

施钾对亚适宜温光环境下黄瓜幼苗生长和生理特性的影响

常蕊^{1,2} 苗丽¹ 贺超兴¹ 于贤昌¹ 李衍素^{1*}

(¹中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081; ²河南科技大学林学院, 河南洛阳 471000)

摘要:以黄瓜品种中农 26 号为试验材料, 以正常温光条件下正常施钾 ($6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 为对照, 研究了亚适宜温度 [(15~18) °C / (10~12) °C, 昼/夜] 和光照强度 ($165 \sim 300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 下正常施钾 ($6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)、增施 0.5 倍 ($9 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)、1.0 倍 ($12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)、1.5 倍 ($15 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 钾肥等处理对黄瓜幼苗生长和生理特性的影响。结果表明, 与对照相比, 亚适宜温光处理显著降低了黄瓜幼苗株高、单株鲜质量、单株干质量、根冠比、光合色素含量和净光合速率。而亚适宜温光环境下增施适量钾肥处理显著增加了质膜 H^+ -ATPase 活性及叶片中超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 的活性, 但对过氧化物酶 (POD) 的活性无显著影响。随着钾肥施用量的增加, 黄瓜根、茎、叶的 K 含量也逐渐增加, 在增施 1.5 倍钾肥后, 根、茎、叶中的含钾量分别比对照增加 23.53%、37.89%、16.77%, 但 Ca 和 Mg 的含量比对照显著下降。综合比较, 亚适宜温光环境下适量增施钾肥对黄瓜幼苗生长有促进作用, 本试验条件下以增施 1.0 倍钾肥用量, 即钾离子浓度为 $12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时黄瓜幼苗长势最佳, 过量 ($15 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 增施钾肥反而抑制黄瓜生长。

关键词: 亚适宜温光; 黄瓜幼苗; 施钾量; 生长; 生理特性

冬春季节长期低温弱光是黄瓜设施栽培的主要限制因素。近年来, 有关低温 [(8~12) °C / (5~10) °C, 昼/夜]、弱光 ($75 \sim 100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、亚适宜温度 [(15~18) °C / (10~12) °C, 昼/夜]、亚适宜光照强度 ($160 \sim 300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 对设施蔬菜生长发育的影响, 前人已做了大量的研究工作 (于贤昌等, 1999; 陈青君和张福慢, 2000)。周艳虹等 (2004) 研究表明, 持续低温弱光导致黄瓜生长减慢或停滞, 叶绿素含量和净光合速率下降。亚适宜温光处理显著降低黄瓜叶片和根系中氮和钾的含量, 同时氮和钾转运蛋白的表达量也显著

下降 (李衍素, 2012; 尚辉等, 2012; 姚娟等, 2013)。这些研究大多集中在黄瓜对亚适宜温光的适应机理方面, 而关于亚适宜温光环境下黄瓜生长发育的调控研究较少。

作为三大营养元素之一, 钾参与植物的光合碳同化作用 (Bednarz & Oosterhuis, 1999; Basile et al., 2003)、有机物的运输 (Kanai et al., 2011)、细胞膜电势的维持 (Chérel, 2004) 和品质改善 (郑延海等, 2007) 等, 能增强植物的抗逆性, 有抗逆元素之称 (李伟等, 2008)。亚低温下增施一定量的钾肥有助于提高番茄植株的叶绿素含量, 净光合速率及第 1 穗果的单果质量 (李俊, 2013)。增施钾肥还能显著增加湿害胁迫下甘蓝型油菜的产量 (丛野等, 2009)。

另有研究发现, 盐胁迫下增施适量的钾可以显著提高番茄叶片中可溶性糖和脯氨酸的含量, 促进上部叶片中 Na^+ 的区域化, 平衡渗透调节, 缓解逆境胁迫带来的伤害 (Fan et al., 2011)。钾也可以缓解盐胁迫对小麦幼苗的伤害, 提高小麦籽粒的氮素同化能力, 提高籽粒的蛋白质含量 (郑延海等,

常蕊, 女, 硕士研究生, 专业方向: 设施蔬菜栽培, E-mail: 905025505@qq.com

* 通讯作者 (Corresponding author): 李衍素, 博士, 副研究员, 专业方向: 设施蔬菜栽培, E-mail: liyansu@caas.cn

收稿日期: 2015-05-23; 接受日期: 2015-11-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31101583), 公益性行业 (农业) 科研专项 (201203005), 现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-25-C-01), 中国农业科学院科技创新工程项目 (CAAS-ASTIP-IVFCAAS), 农业部园艺作物生物学与种质创制重点实验室资助项目

2007)。但关于钾肥对亚适宜温光环境下黄瓜幼苗生长的作用尚未见报道。

本试验以黄瓜为试材,研究亚适宜温光环境下增施不同量的钾肥对黄瓜幼苗生长、光合特性、根系活力、抗氧化酶活性和钾离子的分配等的影响,以期为冬春季节设施黄瓜幼苗的施肥管理提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验于2014年5~11月在中国农业科学院蔬菜花卉研究所设施栽培日光温室及人工气候室进行。供试黄瓜(*Cucumis sativus* L.)品种为中农26号。

1.2 试验设计

黄瓜种子于28℃恒温培养箱中催芽。挑取发芽整齐一致的种子进行穴盘育苗,基质由蛭石和石英砂按照1V:1V的比例配制而成,子叶展平后用改良的日本山崎营养液浇灌,增施的钾由K₂SO₄补齐,由此带入的SO₄²⁻忽略不计。黄瓜幼苗在日光温室内培养至两叶一心时,挑选长势健壮、整齐一致的,移至人工气候室开始亚适宜温度(15~18)℃/(10~12)℃(昼/夜)和光照强度165~300 μmol·m⁻²·s⁻¹处理,光周期12h/12h(昼/夜),相对湿度70%。另有部分幼苗放置在正常温度(25~30)℃/(15~20)℃(昼/夜)和光照条件600~800 μmol·m⁻²·s⁻¹下生长。

试验以正常温光条件下浇灌山崎营养液(K⁺浓度6mmol·L⁻¹)为对照(CK),亚适宜温光环境下设4个K⁺处理,分别为正常施钾(6mmol·L⁻¹,K6)、增施0.5倍(9mmol·L⁻¹,K9)、1.0倍(12mmol·L⁻¹,K12)、1.5倍(15mmol·L⁻¹,K15)钾肥,每个处理100株,3次重复。处理15d后(正常温光处理的幼苗为四叶一心,亚适宜温光处理的幼苗为三叶一心)测定相关指标。

1.3 测定项目及测定方法

各处理随机挑选10株幼苗测定株高、地上部和地下部的鲜质量、干质量,按照地下部鲜质量与地上部鲜质量的比值来计算根冠比。使用英国PP-systems公司生产的Ciras-2型光合仪测定功能叶片(从植株顶端向下数第2片叶)的净光合速率

(P_n),并且参照赵世杰等(2002)的方法测定光合色素含量。

选取功能叶片,用去离子水洗干净,擦干后将其剪成适宜大小的碎片,称取黄瓜叶片0.5g,加入4mL的0.05mol·L⁻¹磷酸缓冲液[pH7.8,内含0.01 μmol·L⁻¹乙二胺四乙酸(EDTA)]、1%的聚乙烯吡咯烷酮(PVP)和适量石英砂,研磨成匀浆,15000×g离心15min,上清液为粗酶液(Mishra et al., 2006),用于超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性的测定(Gong et al., 2013)。

用去离子水将根系洗干净,擦干后,选取根尖部位,称取0.2g,采用TTC法测定根系活力(张雄,1982);采用化学法测定叶片和根系中质膜H⁺-ATPase的活性(Janicka-Russak & Kłobus, 2007);称取烘干的根、茎、叶片各0.1g,粉碎后采用H₂SO₄-H₂O₂消煮法,用火焰分光光度计测定K、Ca、Mg的含量(鲍士旦,2003)。

1.4 数据分析

利用Excel 2010软件整理原始数据,用DPS软件分析统计数据,以新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 亚适宜温光环境下钾对黄瓜幼苗生长的影响

由表1可以看出,亚适宜温光环境下正常施钾处理(K6)的黄瓜幼苗的株高、单株鲜质量和单株干质量比对照显著下降,增施钾肥可以缓解这种抑制作用,其中增施1.0倍钾肥(K12)的效果最好,分别比亚适宜温光环境下正常施钾处理(K6)的株高、单株鲜质量和干质量增加8.2%、13.0%和29.8%,但增施1.5倍钾肥(K15)的株高、单株鲜质量和干质量反而比K12处理有所降低。与对照相比,正常施钾处理(K6)的黄瓜幼苗的根冠比在亚

表1 亚适宜温光环境下钾对黄瓜幼苗生长的影响

处理	株高/cm	单株鲜质量/g	单株干质量/g	根冠比
CK	11.05 ± 0.44 a	6.69 ± 0.64 a	0.67 ± 0.72 ab	0.19 ± 0.01 b
K6	9.64 ± 0.22 c	5.32 ± 0.38 c	0.57 ± 0.02 c	0.16 ± 0.01 c
K9	9.29 ± 0.26 d	5.11 ± 0.24 cd	0.59 ± 0.05 bc	0.20 ± 0.01 b
K12	10.43 ± 0.37 b	6.01 ± 0.27 b	0.74 ± 0.03 a	0.24 ± 0.03 a
K15	9.49 ± 0.29 cd	4.70 ± 0.41 d	0.68 ± 0.06 c	0.21 ± 0.02 b

注:表中同列数据后不同小写字母表示差异显著(P < 0.05),下表同。

适宜温光环境下显著下降,但增施钾肥使根冠比有所提高,以增施 1.0 倍钾肥(K12)处理的效果最好。

2.2 亚适宜温光环境下钾对黄瓜幼苗根系活力、光合色素和净光合速率的影响

亚适宜温光环境下,除 K15 处理外,黄瓜幼苗的根系活力均比对照显著升高,增施钾肥后根系活力得到进一步提高,以增施 1.0 倍钾肥(K12)效果最佳,比对照提高 55%。

与对照相比,亚适宜温光环境下正常施钾处理(K6)使黄瓜的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素(a+b)及类胡萝卜素含量均显著下降;但增施适量的钾肥可以明显增加光合色素含量,除叶绿素 b 外,其他

光合色素含量以增施 1.0 倍钾肥(K12)的效果最好,增施 1.5 倍钾肥处理(K15)出现抑制效果。亚适宜温光环境下正常施钾处理(K6)黄瓜幼苗的净光合速率比对照显著下降,增施不同量的钾肥后其变化趋势与叶绿素 a 相似(表 2)。

2.3 亚适宜温光环境下钾对叶片抗氧化酶活性的影响

与对照相比,黄瓜叶片 SOD 和 POD 活性在亚适宜温光处理下均显著上升,而 CAT 活性基本无显著变化。SOD 和 CAT 活性都在增施 0.5 倍钾肥(K9)时达到最大,而亚适宜温光环境下增施不同浓度的钾肥对 POD 活性无显著影响(图 1)。

表 2 亚适宜温光环境下钾对黄瓜幼苗叶绿素和净光合速率的影响

处理	根系活力 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (FW)	叶绿素 a $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (FW)	叶绿素 b $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (FW)	叶绿素(a+b) $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (FW)	类胡萝卜素 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (FW)	净光合速率 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
CK	56.79 ± 3.76 d	1.24 ± 0.09 a	0.44 ± 0.02 b	1.68 ± 0.11 a	0.24 ± 0.01 a	38.66 ± 1.87 a
K6	72.15 ± 3.17 bc	0.73 ± 0.03 c	0.31 ± 0.01 c	1.04 ± 0.04 c	0.15 ± 0.01 c	32.55 ± 1.79 b
K9	80.63 ± 2.70 ab	0.81 ± 0.04 bc	0.51 ± 0.03 a	1.33 ± 0.01 b	0.15 ± 0.02 c	31.64 ± 2.00 b
K12	88.25 ± 6.19 a	1.15 ± 0.09 a	0.42 ± 0.02 b	1.57 ± 0.11 a	0.21 ± 0.01 b	37.06 ± 0.76 a
K15	63.68 ± 5.80 cd	0.87 ± 0.01 b	0.30 ± 0.01 c	1.16 ± 0.01 c	0.17 ± 0.02 c	28.31 ± 1.02 c

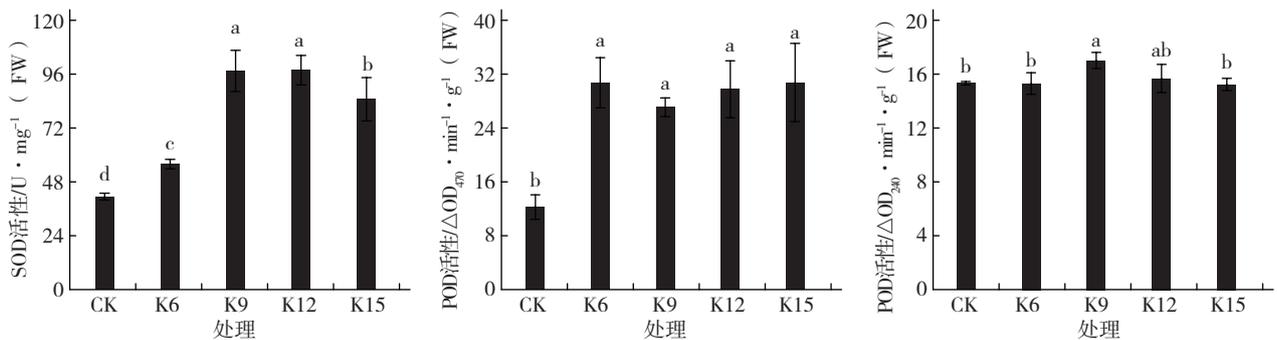


图 1 亚适宜温光环境下钾对黄瓜幼苗叶片 SOD、POD 和 CAT 活性的影响

图柱上不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下图同。

2.4 亚适宜温光环境下钾对黄瓜根系和叶片质膜 H^+ -ATPase 活性的影响

与对照相比,亚适宜温光环境下正常施钾处理(K6)对根系质膜 H^+ -ATPase 活性无显著影响,但可以显著提高叶片质膜 H^+ -ATPase 活性。亚适宜温光环境下增施 0.5、1.0 倍的钾肥可以显著提高根系和叶片质膜 H^+ -ATPase 活性,增施 1.0 倍钾肥处理(K12)的黄瓜根系和叶片质膜 H^+ -ATPase 活性分别是对照的 1.48 倍和 1.52 倍,但增施 1.5 倍钾肥(K15)使其活性下降(图 2)。

2.5 亚适宜温光环境下钾对黄瓜 K、Ca 和 Mg 含量的影响

由表 3 可以看出,与对照相比,亚适宜温光环境下正常施钾处理(K6)使黄瓜幼苗叶中的 K 含量显著下降,茎中钾含量显著上升,根中钾含量无显著变化。随着钾肥施用量的增加,黄瓜幼苗中的 K 含量呈逐渐上升趋势,在增施 1.5 倍钾肥(K15)后,根、茎、叶中的含钾量分别比对照增加 23.53%、37.89%、16.77%。

亚适宜温光环境下正常施钾处理(K6)的黄

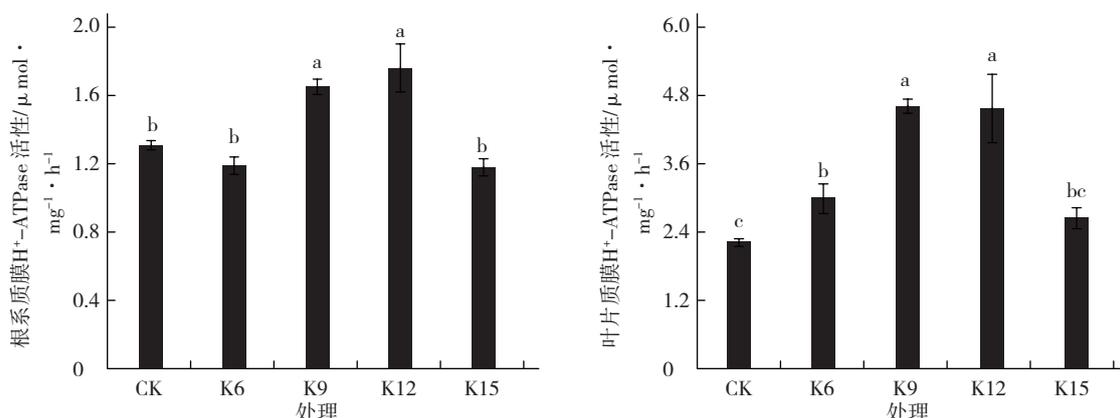


图2 亚适宜温光环境下钾对黄瓜幼苗根系和叶片质膜 H⁺-ATPase 活性的影响

表3 亚适宜温光环境下钾对黄瓜幼苗不同器官中 K、Ca 和 Mg 含量的影响

处理	K/mg · g ⁻¹			Ca/mg · g ⁻¹			Mg/mg · g ⁻¹		
	根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶
CK	33.06 ± 0.25 c	32.38 ± 0.36 e	19.56 ± 1.02 c	14.63 ± 1.25 a	21.01 ± 1.95 a	58.05 ± 2.39 a	10.15 ± 0.45 a	13.33 ± 0.58 b	12.28 ± 0.66 a
K6	34.15 ± 0.74 c	34.36 ± 0.89 d	17.79 ± 0.85 d	13.09 ± 0.59 b	19.30 ± 0.58 b	35.70 ± 1.78 b	10.13 ± 0.57 a	14.11 ± 0.47 a	13.42 ± 0.31 a
K9	39.04 ± 0.52 ab	36.94 ± 1.58 c	19.58 ± 0.79 c	11.00 ± 0.28 c	16.66 ± 0.25 c	34.71 ± 1.55 b	9.13 ± 0.49 ab	11.49 ± 0.23 b	10.46 ± 0.21 b
K12	37.86 ± 0.82 b	38.54 ± 1.44 b	20.59 ± 0.99 b	9.93 ± 0.37 c	16.42 ± 0.19 c	32.23 ± 1.59 b	8.45 ± 0.73 b	12.87 ± 0.59 bc	10.13 ± 0.18 b
K15	40.84 ± 0.99 a	44.65 ± 1.84 a	22.84 ± 1.56 a	11.25 ± 0.62 c	16.64 ± 0.77 c	34.57 ± 1.99 b	8.15 ± 0.11 b	12.16 ± 0.21 cd	10.88 ± 0.19 b

瓜幼苗中的 Ca 含量比对照有所下降, 增施钾肥后根和茎中 Ca 含量显著下降, 但增施不同量的钾肥处理间的 Ca 含量差异不显著。

与对照相比, 亚适宜温光环境下正常施钾处理 (K6) 对黄瓜幼苗根和叶中 Mg 含量无显著影响, 而茎中 Mg 含量显著上升; 增施钾肥后黄瓜幼苗中的 Mg 含量开始下降。

3 结论与讨论

亚适宜温光环境是我国日光温室蔬菜栽培中不可避免的限制因素, 严重影响了喜温蔬菜的产量和品质 (Ensminger et al., 2006; 刘桂红等, 2014)。亚适宜温光对作物造成的伤害程度略小于低温弱光 (姚娟等, 2013), 但也造成光合色素含量下降, 净光合速率降低, 使有机物的合成减少从而直接抑制植物生长 (王永健等, 2005; 梁芳等, 2010), 而且亚适宜温光环境可以降低植株根系活力和根冠比, 通过减少营养物质的吸收和有关酶的活性等, 间接抑制植物发育 (周艳虹等, 2004)。本试验结果表明, 亚适宜温光环境下, 黄瓜幼苗的株高、单株鲜质量、单株干质量和光合速率、根系活力均低于正常温光处理, 这与前人的研究结果一致 (郭晓青, 2011; 李衍素, 2012)。

低温处理下施钾可以减轻玉米叶片的萎焉, 促进根系的生长, 增强植株的吸肥保水能力 (邹国元等, 1999), 而弱光环境下, 番茄根系中 K 的积累量大幅增加 (杨延杰等, 2006)。亚适宜温光环境下黄瓜中氮和钾含量的降低是造成生长受抑的重要原因 (李衍素, 2012)。本试验中, 亚适宜温光环境下增施适量钾肥, 可以显著提高黄瓜幼苗的根冠比和根系活力, 表明增施钾肥能促进亚适宜温光环境下黄瓜根系的生长, 调整根系和叶片的库源关系, 维持植株较为正常的生长 (Cai et al., 2012)。

大量研究表明, 逆境引起植物活性氧代谢失衡, 产生更多的活性氧, 加剧膜脂过氧化, 对植物组织造成伤害 (Shen et al., 1999; 周艳虹等, 2004; Farooq et al., 2008), 其中过量的 H₂O₂ 直接激活选择性 K⁺ 外流通道和非选择性 K⁺ 渗透通道, 导致细胞质中的大量 K⁺ 泄漏 (Demidchik et al., 2010; Zepeda-Jazo et al., 2011), 从而影响植株正常生长。为降低逆境伤害, 植物自身的抗氧化酶系统被激活, 清除过量的自由基。本试验中亚适宜温光环境下黄瓜叶片中的 SOD 和 POD 活性显著提高, 这与前人的研究结果一致 (Farooq et al., 2008; Devi et al., 2012)。同时, 可以补充已经流失的 K⁺, 维持植株中 K⁺ 的适当水平, 以促进植

株的正常代谢。此外,低温处理下过量的 H_2O_2 可以提高黄瓜 H^+ -ATPase 活性 (Malgorzata et al., 2012), 而细胞质中的 K^+ 可以作为解偶联剂直接调节其活性 (Buch-Pedersen et al., 2006)。本试验中,与对照相比,施用 $9\text{ mmol} \cdot L^{-1}$ 和 $12\text{ mmol} \cdot L^{-1}$ 钾肥显著提高了根系和叶片质膜 H^+ -ATPase 的活性,这为 K 的吸收提供了能量 (郝艳淑等, 2011), 但幼苗中 Ca 和 Mg 的含量却明显下降,这可能是由于 K 与 Ca、Mg 的吸收存在拮抗作用 (袁亚培, 2014)。

亚适宜温光环境下施用钾肥降低了叶片中 Mg 的积累,但提高了光合色素的含量,这表明本试验条件下的黄瓜叶片 Mg 含量的减少量不足以成为光合色素合成的限制因素,而 K^+ 可以促进叶绿素的合成,通过维持叶片膨压来调节气孔的功能,促进 CO_2 的同化 (Bednarz et al., 1998; Zhao et al., 2001), 故亚适宜温光逆境下,补充适量的钾肥对维持较高的净光合速率起到重要的作用。同时,叶片中钾间接提升了抗氧化酶活性,可以有效清除体内过量的活性氧,保护黄瓜叶片膜系统的完整性,进而合成更多同化产物,提高植物抗逆性。综上所述,亚适宜温光环境下增施适量钾肥可以促进黄瓜幼苗的生长,以增施 1.0 倍钾肥效果最好,这可能是由于钾肥促进了根部的生长和代谢活性,保证了地上部生长所需养分的吸收,同时钾肥还提高了光合特性和抗氧化酶的自我保护能力,增强了亚适宜温光环境下地上部正常代谢的进行。本试验结果对增施钾肥缓解设施黄瓜栽培中的亚适宜温光逆境提供了一定的理论基础,但具体的缓解机制还需进一步研究。

参考文献

- 鲍士旦. 2003. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社: 203-287.
- 陈青君, 张福曼. 2000. 不同品种黄瓜在低温弱光胁迫和恢复过程中的光合特性. 中国农业大学学报, 5 (5): 30-35.
- 丛野, 李艳君, 周灿金, 邹崇顺, 张学昆, 廖星, 张春雷. 2009. 氮、磷、钾对湿害胁迫下甘蓝型油菜产量的影响. 植物营养与肥料学报, 15 (5): 1122-1129.
- 郭晓青. 2011. 亚适宜温光条件下 ALA 对番茄生理特性的影响 [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学.
- 郝艳淑, 姜存仓, 夏颖, 王晓雨, 陈防, 鲁剑巍. 2011. 植物钾的吸收及其调控机制研究进展. 中国农学通报, 27 (1): 6-10.
- 李俊. 2013. 亚低温及钾肥对温室番茄生理生态特性与营养吸收的

- 影响 [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学.
- 李伟, 黄金丽, 眭晓蕾, 王绍辉, 关秋竹, 周明, 胡丽萍, 张振贤. 2008. 黄瓜幼苗光合及荧光特性对弱光的响应. 园艺学报, 35 (1): 119-122.
- 李衍素. 2012. 亚适宜温光环境对黄瓜幼苗生长、氮和钾吸收与转运的影响 [博士后研究报告]. 北京: 中国农业科学院.
- 梁芳, 郑成淑, 孙宪芝, 王文莉. 2010. 低温弱光胁迫及恢复对切花菊光合作用和叶绿素荧光参数的影响. 应用生态学报, 21 (1): 29-35.
- 刘桂红, 闫妍, 张铁耀, 杜金哲, 于贤昌, 李衍素. 2014. 氮对亚适宜温光下黄瓜生理特性和产量的影响. 核农学报, 28 (6): 1108-1115.
- 尚辉, 李衍素, 白龙强, 孙超, 闫妍, 贺超兴, 于贤昌. 2012. 亚适宜温光环境对黄瓜幼苗生长·光合特性和含氮量的影响. 安徽农业科学, 40 (25): 12419-12422.
- 王永健, 张峰, 许勇, 陈青君, 张海英. 2005. 黄瓜低温弱光耐受性机理及其应用研究的主要进展. 中国蔬菜, (s): 7-12.
- 杨延杰, 李天来, 林多, 范文丽, 韩凌. 2006. 弱光对不同类型番茄干物质积累及矿质营养分配的影响. 华北农学报, 21 (3): 121-124.
- 姚娟, 李衍素, 郭允娜, 贺超兴, 闫妍, 于贤昌. 2013. 短期亚适宜温光对黄瓜氮吸收运转相关酶活性和基因表达的影响. 园艺学报, 40 (7): 1289-1297.
- 于贤昌, 邢禹贤, 马红, 魏珉, 李滨. 1999. 低温胁迫下黄瓜嫁接苗和自根苗内源激素的变化. 园艺学报, 26 (6): 406-407.
- 袁亚培. 2014. 低钾对小麦钾钙镁营养性状的影响及 QTL 分析 [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学.
- 张雄. 1982. 用“TTC”法(红四氮唑)测定小麦根和花粉的活力及其应用. 植物生理学通讯, (3): 48-50, 56.
- 赵世杰, 史国安, 董新纯. 2002. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科学技术出版社: 55-57, 142-143.
- 郑延海, 宁堂原, 贾爱君, 李增嘉, 韩宾, 江晓东, 李卫东. 2007. 钾营养对不同基因型小麦幼苗 NaCl 胁迫的缓解作用. 植物营养与肥料学报, 13 (3): 381-386.
- 周艳虹, 黄黎锋, 喻景权. 2004. 持续低温弱光对黄瓜叶片气体交换, 叶绿素荧光猝灭和吸收光能分配的影响. 植物生理与分子生物学学报, 30 (2): 153-160.
- 邹国元, 杨志福, 李晓林. 1999. 低温下钾在植物水分调节中的作用. 中国农业大学学报, 4 (1): 21-25.
- Basile B, Reidel E J, Weinbaum S A, DeJong T M. 2003. Leaf potassium concentration, CO_2 exchange and light interception in almond trees [*Prunus dulcis* (Mill) DA Webb]. Scientia Horticulturae, 98 (2): 185-194.
- Bednarz C W, Oosterhuis D M, Evans R D. 1998. Leaf photosynthesis and carbon isotope discrimination of cotton in response to potassium deficiency. Environmental Experimental Botany, 39: 131-139.
- Bednarz C W, Oosterhuis D M. 1999. Physiological changes associated with potassium deficiency in cotton. Journal of Plant Nutrition, 22 (2): 303-313.

- Buch-Pedersen M J, Rudashevskaya E L, Berner T S, Venema K, Palmgren M G. 2006. Potassium as an intrinsic uncoupler of the plasma membrane H^+ -ATPase. *The Journal Biological Chemistry*, 281: 38285-38292.
- Cai J, Chen L, Qu H, Lian J, Liu W, Hu Y, Xu G. 2012. Alteration of nutrient allocation and transporter genes expression in rice under N, P, K, and Mg deficiencies. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34: 939-946.
- Chérel I. 2004. Regulation of K^+ channel activities in plants: from physiological to molecular aspects. *Journal of Experimental Botany*, 55: 337-351.
- Demidchik V, Cuin T A, Svistunenko D, Smith S J, Miller A J, Shabala S, Sokolik A, Yurin V. 2010. *Arabidopsis* root K^+ -efflux conductance activated by hydroxyl radicals: single-channel properties, genetic basis and involvement in stress-induced cell death. *Journal of Cell Science*, 123: 1468-1479.
- Devi B S R, Kim J Y, Selvi S K, Lee S, Yang D C. 2012. Influence of potassium nitrate on antioxidant level and secondary metabolite genes under cold stress in *Panax ginseng*. *Russian Journal of Plant Physiology*, 59: 318-325.
- Ensminger I, Busch F, Huner N. 2006. Photostasis and cold acclimation: sensing low temperature through photosynthesis. *Physiologia Plantarum*, 126 (1): 28-44.
- Fan M, Bie Z, Krumbein A, Schwarz D. 2011. Salinity stress in tomatoes can be alleviated by grafting and potassium depending on the rootstock and K-concentration employed. *Scientia Horticulturae*, 130 (3): 615-623.
- Farooq M, Aziz T, Chemma Z A, Hussian M, Khaliq A. 2008. Activation of antioxidant system by KCl improves the chilling tolerance in hybrid maize. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194: 438-448.
- Gong B, Wen D, VandenLangenberg K, Wei M, Yang F J, Shi Q H, Wang X F. 2013. Comparative effects of NaCl and $NaHCO_3$ stress on photosynthetic parameters, nutrient metabolism, and the antioxidant system in tomato leaves. *Scientia Horticulturae*, 157: 1-12.
- Janicka-Russak M, Klobus G. 2007. Modification of plasma membrane and vacuolar H^+ -ATPases in response to NaCl and ABA. *Journal of Plant Physiology*, 164 (3): 295-302.
- Kanai S, Moghaieb R E, El-Shemy H A, Panigrahi R, Mohapatra P K, Ito J, Fujita K. 2011. Potassium deficiency affects water status and photosynthetic rate of the vegetative sink in green house tomato prior to its effects on source activity. *Plant science*, 180 (2): 368-374.
- Malgorzata J R, Katarzyna K, Anna W, Grazyna, K. 2012. Response of plasma membrane H^+ -ATPase to low temperature in cucumber roots. *Journal of Plant Research*, 125: 291-300.
- Mishra S, Srivastavas S, Tripathi R D, Govindarajan R, Kuriakose S V, Prasad M N V. 2006. Phytochelation synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monnieri* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 44: 25-37.
- Shen W Y, Nada K, Tachibana S. 1999. Effect of cold treatment on nonenzymic antioxidant activities in leaves of chilling tolerant and chilling sensitive cucumber (*Cucumis sativus* L.) cultivars. *Journal of the Japanese Society Horticultural Science*, 68 (5): 967-973.
- Zepeda-Jazo I, Velarde-Buend A M, Enriquez-Figueroa R, Bose J, Shabala S, Muniz-Murgua J, Pottosin I I. 2011. Polyamines interact with hydroxyl radicals in activating Ca^{2+} and K^+ transport across the root epidermal plasmamembranes. *Plant Physiology*, 157: 2167-2180.
- Zhao D, Oosterhuis D M, Bednarz C W. 2001. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica*, 39: 103-109.

Effects of Potassium Application on Growth and Physiological Characteristics of Cucumber Seedlings under Suboptimal Temperature and Light Intensity

CHANG Rui^{1, 2}, MIAO Li¹, HE Chao-xing¹, Yu Xian-chang¹, LI Yan-su^{1*}

(¹Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; ²Forestry College, Henan University of science & Technology, Luoyang 471000, Henan, China)

Abstract: Taking cucumber cultivar ‘Zhongnong No.26’ as experimental material, and applying potassium ($6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) under normal light and temperature as the contrast, this paper studied the effects of the following treatments on cucumber seedling growth and physiological characteristics: under suboptimal temperature [(15-18) °C / (10-12) °C, day/night], light intensity ($165-300 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and by applying different potassium with 0 time ($6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$), 0.5 time ($9 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$), 1.0 time ($12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$), 1.5 times ($15 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$). The results showed that the plant height, total fresh weight, total dry weight, ratio of root and shoot, photosynthetic pigment contents and net photosynthetic rate of cucumber seedlings under suboptimal temperature and light intensity were significantly decreased. While under suboptimal temperature and light intensity, increasing

国内主要十字花科抗根肿病品种在湖北病区的表现

甘彩霞¹ 余阳俊² 袁伟玲¹ 崔磊¹ 於校青¹ 邓晓辉^{1*}

(¹湖北省农业科学院经济作物研究所, 湖北武汉 430070; ²北京市农林科学院蔬菜研究中心, 北京 100097)

摘要: 在湖北省宜昌市长阳县和利川市对 25 个抗根肿病的十字花科蔬菜品种进行了集中试验示范, 其中大白菜品种 19 个、甘蓝品种 3 个、萝卜品种 3 个。结果表明: 长阳根肿病菌的致病力较利川根肿病菌强, 绝大多数参试大白菜品种不抗长阳根肿病菌但抗利川根肿病菌, 仅京春 CR2 和京春 CR3 兼抗长阳根肿病菌和利川根肿病菌, 综合经济性状表现优秀, 京春 CR2 和京春 CR3 可以在长阳、利川及类似根肿病菌生理小种区域推广, 其他单抗利川根肿病菌的大白菜品种可在利川及类似根肿病菌生理小种区域推广; 萝卜品种雪单 3 号在长阳表现为耐病, 在利川表现为抗病, 综合经济性状良好; 甘蓝品种 2012070 甘蓝在长阳表现为耐病, 参试甘蓝品种均不抗利川根肿病菌。

关键词: 大白菜; 甘蓝; 萝卜; 根肿病

芸薹根肿病菌 (*Plasmodiophora brassicae*) 主要侵染和为害十字花科作物, 尤其是具有重要经济价值的芸薹属蔬菜作物 (Piao et al., 2009), 如大白

菜 (Piao et al., 2002)、甘蓝 (Crute et al., 1983)、油菜 (Crute et al., 1983)、花椰菜 (Lovelock et al., 2013)、茎瘤芥 (榨菜) (肖崇刚等, 2002)、萝卜 (Kamei et al., 2010) 和芜菁 (Crute et al., 1983) 等。根肿病是一种世界性土传病害, 最早发现于地中海两岸和欧洲南部, 目前很多国家都有发生, 特别是温带地区。近年来, 随着全球气候逐年变暖、土壤酸化程度增加、十字花科作物栽培面积不断扩大、种植基地蔬菜生产轮作年限增加以及南北菜的相互

甘彩霞, 女, 博士研究生, 助理研究员, 专业方向: 萝卜抗病育种与种质资源创新, E-mail: gancaixiazhuanye@126.com

* 通讯作者 (Corresponding author): 邓晓辉, 男, 研究员, 专业方向: 十字花科作物单倍体育种, E-mail: 15927275107@163.com

收稿日期: 2016-02-17; 接受日期: 2016-05-07

基金项目: 主要蔬菜杂种优势利用与新品种选育项目 (2012BAD02B01)

application of potassium fertilizer had significantly increased plasma membrane H⁺-ATPase activity and superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) activity in cucumber leaves, but had no remarkable effect on the activity of peroxidase (POD). With increased application of potassium fertilizer, K content in cucumber root, stem and leaf also increased gradually. After adding 1.5 times of potassium fertilizer, the potassium content in root, stem and leaf were increased 23.53%, 37.89%, 16.77%, respectively than that of the contrast, but the contents of Ca and Mg were significantly decreased. Through comprehensive comparison, we found adding appropriate potassium fertilizer under suboptimal temperature and light intensity would improve the growth of cucumber seedlings. Under the conditions of this experiment, the effects of increasing 1.0 time potassium application, i.e. 12 mmol · L⁻¹ K nutrient solution is the best for cucumber seedlings growth. While, the excessive potassium fertilizer (15 mmol · L⁻¹) might inhibit their growth.

Key words: Suboptimal temperature and light intensity; Cucumber seedling; Potassium application level; Growth; Physiological characteristics