物根系需要一定比例且连续供给的氧气来维持其活力,用以保障作物生理功能的基本运转,保障作物地上部生长,因此,土壤中的氧气与水分、养分同等重要。根系呼吸所需要的氧气来源于土壤外部空气扩散至根区的氧气以及土壤水中的溶解氧^[2]。土壤因质地的不同,其氧气扩散速率存在较大差异。灌溉是补充作物水分需求的重要措施,然而,灌溉导致土壤水分驱替土壤空气^[3],土壤水分升高导致土壤中的氧气、二氧化碳在大气与土壤间的交换受阻,土壤含氧量下降^[4-5]。低氧胁迫下作物蒸腾作用减缓,养分吸收受到极大限制,植株生长受到抑制,必然影响到作物的产量水平^[6-7]。增氧地下滴灌是通过地下滴灌将富氧水体输送至作物根区的一种新型灌溉技术,为克服灌溉导致的作物低氧胁迫提供技术支持。已有研究成果表明,增氧地下滴灌能提高作物水分利用效率,促进作物生长,提高作物产量^[8-9]。Bhattarai等^[10]研究表明,当作物灌溉水量大于作物需水量的75%后,地下滴灌下棉花的产量并不能相应的随灌溉水量的增加而增加。同时,McHugh等^[11]也指出,地下滴灌的作物产量所带来的效益经常不足以弥补地下滴灌系统的基础设施投入。Payero等^[12]将地下滴灌高灌水量下作物产量的不匹配归因于过低的土壤含氧量。然而,以往的研究主要关注于同类增氧方式在作物的生理、生长特性的比较,对于不同增氧方式、不同土壤类型下的对比研究较少。本研究探索不同土壤类型(郑州黄黏土、洛阳粉壤土及驻马店砂壤土)下增氧方式(循环曝气与化学增氧灌溉)对作物生长、水肥利用及产量的影响,揭示不同土壤条件下紫茄

收稿日期:2018-07-21

基金项目:国家自然科学基金项目(U1504512);河南省科技创新人才项目(174100510021)

作者简介:雷宏军,男,湖北大冶人。教授,博士生导师,博士,主要从事节水灌溉理论与技术及水资源高效利用研究。

Email: hj_lei2002@163.com

生长及养分利用对增氧地下滴灌的响应,为增氧地下滴灌这一新技术的应用提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地点位于华北水利水电大学农业高效用水试验场现代化温室,地处34°47′5.91″N,113°47′20.15″E,该地属于暖温带亚湿润季风气候,多年平均气温为14.3℃,全年光照时间约为2 400 h。温室结构为房脊型,跨度为9.6 m,开间为4 m,总面积达到537.6 m²,内设自动气象观测站。

1.2 试验材料

选用河南省3种典型土壤为供试土壤,并根据美国土壤分类制划分方法,其土壤质地分别为郑州黄黏土(YC),洛阳粉质黏壤土(SCL)与驻马店砂壤土(HL),土壤基本理化性质列于表1。以紫茄为供试作物,品种为紫红线茄,全生育期129 d,采用营养钵育苗,秧苗3叶1心至4叶1心时定植,定植后浇透底水。作物生育时期的划分见表2。

表1 土壤基本理化性质

土壤类型	pH值	速效磷量/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾量/ (mg·kg ⁻¹)	碱解氮量/ (mg·kg ⁻¹)	有机质量/ (mg·kg ⁻¹)	田间持水率/%	黏粒量%	粉粒量/%	砂粒量/%
YC	8.05	5.49	98.39	41.13	11.91	28.0	55	32	13
SCL	8.05	5.49	124.39	51.13	14.91	25.2	19	52	29
HL	6.31	8.14	119.91	68.19	14.93	24.7	11	35	54

表2 紫茄生育期

生育期	苗期	现蕾期	开花期	结果期	成熟期
时段	2月5日—4月8日	4月9—16日	4月7—24日	4月25日—5月20日	5月21日—6月23日

1.3 试验设计

以地下滴灌为供水方式,设置地下水常规灌溉为对照(CK),循环曝气灌溉(AI)和化学加氧灌溉(HP)处理,3种供试土壤YC、SCL和HL,共计9个处理,分别记为YC-CK、YC-AI、YC-HP、SCL-CK、SCL-AI、SCL-HP、HL-CK、HL-AI、HL-HP,6次重复。盆栽紫茄采用半埋式,圆形盆栽桶上口径30 cm,下口径21 cm,高度25 cm。

1.4 灌溉施肥管理

试验土壤均经过风干过筛,每个盆栽桶装土13.5 kg;作物栽种前,每盆基施19 g全要素水溶性肥料(果爱,中国成都一心化工有限公司),其中N、P、K质量比分别为15%、15%和30%,与土壤充分拌匀后分层压实回填。作物种植前利用烘干法测定其初始土壤含水率,当土壤平均含水率下降至田间持水率的60%时进行灌水,当平均含水率达到田间持水率的85%时停止灌水。灌水时间根据称质量法得到的土壤含水率确定,约3~5 d灌溉1次,作物全生育期内灌水情况见表3。

表3 作物全生育期内灌水情况

移植后时间/d	灌水量/L	移植后时间/d	灌水量/L	移植后时间/d	灌水量/L	移植后时间/d	灌水量/L
1	1.000	34	1.386	69	2.607	100	2.805
5	1.485	38	1.551	73	2.508	104	3.069
9	1.848	42	1.254	76	2.805	107	2.475
12	1.089	46	1.188	79	2.739	110	2.706
16	1.353	50	1.353	83	2.772	114	1.518
20	0.924	54	1.848	87	2.508	116	1.155
24	1.858	58	2.079	90	2.838	120	0.891
26	1.221	62	2.442	94	2.508	124	0.858
30	1.518	65	2.706	97	3.168	128	0.759

作物灌溉管理过程中,按照CK、AI与HP处理先后次序进行灌溉。在对AI处理进行灌溉时,打开循环曝气设备,在0.01 MPa条件下对灌溉水进行循环曝气处理20 min,形成微气泡水后输送到AI处理的作物根区。而对HP处理的作物进行灌溉时,首先排尽输水管道中的气泡水,并采用30%的HP3000型农用H₂O₂溶液(Evonik,德国赢创实业公司)配制15 mg/L的溶液进行灌溉。所有盆栽作物均采用地下滴灌供水方式,利

用管间滴头进行供水,每排桶栽布置1条输水支管,滴头与输水支管之间使用毛管连接在一起,所有输水支管连接在输水干管上,并在连接处装有阀门控制水流开关,供水压力为0.1 MPa。选用耐特菲姆滴头(以色列(广州)耐特菲姆农业科技有限公司),滴头设计流量为2 L/h,滴头埋深为10 cm。

1.5 试验观察内容测定方法

1.5.1 光合作用指标

采用光合作用测定仪(Li-6400XT,美国LI-COR公司)测定净光合速率 P_n ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$),测量时选取试验作物顶部的第2片完全舒展开的新叶进行测定,分别于2017年4月10日、4月23日、5月14日、5月23日(晴天)10:00测定,代表紫茄现蕾期、开花期、结果期、成熟期的光合作用特性。

1.5.2 根系、作物生物量、产量及水分利用效率

收获紫茄地上部,挖取其根部、洗涤干净后吸干水分,用精度为0.01 g的电子天平称量地上部和地下部的鲜质量,每盆单独计产(g)。根据盆栽产量与灌水量的比值计算水分利用效率(kg/m^3)。随后,分别置于纸质文件袋中,于105℃烘箱中杀青30 min,再调至70℃继续保持72 h至恒质量,称量干物质质量。根系活力根据氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定。

1.5.3 养分吸收效率

收获过程中,以盆为单位,将根、茎、叶分开,根系用清水冲洗干净,称鲜质量后放入烘箱,在105℃杀青30 min,然后在75℃烘箱中放置72 h,称取干质量。样品粉碎后,过0.5 mm筛,用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮,消煮液用于养分的测定:全氮量用凯氏定氮仪(FOSS 230型)测定,全磷量用钒钼黄吸光光度法测定,全钾量用火焰分光光度计法测定。其中,作物养分吸收效率计算式为:

$$A = C_g / 1000 M_m, \quad (1)$$

$$C = A_N / Y, \quad (2)$$

式中: A 为各器官养分积累量(g); C_g 为各器官养分量(g/kg); M_m 为器官干物质质量(g); C 为作物养分吸收效率(g/g); A_N 为植株各器官养分吸收总量(g); Y 为施肥量(g)。

1.6 统计分析

采用Excel 2013进行数据处理,通过SPSS 22软件Fisher LSD法进行差异性显著分析。

2 结果与分析

2.1 净光合速率

不同土壤条件下紫茄净光合速率(P_n)如图1所示。由图1可知,曝气灌溉组AI处理 P_n 较CK差异显著($P<0.05$),而化学加氧灌溉组HP处理与YC-CK总体上差异不显著。与YC-CK相比,现蕾期YC-AI处理增加19.89%,SCL-AI处理增加14.96%,HL-AI处理增加10.74%($P<0.05$),开花期YC-AI处理增加16.11%,SCL-AI处理增加10.70%($P<0.05$),结果期YC-AI处理增加20.45%,SCL-AI处理增加16.00%,HL-AI处理增加12.39%($P<0.05$),成熟期YC-AI处理增加22.20%,SCL-AI处理增加14.40%,HL-AI处理增加14.65%($P<0.05$)。3种土壤(YC、SCL、HL)下 P_n 全生育期AI和HP处理平均增幅分别为19.66%和8.49%,14.02%和7.51%,10.13%和5.91%。与HL-CK相比,HL-HP处理 P_n 仅在开花期增幅略高于HL-AI处理,并且3种土壤下开花期AI处理 P_n 增幅最小。相同土壤下,现蕾期、结果期、成熟期AI处理 P_n 增幅均高于HP处理。

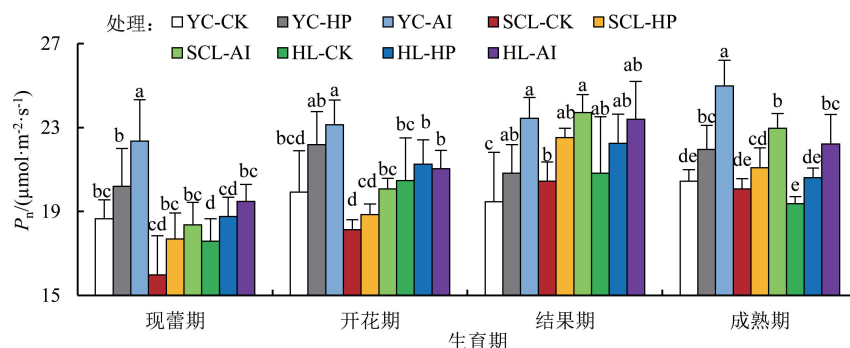


图1 不同土壤条件下不同处理作物的净光合速率

2.2 作物根系生物量及根系活力

紫茄根系生物量及根系活力情况见表4。由表4可知,与相应的CK相比,YC-HP、YC-AI、SCL-HP、SCL-AI、HL-HP、HL-AI处理根系活力分别提高77.97%、119.62%、28.64%、53.68%、46.65%和31.99%($P<0.05$),根鲜质量分别提高38.53%、63.05%、24.78%、29.94%、36.04%和25.44%($P<0.05$),根系干质量分别提高36.69%、74.76%、65.58%、70.79%、33.98%和23.29%($P<0.05$)。

表4 不同处理紫茄根系参数、产量及水分利用效率

处理	根鲜质量/g	根干质量/g	根系活力/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	作物产量/g	水分利用效率/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
YC-CK	44.30 $\pm$ 7.112d	18.07 $\pm$ 2.96d	54.43 $\pm$ 11.40d	777.20 $\pm$ 13.65de	12.38 $\pm$ 0.16de
YC-HP	61.37 $\pm$ 12.13ab	24.70 $\pm$ 3.34c	96.87 $\pm$ 13.94b	998.63 $\pm$ 55.70ba	15.77 $\pm$ 1.00bc
YC-AI	72.23ab $\pm$ 4.28a	31.58 $\pm$ 1.30ab	119.54 $\pm$ 14.02a	1 141.34 $\pm$ 64.88a	17.90 $\pm$ 1.10a
SCL-CK	45.23 $\pm$ 6.09cd	16.88 $\pm$ 0.75d	74.61 $\pm$ 7.48c	756.28 $\pm$ 66.98de	12.25 $\pm$ 1.02de
SCL-HP	56.44 $\pm$ 2.89bc	27.95 $\pm$ 1.23bc	95.98 $\pm$ 8.73b	912.69 $\pm$ 46.59c	14.87 $\pm$ 0.98c
SCL-AI	58.77 $\pm$ 3.52b	28.83 $\pm$ 1.89abc	114.66 $\pm$ 7.32a	1 070.32 $\pm$ 44.42ab	17.28 $\pm$ 0.85a
HL-CK	49.69 $\pm$ 2.64bcd	24.69 $\pm$ 1.18c	72.89 $\pm$ 7.79c	698.65 $\pm$ 134.70e	11.35 $\pm$ 2.27e
HL-HP	67.60 $\pm$ 17.11ab	33.08 $\pm$ 7.54a	106.89 $\pm$ 6.36ab	821.51 $\pm$ 113.18d	13.39 $\pm$ 1.68d
HL-AI	62.33 $\pm$ 4.69ab	30.44 $\pm$ 1.68ab	96.21 $\pm$ 12.48b	1 047.01 $\pm$ 55.12b	16.89 $\pm$ 0.62ab

注 表中数值为平均值 $\pm$ 标准差($n=6$),同列不同字母表示 $P<0.05$ 的显著性差异。

其中,以曝气灌溉YC-AI处理下作物根系活力增幅最大,YC-HP处理增幅次之;但是,HL-AI处理作物的根系活力、根干质量和根鲜质量均略低于HL-HP处理($P>0.05$)。

2.3 作物产量及水分利用效率

紫茄产量和水分利用效率见表4。从表4可以看出,与YC-CK相比,郑州黄黏土YC-AI与YC-HP处理作物产量分别提高46.85%和28.49%($P<0.05$);洛阳粉黏质壤土SCL-AI和SCL-HP处理较SCL-CK分别提高41.52%和20.68%($P<0.05$);驻马店砂壤土HL-AI和HL-HP处理较HL-CK分别提高49.86%和17.59%($P<0.05$)。增氧处理作物水分利用效率较相应CK显著提高($P<0.05$),其中,YC-AI和YC-HP处理水分利用效率分别提高44.59%和27.38%,SCL-AI和SCL-HP处理水分利用效率分别提高41.06%和21.39%,HL-AI和HL-HP处理水分利用效率分别提高48.81%和17.97%。

2.4 养分吸收效率

图2为不同土壤条件下不同处理的作物养分(氮、磷、钾)吸收效率。由图2可知,与CK相比,增氧处理作物养分吸收效率显著提高($P<0.05$)。其中,郑州黄黏土YC-AI和YC-HP处理作物氮素吸收效率分别提高136.16%和65.43%,洛阳粉质黏壤土SCL-AI和SCL-HP处理作物氮素吸收效率分别提高141.23%和88.76%,驻马店砂壤土HL-AI和HL-HP处理作物氮素吸收效率分别提高112.60%和45.47%。与CK相比,YC-AI和YC-HP处理作物磷素吸收效率分别提高142.71%和71.85%,SCL-AI和SCL-HP处理作物磷素吸收效率分别提高154.74%与83.66%,HL-AI和HL-HP处理作物磷素吸收效率分别提高105.46%和26.74%。同时,YC-AI和YC-HP处理作物钾素吸收效率分别提高162.59%和78.17%,SCL-AI和SCL-HP处理作物钾素吸收效率分别提高172.42%和74.82%,HL-AI和HL-HP处理作物钾素吸收效率分别提高160.41%与54.40%。

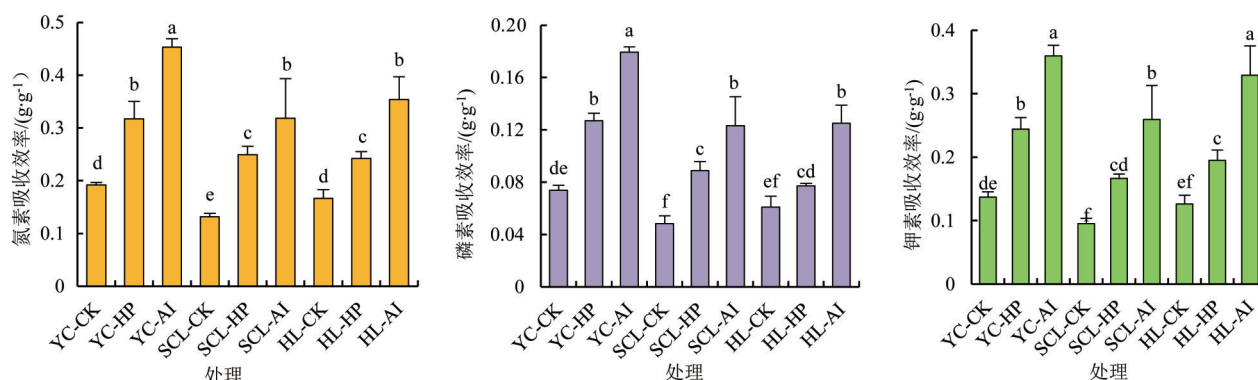


图2 不同处理下作物养分吸收效率

3 讨论

3.1 增氧灌溉对紫茄作物生理指标影响的理论探讨

水、肥、气、热是保障土壤肥力,增加作物产量的重要因素^[13],但是传统农业灌水会造成土壤的通气性下降,降低土壤的孔隙度打破四要素之间的平衡,使土壤理化性质变差,引起作物减产,这一现象在重黏土中尤为明显。已有研究表明,曝气地下滴灌所形成的微型气泡水对作物的根区土壤低氧胁迫有着巨大的缓解作用^[14]。与此同时,经过曝气处理的作物根区土壤氧气量远高于对照^[15],以此改善作物根系的生长环境^[16],保持土壤肥力,有效促进根系生长,增强根系活力^[4,16]。本研究结果显示,增氧处理作物的净光合速率高于常规灌溉,这与李元等^[17]、葛彩莲等^[18]加氧灌溉提高番茄作物的光合速率相吻合。经过增氧处理土壤中的根系活力显著高于常规灌溉。经过增氧处理的作物根系活力、根干质量等根系参数显著提高,说明增氧处理有益于作物根系的生长^[19-20]。与普通灌溉下作物成熟期因衰老造成净光合速率减弱,以至于作物干物质积累减缓不同,增氧处理作物的净光合速率依旧旺盛,对作物干物质积累有积极的影响,从而提高作物的产量^[21]。这与Zhu等^[22]加氧灌溉可以延缓作物衰老这一结论相符。

3.2 增氧灌溉后对紫茄作物水肥利用效率影响的理论探讨

无论是循环曝气增氧处理,还是化学加氧灌溉,增氧灌溉能提高作物的养分吸收效率,作物的氮、磷、钾的吸收量要高于常规灌溉($P<0.05$)。胡志华等^[23]研究认为水稻根部增氧可以提高产量并促进对氮素的吸收与积累,与文中研究结论一致。由于经过增氧处理改善作物根区土壤的通气性,为根区创造良好的营养条件,促使作物的养分吸收量大幅度提高,因此,经过增氧处理作物地上部的养分吸收效率有明显提升。增氧处理作物对氮素、钾素、磷素的吸收利用均高于常规灌溉,以此佐证增氧灌溉的作物生理指标均优于常规灌溉。另一方面,同等施肥量条件下,因增氧灌溉而导致养分吸收效率(氮素、磷素、钾素)的提升可以减少土壤中肥料的残余,降低土壤环境的污染风险。同时,增氧灌溉能提高作物的水分利用效率,这与朱艳等^[24]、尹晓霞等^[25]在增氧灌溉促进番茄水分利用效率的结论相一致。

3.3 不同类型土壤增氧灌溉后对紫茄产量及水分利用效率的影响

试验数据显示,增氧灌溉后对紫茄作物产量和水分利用效率有较大的提高。其中,郑州黄黏土紫茄作物循环曝气增氧灌溉后产量增幅高于洛阳粉黏质壤土。这是因为相同体积质量条件下土体导气率表现为砂壤土>粉黏质壤土>黏土;同等灌水量条件下,由于通气孔隙率比例小,黏土易于缺氧,因此无论是灌溉过程中还是灌溉后通气,黏土的土壤导气率改善效果最好,粉黏质壤土次之^[26-27]。但本试验中驻马店砂壤土紫茄作物循环曝气增氧灌溉后产量增幅高于郑州黄黏土和洛阳粉黏质壤土,可能由于土壤质地不同,土壤孔隙率、持水性等差异较大,从而对土壤养分、水分的保持产生很大的影响^[28],而驻马店砂壤土有土体砂粒较多,其保水、保肥能力较弱,在重力的作用下土壤水分和养分在栽培桶底部聚集,并由于根系生长范围受限,随着水分与养分向下运移,作物根系易集中于栽培容器底部,形成一层较厚的根垫^[29],此外,由于砂壤土自身的理化性质,使得根垫在增氧条件下获得更多水分与养分,造成驻马店砂壤土循环曝气地下滴灌紫茄作物产量增幅及水分利用效率提升效果略高于郑州黄黏土和洛阳粉黏质壤土。

4 结论

1)与常规灌溉相比,增氧灌溉显著提高作物根鲜质量和根系活力($P<0.05$)。其中,黄黏土、粉黏质壤土、砂壤土条件下曝气滴灌组根鲜质量分别提高63.05%、29.94%、25.44%,化学加氧滴灌组分别提高38.53%、24.78%、36.04%;曝气滴灌组根系活力分别提高119.62%、53.68%和31.99%,化学加氧滴灌组根系活力分别提高77.97%、28.64%和46.65%。

2)与常规灌溉相比,曝气滴灌和化学加氧滴灌显著增加作物的产量和水分利用效率($P<0.05$)。其中,郑州黄黏土曝气滴灌和化学加氧滴灌处理作物产量分别增长46.85%和28.49%,洛阳粉黏质壤土分别增长41.52%和20.68%,驻马店砂壤土分别增长49.86%和17.59%;郑州黄黏土曝气滴灌和化学加氧滴灌处理水分利用效率分别增长44.59%和27.38%,洛阳粉黏质壤土分别增长41.06%和21.39%,驻马店砂壤土分别增长48.81%和17.97%。

3)与常规灌溉相比,曝气滴灌和化学加氧滴灌显著提高作物的养分吸收效率($P<0.05$)。作物氮素吸收效率结果中,郑州黄黏土分别提高136.16%和65.43%,洛阳粉黏质壤土分别增长141.23%和88.76%,驻马店

砂壤土分别增长 112.60%和 45.47%;作物磷素吸收效率结果中,郑州黄黏土分别增长 142.71%和 71.85%,洛阳粉黏质壤土分别增长 154.74%与 83.66%,驻马店砂壤土分别增长 105.46%和 26.74%。作物钾素吸收效率结果中,郑州黄黏土分别提高 162.59%和 78.17%,洛阳粉黏质壤土分别提高 172.42%和 74.82%,驻马店砂壤土分别提高 160.41%与 54.40%。

综合考虑作物产量、水分和养分吸收效率,循环曝气滴灌对紫茄的提升效果最优,化学加氧滴灌次之。

参考文献:

- [1] BOYER J S. Plant productivity and environment[J]. Science, 1982, 218(4 571): 443-448.
- [2] 李元,牛文全,许健,等. 加气滴灌提高大棚甜瓜品质及灌溉水分利用效率[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 147-154.
- [3] RIEU M, SPOSITO G. Fractal fragmentation, soil porosity, and soil water properties: I. Theory[J]. Soil Science Society of America Journal, 1991, 55(5): 1 231-1 238.
- [4] BHATTARAI S P, PENDERGAST L, MIDMORE D J. Root aeration improves yield and water use efficiency of tomato in heavy clay and saline soils[J]. Scientia Horticulturae, 2006, 108(3): 278-288.
- [5] KUZYAKOV Y, CHENG W. Photosynthesis controls of rhizosphere respiration and organic matter decomposition[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33(14):1 915-1 925.
- [6] MORARD P, SILVESTRE J. Plant injury due to oxygen deficiency in the root environment of soilless culture: A review[J]. Plant Soil, 1996, 184(2): 243-254.
- [7] BIEMELT S, KEETMAN U, ALBRECHT G. Re-aeration following hypoxia or anoxia leads to activation of the antioxidative defense system in roots of wheat seedlings[J]. Plant Physiology, 1998, 116(2): 651-8.
- [8] 陈新明, DHUNGEL J, BHATTARAI S, 等. 加氧灌溉对菠萝根区土壤呼吸和生理特性的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2010, 28(6): 543-547.
- [9] 张文正, 翟国亮, 王晓森, 等. 微纳米加气灌溉对温室番茄生长、产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(10): 24-27.
- [10] BHATTARAI S P, MCHUGH A D, LOTZ G, et al. The response of cotton to subsurface drip and furrow irrigation in a vertisol[J]. Experimental Agriculture, 2006, 42(1): 29-49.
- [11] MCHUGH A D, BHATTARAI S, LOTZ G, et al. Effects of subsurface drip irrigation rates and furrow irrigation for cotton grown on a vertisol on off-site movement of sediments, nutrients and pesticides[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2008, 28(4):507-519.
- [12] PAYERO J O, TARKALSON D D, IRMAK S, et al. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate[J]. Agricultural Water Management, 2008, 95(8): 895-908.
- [13] 雷宏军, 胡世国, 潘红卫, 等. 土壤通气性与加氧灌溉研究进展[J]. 土壤学报, 2017, 54(2): 297-308.
- [14] 李元, 牛文全, 吕望, 等. 加气灌溉改善大棚番茄光合特性及干物质积累[J]. 农业工程学报, 2016, 32(18): 125-132.
- [15] BHATTARAI S P, HUBER S, MIDMORE D J. Aerated subsurface irrigation water gives growth and yield benefits to zucchini, vegetable soybean and cotton in heavy clay soils[J]. Annals of Applied Biology, 2004, 144(3): 285-298.
- [16] GOORAHOO D, CARSTENSEN G, ZOLDOSKE D F, et al. Using air in sub-surface drip irrigation (SDI) to increase yields in bell peppers[J]. International Water Irrigation, 2002, 22(2): 39-42.
- [17] 李元, 牛文全, 吕望, 等. 加气灌溉改善大棚番茄光合特性及干物质积累[J]. 农业工程学报, 2016, 32(18): 125-132.
- [18] 葛彩莲, 蔡焕杰, 王健. 加氧滴灌对日光温室番茄生育末期各项生育指标和水分利用率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(6): 12-17, 24.
- [19] 肖卫华, 姚帮松, 张文萍, 等. 加氧灌溉对烟草生长影响规律的研究[J]. 中国农村水利水电, 2014(2): 30-32.
- [20] 乔建磊, 张冲, 徐佳, 等. 加气滴灌对日光温室蓝莓叶绿素荧光特性的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(12): 14-19.
- [21] 马筱建, 孙景生, 刘浩. 不同方式加气灌溉对温室芹菜生长及产量的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(4): 29-33.
- [22] ZHU Lianfeng, YU Shengmiao, JIN Qianyu. Effects of aerated irrigation on leaf senescence at late growth stage and grain yield of rice[J]. Rice Science, 2012, 19(1): 44-48.
- [23] 胡志华, 朱练峰, 林育炯, 等. 根部增氧模式对水稻产量与氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6): 1 503-1 512.
- [24] 朱艳, 蔡焕杰, 宋利兵, 等. 加气灌溉对番茄植株生长、产量和果实品质的影响[J]. 农业机械学报, 2017, 48(8): 199-211.
- [25] 尹晓霞, 蔡焕杰. 加气灌溉对温室番茄根区土壤环境及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(3): 33-37.
- [26] 王德胜, 张振华, 雷宏军, 等. 河南省代表性土壤导气性能研究[J]. 鲁东大学学报(自然科学版), 2015, 2: 162-166, 171.
- [27] 郭庆, 牛文全, 张振华. 通气与水分再分布对地下滴灌湿润体导气率的影响[J]. 节水灌溉, 2012 (3): 1-5.
- [28] 邵明安, 王全九, 黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [29] 王旭. 钙对根际低氧胁迫下黄瓜幼苗光合生理影响的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.

The Efficacy of Oxygenation in Improving Growth and Nutrients Use Efficiency of Greenhouse Purple Eggplant

LEI Hongjun, WANG Luyang, PAN Hongwei, HU Shiguo

(School of Water Conservancy, North China University of Water Resources and Electric Power/

Henan Key Laboratory of Water-saving Agriculture, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: **【Objective】** Oxygenation has been proved effective in improving soil environment for crops to grow in less permeable soil, and the purpose of this paper is to test its effects on nutrient utilization and yield of purple eggplant under aerated subsurface drip irrigation. **【Method】** The plant was grown in greenhouse and we examined the efficacy of the aerated subsurface drip irrigation on three typical soils in Henan province: Zhengzhou yellow clay (YC), Luoyang clay loam (SCL) and Zhumadian sandy loam (HL). The water used in all irrigation was local groundwater. We investigated two oxygenation methods: aerating the irrigation water (AI) and adding hydrogen peroxide solution (HP) in the irrigation water, with conventional irrigation without oxygenation as the control (CK) **【Result】** AI and HIP increased the photosynthetic rate by 19.66% and 8.49% for YC, 14.02% and 7.51% for SCL, 10.13% and 5.91% for HL, respectively, compared to CK. In addition, AI and HP improved root activity, thereby increasing nutrients uptake, crop yield and water use efficiency ($P<0.05$). Compared to CK, AI and HP increased i) nitrogen uptake by 136.16% and 65.43% for YC, 141.23% and 88.76% for SCL, 112.60% and 45.47% for HL; ii) crop yield by 46.85% and 28.49% for YC, 41.52% and 20.68% for SCL, 49.86% and 17.59% for H; and iii) water use efficiency by 44.59% and 27.38% (YC), 41.06% and 21.39% (SCL) 48.81% and 17.97% (H). **【Conclusion】** Aerating irrigation water had noticeable beneficial impact on root growth, photosynthetic rate, nutrient and water utilization efficiency and the ultimate yield in all the three tested soils, especially for the sandy loam.

Key words: Oxygenation; yield; photosynthesis; nutrient uptake efficiency; water use efficiency

责任编辑:陆红飞