

土壤耕作层含氧量对黄瓜叶片生长特性的影响

沈维, 胡德勇, 姚帮松, 肖卫华, 张立成, 黄正忠, 程峰, 阮三桂

(湖南农业大学 工学院, 长沙 410128)

摘要:为探究土壤耕作层不同深度含氧量对黄瓜各生育期叶片生长特性的影响,在大棚里进行盆栽试验,采用不同增氧灌溉方式(A2处理:每2 h加氧灌溉,A4处理:每4 h加氧灌溉,A8处理:每8 h加氧灌溉,CK:不加氧处理)对黄瓜各生育期进行增氧处理。测定土壤耕作层不同深度的含氧量和黄瓜不同生育期叶片叶绿素量、叶片中可溶性糖和可溶性蛋白质以及光合指标(净光合速率,气孔导度,胞间二氧化碳通量,蒸腾速率)。在黄瓜幼苗期,叶片叶绿素量、可溶性糖和可溶性蛋白质以及光合指标表现为A4处理>A2处理>A8处理>CK,而初花期和结瓜期,表现为A2处理>A4处理>A8处理>CK。在幼苗期时,土壤耕作层含氧量并不是越高越好,适量的氧气可以有效地促进叶片生长;在初花期与结瓜期,土壤耕作层含氧量越高越利于促进叶片生长。土壤耕作层含氧量与叶绿素量、叶片可溶性糖和可溶性蛋白质量以及光合速率呈明显正相关关系。

关键词:含氧量;叶片生长特性;叶绿素量;可溶性糖;可溶性蛋白质;光合特性

中图分类号: S152.6; S642.2

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.04.009

沈维,胡德勇,姚帮松,等.土壤耕作层含氧量对黄瓜叶片生长特性的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(4):47-52.

0 引言

土壤是植物生长的载体,在植物的生长过程中,不仅需要给植物提供生长所需的水肥,还必须有适合土壤结构和适宜的根际生长环境,尤其是土壤中含氧量对植物生长起到了至关重要的作用^[1]。土壤含氧量可以影响根系呼吸、土壤酶活性和土壤养分状况等^[2-4],因此土壤氧气也是土壤肥力的要素之一。植物根系是靠呼吸作用产生能量来维持生理活动,如果土壤氧气供应不足,植物根系呼吸作用就会减弱,水分和养分从土壤向植株组织的转移速率也会下降,导致植株组织中糖类、蛋白质的形成减弱^[5]。植物根系长期在含氧量较低的土壤耕作层中,根系呼吸受到抑制,根系活力降低,对氮、磷、钾等营养元素的吸收作用减弱,磷是形成叶绿素所必需的元素,最终会影响植物叶片中叶绿素的形成^[6-8]。当氧气体积分数较低时,呼吸电子传递链减弱,呼吸作用减弱,供能不足,间接影响叶片光合速率^[9]。

目前在国内外土壤科学研究工作中,土壤气相部分比起固相或是液相的研究更是薄弱,气相部分大多集中在土壤中CO₂、CH₄、N₂O等温室气体的研究,然而土壤中氧气状况的研究鲜有报道。Bhattraï等^[10-11]指出,随着供氧量的增加作物叶绿素量不断上升,史春余等^[12]研究发现,改善土壤通气性能显著提高甘薯光合作用。因此,采用增氧灌溉技术对土壤耕作层加入氧气,提高土壤耕作层含氧量,以此来研究土壤耕作层含氧量变化对作物叶片生长特性的影响。

收稿日期:2016-06-13

基金项目:国家自然科学基金项目(31272248,31401951);国际科技合作项目(2013DFG91190)

作者简介:沈维(1991-),男,湖南湘潭人。硕士研究生,主要从事水资源与灌溉节水新技术研究。E-mail: 284005174@qq.com

通信作者:胡德勇(1980-),男,湖南常德人。讲师,博士,主要研究农业水资源综合利用。E-mail: 43711068@qq.com

1 材料与方法

1.1 试验概况

试验于2015年8—11月在湖南农业大学土肥高效利用国家重点实验室的大棚内进行,试验采用盆栽方法,通过人工控水保证黄瓜所需的水分。黄瓜品种为农科院蔬菜研究所提供园丰元6号黄瓜,试验土壤为湖南农业大学耘园基地的菜地土,该土壤质地为黏壤土,取土壤耕作层10~30 cm表层的熟土,土壤的pH值为5.32,初始质量含水率为1.4%,田间持水率(质量)为32.8%,有机质、全氮、全磷、全钾质量分数分别为13.97、1.63、0.89、20.22 g/kg。经过晒干、磨碎、过筛、填装等步骤装入盆栽盆中。盆中预埋增氧管道和氧气收集装置。

1.2 试验设计

试验设置4个处理,每个处理10盆(10个重复),A2处理每2 h加1次氧,A4处理每4 h加1次氧,A8处理每8 h加1次氧,设置CK为对照组。桶为圆台形,装土深度为32.0 cm,装土上底面直径30.0 cm,下底面直径26.8 cm,初始装土质量25 kg。桶内预埋螺旋状增氧管,增氧管一端连通增氧设备。同时在20、30 cm深度预埋集气瓶,瓶子下半部分钻有小孔,便于土壤耕作层氧气的量的收集与测定。装置示意图见图1。

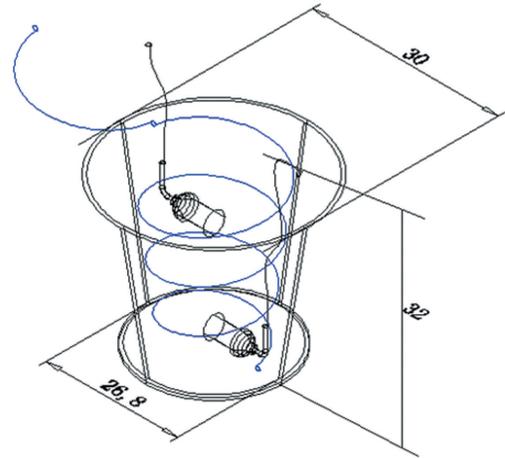


图1 装置示意图(单位:cm)

在黄瓜的试验阶段进行增氧处理,设置通氧时间为126 s(依据ZL201620168566.X)。试验阶段的起止时间为幼苗期—结瓜期。黄瓜的生育期分为4个阶段:8月16—23日为发芽期,8月24日—9月14日为幼苗期,9月17日—10月5日为初花期,10月6日—11月2日为结瓜期。

在人工控水的过程中,保证发芽期所需湿度为田间持水率的80%~90%,幼苗期所需湿度为田间持水率的70%~80%,初花期所需湿度为田间持水率的85%~95%,结瓜期所需湿度为田间持水率的90%以上,利用自制增氧灌溉设备(专利号:ZL201320187007)对土壤耕作层进行增氧。在桶内预埋增氧管,利用增氧泵将空气压缩通入土体中,置换出土体内的气体,提高土壤内含氧量。将初始土壤灌水至田间持水率的95%。利用水分测定仪直接测定土壤中的体积含水率,每组每天测定1次,当含水率接近或达到每阶段田间持水率的控制下限时,开始加水,加水量达到每阶段田间持水率上限值”在发芽期每盆每隔1 d灌1次水,每次17:00灌水800 mL;在幼苗期每盆每天灌水1次,每次灌溉;在初花期每盆每天灌2次水,上午09:00灌400 mL,17:00灌400 mL;在结瓜期每盆每天灌水2次,09:00灌400 mL,17:00灌水500 mL。

1.3 测定项目

在黄瓜的幼苗期至结瓜期(在黄瓜发芽期时间短,指标不易检测),利用测氧仪(YTK01)对土壤耕作层不同深度(表层20 cm,30 cm)测定含氧量;利用叶绿素仪 Model CCM-200测定叶片叶绿素量(CCI值),选取每株完全展开长势较好的叶片,每片叶片测3个点,每盆测3片叶片,取平均值。采用蒽酮比色法测定叶片可溶性糖,采用考马克G-250测定可溶性蛋白。利用S-5100光合速率仪测定叶片光合速率。运用spss16.3软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 土壤耕作层不同深度含氧量的变化

为了直观形象地观测土壤耕作层不同深度(20 cm,30 cm)的含氧量,将不同深度含氧量日变化的平均值与标准差绘于图2。

由图2可知,以CK为对照,A2、A4、A8处理在同等深度的情况下,含氧量明显高于对照组。各处理组符合随着土壤深度的增加,含氧量逐渐降低的规律。A2处理加氧频率最大,在同等深度含氧量也最高,A2处理30 cm深度含氧量为20.50%~20.59%,20 cm深度含氧量为20.65%~20.75%;A4处理30 cm深度含氧量为20.38%~20.47%,20 cm深度含氧量为20.55%~20.63%;A8处理30 cm深度含氧量为20.28%~20.36%,20 cm深度含氧量为20.40%~20.48%;CK处理30 cm深度含氧量20.06%~20.15%,20 cm深度含氧

量20.27%~20.38%。不同的增氧处理,土壤耕作层不同深度含氧量不同,因此各处理中土壤耕作层含氧量会对黄瓜叶片的生长产生直接或者间接的影响。

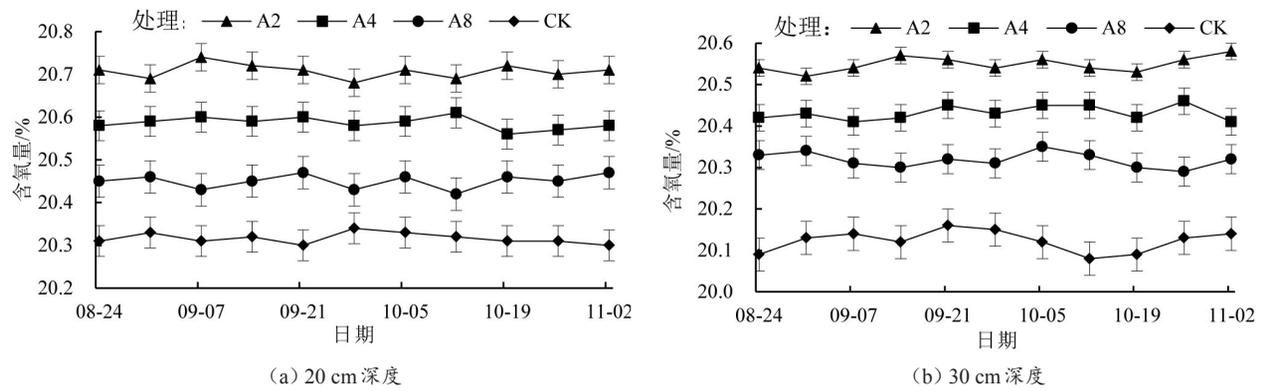


图2 各组含氧量变化

2.2 土壤耕作层含氧量对叶片叶绿素量的影响

叶片叶绿素量是反映叶片生长的一个重要指标,土壤耕作层氧气是影响根系呼吸作用的主要因素之一,根系呼吸影响着根系对土壤中养分和水分吸收,P是合成叶绿素的必需元素,因此土壤含氧量对叶片叶绿素量有着重要的影响。将各处理叶片叶绿素量平均值结果列于表1。

表1 不同处理下各生育期黄瓜叶片叶绿素量(CCI值)

处理	幼苗期			初花期			结瓜期		
	叶片1	叶片2	叶片3	叶片1	叶片2	叶片3	叶片1	叶片2	叶片3
A2	20.45aB	20.17aA	19.14aA	80.15aA	77.67aA	76.47aA	60.41aA	56.13aA	50.21aA
A4	24.14bA	23.74aA	22.97bB	70.25bA	72.04aA	68.41bB	55.23bA	52.84aA	50.15aA
A8	17.21aB	19.36aA	16.12aA	63.51cB	65.94bA	66.08bB	51.07cA	48.12bA	47.62bB
CK	12.13cB	15.72bA	14.25cA	61.42cB	54.23cB	60.78cB	41.32dB	42.05cB	44.35bB

注 同列不同小写字母表示处理差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示处理间差异极显著($P<0.01$),下同。

由表1可知,A2、A4、A8处理与CK存在显著差异。A2、A4、A8处理叶片的CCI值(CCI与叶绿素存在明显相关性,用方程 $y=-ax+b$ 拟合,可以直接反映叶绿素含量)都高于CK,说明土壤耕作层含氧量越高越有利于叶片叶绿素的合成。各组初花期叶片的CCI值最大,结瓜期次之,幼苗期最弱,说明在黄瓜的初花期是生长最旺盛的时期,该时期叶片叶绿素量最高。然而在幼苗期,即使A2处理含氧量高于A4处理,但A4处理叶片的CCI值大于A2处理、A8处理、CK,说明黄瓜处于幼苗期时,土壤含氧量高并不意味着叶片叶绿素量高,因此黄瓜幼苗期在土壤耕作层增加适量的含氧量(20.38%~20.63%)更有利于叶片叶绿素的合成。在初花期和结瓜期,叶片的CCI值顺序为:A2处理>A4处理>A8处理>CK,土壤耕作层含氧量越大,叶绿素量越高,代表叶片生长越旺盛,因此在黄瓜的初花期和结瓜期,加大通氧频率和通氧量,增加土壤耕作层含氧量更利于叶片叶绿素的合成。

表2 不同处理叶片可溶性蛋白质量和可溶性糖量

生育期	处理	可溶性蛋白质量/(mg·g ⁻¹)	可溶性糖量/(mg·(100g) ⁻¹)
幼苗期	A2	12.36aA	0.34 aA
	A4	14.67bB	0.38 aA
	A8	10.85aA	0.29 aA
	CK	9.87 aA	0.21bB
初花期	A2	35.21 aA	0.84aA
	A4	31.05bA	0.78bA
	A8	28.14cB	0.74bA
	CK	24.91dB	0.68cB
结瓜期	A2	26.31aA	0.65 aA
	A4	23.21bA	0.61 aA
	A8	21.07cA	0.54bB
	CK	18.48dB	0.51cB

2.3 土壤耕作层含氧量对叶片可溶性糖和可溶性蛋白质的影响

黄瓜各生育期叶片中可溶性糖和可溶性蛋白质量如表2所示。由表2可知,在整个生育期叶片可溶性蛋白质和可溶性糖增氧处理比对照有不同程度提高,并且增氧组和空白组都存在极其显著的差异,说明增加土壤耕作层的含氧量,有利于叶片可溶性蛋白质和可溶性糖的合成。在幼苗期叶片可溶性蛋白质量和可溶性糖量:A4处理>A2处理>A8处理>CK,在初花期和结瓜期:A2处理>A4处理>A8处理>CK。在黄瓜的幼苗期,在土壤耕作层增加适量的氧气更有利于叶片中可溶性蛋白质和可溶性糖的合成;在初花期和结瓜期,土壤耕作层含氧量越高越有利于可溶性蛋白质和可溶性糖的合成。

2.4 土壤耕作层含氧量对叶片光合特性的影响

将不同处理条件下叶片净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳通量、蒸腾速率列于表3。

表3 不同处理下叶片光合特性指标

各生育期	处理	光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间CO ₂ 通量/ ($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	气孔导度/ ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率/ ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
幼苗期	A2	9.06aA	196.35aA	0.26aA	2.84aA
	A4	9.68aA	205.48aA	0.33bB	2.93aA
	A8	8.84bB	187.23bB	0.22aA	2.05bB
	CK	8.43bB	175.24bB	0.17cC	1.77cC
初花期	A2	21.29aA	282.38aA	0.70aA	11.12aA
	A4	19.53bB	256.61bB	0.64aA	10.25aA
	A8	17.25bB	242.67bB	0.57bB	9.15bB
	CK	13.90cC	231.54cC	0.48cC	7.43cC
结瓜期	A2	18.78aA	245.14aA	0.56aA	9.91aA
	A4	16.23bB	231.84aA	0.44bB	8.36bB
	A8	13.11cC	212.31bB	0.40bB	8.04bB
	CK	11.28dD	204.36bB	0.36cC	6.31cC

由表3可知, A2、A4、A8处理叶片光合指标与CK存在着显著差异,有些甚至存在着极显著差异,说明增加土壤耕作层含氧量可以有效地增强叶片的光合作用。并且在黄瓜幼苗期光合指标表现为:A4处理>A2处理>A8处理>CK,初花期和结瓜期表现为:A2处理>A4处理>A8处理>CK,与前面的叶片中叶绿素量和可溶性蛋白质的结果一致。黄瓜幼苗期在土壤耕作层增加适量的氧气,能有效地促进叶片光合作用,而在生长旺盛的初花期和结瓜期,给土壤耕作层通入氧气越多,叶片光合作用越强。

2.5 不同处理对黄瓜产量的影响

由表4可知,在增氧灌溉条件下,土壤耕作层含氧量增加,A2、A4、A8处理的产量明显高于CK。从产量的构成因素来看,单瓜质量,单株瓜数,单株产量,A2、A4、A8处理与CK的对比结果表现出一致性,增氧处理均大于对照,且A2处理>A4处理>A8处理>CK。A2处理与CK相比,单瓜质量、单株瓜数、单株产量分别增加31.04%、54.87%、

表4 不同处理下的黄瓜产量

处理	单瓜质量/g	单株瓜数/个	单株质量/g
A2	225.85aA	6.52aA	1411.56aA
A4	214.24aA	5.45bB	1167.61bB
A8	192.36bA	4.95bB	952.18cC
CK	172.34cB	4.21cC	725.55dD

94.55%;A4处理与CK相比,单瓜质量、单株瓜数、单株产量分别增加24.31%、29.45%、60.92%;A8处理与CK相比。单瓜质量、单株瓜数、单株产量分别增加11.61%、17.58%、31.24%。增氧灌溉能大幅度提高黄瓜的产量,说明土壤耕作层含氧量有助于黄瓜的增产。

2.6 土壤耕作层含氧量与黄瓜叶片各项指标的相关性分析

由以上分析可得出,土壤耕作层含氧量与黄瓜不同生育期叶片叶绿素量、叶片中可溶性糖和可溶性蛋白质以及光合指标(净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳能量、蒸腾速率)存在着关联性。利用spss软件,将土壤耕作层含氧量与黄瓜各生育期叶片的各项指标的相关性分析列于表5。

表5 不同生育期含氧量与黄瓜叶片各项指标的相关系数

生育期	指标	氧气	叶绿素	可溶性蛋白质	可溶性糖	光合速率
幼苗期	氧气	1.000				
	叶绿素	0.512*	1.000			
	可溶性蛋白质	0.404*	0.721**	1.000		
	可溶性糖	0.441*	0.834**	0.684*	1.000	
	光合速率	0.124	0.915**	0.532*	0.876**	1.000
初花期	氧气	1.000				
	叶绿素	0.821**	1.000			
	可溶性蛋白质	0.712**	0.812**	1.000		
	可溶性糖	0.765**	0.924**	0.732**	1.000	
	光合速率	0.312	0.951**	0.641*	0.941**	1.000
结瓜期	氧气	1.000				
	叶绿素	0.732**	1.000			
	可溶性蛋白质	0.614*	0.784**	1.000		
	可溶性糖	0.701**	0.907**	0.719**	1.000	
	光合速率	0.218	0.918**	0.624*	0.921**	1.000

注 *表示0.05水平显著相关,**表示在0.01水平显著相关,下同。

由表5可知,土壤耕作层含氧量与叶片生长的各项指标都存在着一定的相关性且显著正相关,(由于土壤耕作层含氧量影响叶绿素合成,进而再影响叶片光合速率,只是间接影响光合速率,因此相关系数较低)。在幼苗期,含氧量与叶片各项指标在0.05水平上相关;在初花期,含氧量与叶片各项指标在0.01水平上相关。在结瓜期,含氧量与叶片各项指标既有在0.05水平上相关,又有在0.01水平上相关。土壤耕作层含氧量与不同生育期叶片各指标相关系数:初花期>结瓜期>幼苗期。说明在生长旺盛的初花期,增加土壤耕作层含氧量,对黄瓜叶片促进作用最大。

3 结论

1)增氧灌溉使土壤耕作层含氧量得到显著提高,土壤耕作层含氧量可以促进叶片叶绿素量、可溶性糖、可溶性蛋白质的合成,并且提高叶片光合速率和黄瓜产量。在黄瓜幼苗期叶片各指标表现为A4处理>A2处理>A8处理>CK,土壤耕作层含氧量并不是越高越好,适量的氧气更有利于叶片生长。而在初花期和结瓜期,叶片各指标表现为A2处理>A4处理>A8处理>CK。土壤耕作层含氧量越高,叶片生长发育越好。

2)土壤耕作层含氧量与叶片生长的各项指标均显著正相关,相关系数在不同生育期表现不同:初花期>结瓜期>幼苗期。说明在黄瓜生长旺盛的初花期,加入氧气量越多,叶片生长会越旺盛。

3)通过分析土壤耕作层含氧量与作物叶片生长特性的关系,增氧灌溉的频率为每2 h一次,增氧灌溉的时间为126 s对黄瓜叶片的促进作用最佳。

参考文献:

- [1] 胡德勇,姚帮松,苏宁虎,等.增氧灌溉对秋黄瓜根系生理生化特性的影响研究[J].灌溉排水学报,2015,34(10):65-68.
- [2] BHATTACHARYYA P, ROY K S, NEOGI S, et al. Effects of rice straw and nitrogen fertilization on greenhouse gas emissions and carbon storage in tropical flooded soil planted with rice[J]. Soil & Tillage Research, 2012, 124: 119-130.
- [3] IMER D, MERBOLD W, BUCHMANN N, et al. Temporal and spatial variations of soil CO₂, CH₄ and N₂O fluxes at three differently managed grasslands[J]. Biogeosciences, 2013, 10(9): 5 931-5 945.
- [4] COLMER T D. Aerenchyma and an inducible barrier to radial oxygen loss facilitate root aeration in upland, paddy and deep-water rice[J]. Annals of Botany, 2002, 91(2): 301-309.
- [5] 徐欢欢,姚帮松,胡德勇,等.输气灌溉对大棚秋黄瓜主要农艺性状的影响[J].华北水利水电学院学报,2011,32(4):32-35.
- [6] 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,2014,3(2):30-32.
- [7] 刘杰,蔡焕杰,张敏,等.加氧灌溉对温室小型西瓜生长发育和产量的影响[J].农业高用水理论与技术,2011,8(10):757-762.
- [8] 李军,李长辉,刘喜才,等.土壤通气性对马铃薯产量的影响及其生理机制[J].作物学报,2004,30(3):279-283.
- [9] 孙周平,郭志敏,刘义玲.不同通气方式对马铃薯根际通气状况和生长的影响[J].西北农业学报.2008,17(4):125-128.
- [10] BHATTARAI S, P, SU N, MIDMORE D J. Oxygenation Unlock yield potentials of crop in oxygen-limited soil environments[J]. Advances in Agronomy, 2005, 88:313-377.

- [11] 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].Secientiahorticulturae,2006,108(3):278-288.
- [12] 史春余,王振林,余松烈. 土壤通气性对甘薯产量的影响及其生理机制[J]. 中国农业科学,2001,34(2):173-178.

Impact of Oxygen Content in the A Horizon on Growth of Cucumber Leaves

SHEN Wei, HU Deyong, YAO Bangsong, XIAO Weihua, ZHANG Licheng,
HUANG Zhengzhong, CHENG Feng, RUAN Sanguai

(College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: This paper investigated the impact of oxygen content in different depths in the A horizon on traits and biochemical characteristics of cucumber leaves during different growth stages. Pot experiment with four treatments was conducted in a greenhouse: A2 -oxigation after every two hours, A4 -oxigation after every four hours, A8 - oxigation after every eight hours, CK-without oxigation. In each treatment we measured the oxygen content in different depths in the A horizon, as well as the contents of chlorophyll, soluble sugar, soluble protein and photosynthetic characteristics (net photosynthetic rate, stomatal conductance, intercellular CO₂, transpiration rate) in the leaves. The results showed that, in the seeding stage, the contents of chlorophyll, soluble sugar, soluble protein and the photosynthetic characteristics were in the order of A4 > A2 > A8 > CK. However, in the flowering and the mature stages, the orders of these contents changed to A4 > A2 > A8 > CK. That is, during the seeding stage, more oxygen in the A horizon does not help the plants, while during the flowering stage and the mature stage, more oxygen in the A horizon benefits the leaves. There was a significant positive correlation between oxygen content and the contents of chlorophyll content, soluble sugar, soluble protein and the net photosynthetic rate in the leaves.

Key words: oxygen content; leaves growth; chlorophyll; soluble sugar; soluble protein; photosynthetic characteristics

责任编辑:赵宇龙