

苋菜秋冬季种植生长生理特性及其栽培技术分析

邵玲^{1,*}, 陈甜妹^{2,3}

¹肇庆学院食品与制药工程学院, 广东肇庆526061

²肇庆学院生命科学学院, 广东肇庆526061

³佛山科学技术学院食品科学与工程学院, 广东佛山528294

摘要:以8种不同产地的苋菜品种为材料,在肇庆地区持续2年采用露地与设施大棚栽培的方式,探讨秋冬季苋菜的生长生理特性,为反季节高效优质栽培苋菜提供科学依据。结果表明:露地栽培地9~28℃温度变幅,明显抑制苋菜植株的正常生长。特选尖叶苋菜(TL)、新白苋菜(XL)品种的发芽率低于50%,各品种植株显著矮化,圆叶白苋菜(YL)、XL株高仅为5 cm左右。大棚栽培的各苋菜品种的发芽率、株高、叶长、叶宽、生物量明显优于露地的栽培方式。露地栽培显著提高苋菜叶中叶绿素SPAD值、苋菜红素、总酚和类黄酮等次生代谢物的积累,为苋菜在本地区秋冬季试行种植提供了生理依据。红叶型苋菜品种对中度低温胁迫适应性更强,3种次生代谢物含量与总抗氧化能力均高于绿叶型品种。供试的8种苋菜品种中,YL、TL、XL品种并不适合在广东肇庆地区秋冬季节栽培。苋菜在当地的反季节栽培,建议采取设施大棚的种植方式,选用江西产地的圆叶红苋菜(YH)或广西产地的优选快大尖叶青苋菜(KL)品种,可达到较好的经济收益。

关键词:苋菜;叶色型;不同产地品种;反季节栽培;生长生理特性;广东肇庆

苋菜(*Amaranthus tricolor*)是苋科(Amaranthaceae)苋属(*Amaranthus*)中以嫩茎叶作为食用的蔬菜,生长迅速,抗逆性强,适应性广,为岭南地区夏季市场主要的蔬菜栽培品种(吴国华和马军强2015;董洪伟2015)。根据叶型色泽,苋菜分为绿叶型与红叶型两大类,红叶型苋菜包括全红苋菜和花红苋菜。红叶型苋菜植株中富含苋菜红素(amaranthine),该色素主要分布于植株的根、茎、叶等组织细胞中,是一类使这些器官呈现红紫色的生物色素(肖深根等2000;Shu等2010)。红叶型苋菜具有根系发达、适应性强、生物量较大、核素(¹³³Cs、⁸⁸Sr)富集能力强等特点,属于超富集植物(郭梦露2017)。

苋菜具有典型的喜温好光特性(牛书丽等2004),生长适温23~27℃,20℃以下生长缓慢,10℃以下种子发芽困难,要求土壤湿润,但不耐涝,对空气湿度要求不严(程稼秋2015)。岭南地区秋冬季经常有不同程度的寒潮胁迫,当地一般在春夏季种植苋菜。近年,随着苋菜栽培品种的选育推新,设施栽培技术的推广,以及人们对反季节叶菜品种的需求,为广东秋冬季苋菜种植提供了可行条件。目前有关苋菜的栽培研究,主要为春夏季时节常规、中度高温(邵玲等2013)或弱光(欧宇丹等

2016)等条件下的报道,秋冬季节露地或设施栽培条件对苋菜的生长特性有何影响尚未知。本研究将为掌握肇庆地区秋冬季不同苋菜品种的自然生长生理特性,筛选适宜本区苋菜秋冬季种植的品种及其栽培方式提供科学技术依据。

1 材料与方法

1.1 材料和处理

结合广东肇庆地区秋冬季的气候情况,选购具有一定耐寒性的苋菜(*Amaranthus tricolor* L.)品种为试材,红叶型与绿叶型栽培品种各4个(表1)。

2017年秋冬季开始,连续2年于当年的11月~翌年1月,在广东肇庆学院生物园试验地与设施大棚,分别开展苋菜露地栽培和大棚栽培试验。露天栽培地秋冬季晴天中午的光照强度约为300~800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,大棚栽培地的光照强度约为300~700 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。各苋菜品种采用盆栽方式(20

收稿 2019-03-25 修定 2019-08-28

资助 国家自然科学基金(31201142)和“粤中西部资源植物种质保护与利用”创新团队(肇学院[2016]48号)。

致谢 肇庆学院生命科学学院周澄、李诗婷、张定和谭佩婷同学参与研究工作。

* 通讯作者(shaoling@zqu.edu.cn)。

表1 肇庆地区秋冬季反季节栽培苋菜试验品种
Table 1 Experimental amaranth cultivars cultivated in Zhaoqing district in autumn and winter

叶型	品种名称	产地	生产公司
红叶型	花红苋菜(HH)	江苏	南京金盛达种子有限公司
	全红苋菜(QH)	江苏	南京万邦种业有限公司
	圆叶红苋菜(YH)	江西	江西省丰城市航城种业有限公司
	一点红苋菜(DH)	河北	青县王镇店种子繁育站
绿叶型	特选尖叶苋菜(TL)	广西	广西灵山县强坤蔬菜种子有限公司
	优选快大尖叶青苋菜(KL)	广西	广西横县子龙种业有限公司
	圆叶白苋菜(YL)	河南	辽宁省新民市祥和种业有限公司
	新白苋菜(XL)	河北	青县纯丰蔬菜良种繁育场

cm×15 cm塑料盆)种植,栽培基质以塘泥、棉籽末、珍珠岩按体积比2:1:1配制,每品种2个栽培地分别种植40盆,以直播方式,每盆用种量为30粒,统一常规水肥管理,同期3个重复。

1.2 测定方法

1.2.1 大棚与露地栽培环境温湿度测定

栽培地温度(°C)和湿度(%)测定方法参照邹良栋(2007)方法进行。种植期间每天用温湿度仪(北京宝力马传感技术有限公司生产)监测试验地的温度与相对湿度。

1.2.2 生长性状指标测定

参考魏波等(2018)方法,持续监控各苋菜种子的发芽率。以种子长出2片子叶(约7 d苗龄)时为起点,统计各品种的发芽率,每3 d测定一次,直至真叶长出(约13 d苗龄)时结束。用刻度尺(cm)测量8个苋菜品种的自然株高(基部到植株顶芽的高度)、叶片长度和叶宽(叶片上与主脉垂直方向的最宽处),记录单株真叶数(片)。栽培57 d后,称量植株及叶片鲜重,105°C杀青30 min,80°C连续烘干至恒重,称干重。每试验地各品种均匀选材20株测量。

1.2.3 叶片色素和次生代谢物含量的测定

叶绿素SPAD值是与叶片叶绿素含量相对应的参数(武倩雯等2016)。用SPAD-502叶绿素测量仪(日本柯尼卡美能达公司生产),测定由顶向下数第3位功能叶片,各品种每组测量15片。苋菜红素含量参考Stintzing等(2002)的测定方法,称取0.2 g叶片加入少许甲醇研磨成匀浆后移入试管中,4°C下12 000×g离心10 min,弃上清液,连续3次。所得沉淀用30 mL纯水浸提30 min,12 000×g于4°C离心

15 min,取上清液进行OD₅₃₈的测定,苋菜红素以A₅₃₈·(100 mg)⁻¹ (FW)的相对值表示。总酚、类黄酮测定参照Tukumoto和Mazza (2000)的方法,0.2 g叶子+1%盐酸甲醇(1 mL盐酸,99 mL甲醇) 30 mL,于4°C下浸泡24 h,均匀离心,取上清液测定,总酚和类黄酮的单位分别为A₂₈₀·(100 mg)⁻¹ (FW)、A₃₂₅·(100 mg)⁻¹ (FW)。

1.2.4 总抗氧化能力检测

参考林樱等(2019)的方法,称取0.1 g叶片,用38 mL 50%乙醇充分研磨,4°C下10 000×g离心10 min,测定517 nm下上清液对二苯基苦肼基自由基(DPPH·)的清除率。

1.3 数据分析

使用Microsoft Excel 2003完成实验数据的录入、计算以及图表的绘制,使用SPSS Statistics 17.0中Post-Hoc (DUNCAN)法检测试验组数据间的差异显著性。

2 实验结果

2.1 苋菜种植大棚与露地栽培地温湿度的比较

由图1可知,大棚内的温度范围为17~30°C,平均值为(22.4±4.43)°C;相对湿度是23%~72%,平均值为(51.4±13.45)%。露地的温度范围为9~28°C,平均值为(20.04±3.99)°C;相对湿度43%~99%,平均值为(71.0±17.80)%。大棚内温度实测平均比露地栽培地高(2.38±3.75)°C,最大温差达10.0°C。大棚内相对湿度值总体比露地栽培环境的稍低。

2.2 两种栽培方式对各苋菜品种发芽率的影响

鉴于苋菜品种的地域性差异和反季节栽培,

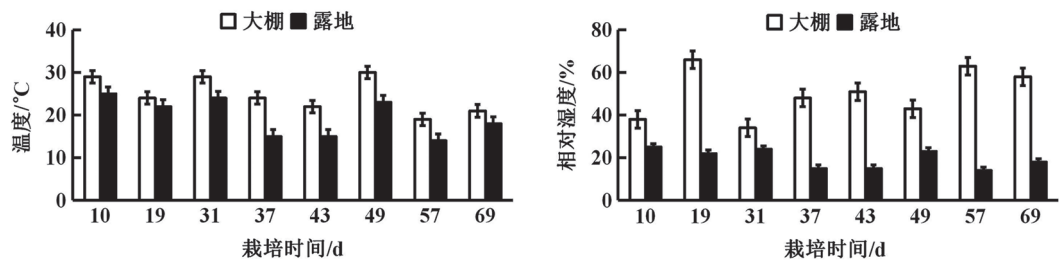


图1 苋菜种植大棚与露地栽培地温湿度的比较
Fig.1 Comparison of temperature and humidity between amaranth planting greenhouse and open field

本试验采用持续测定种子发芽率的方式,以准确掌握各品种的发芽率和幼苗生长。表2可知,两种栽培方式下,大棚试验地的各苋菜品种总体表现为种子发芽速度快,发芽率明显高于露地栽培。相同栽培条件下,红叶型苋菜品种的发芽率基本优于绿叶型。在播种7 d后,大棚苋菜的发芽率(除TL、XL)均高于50%,露地栽培的苋菜发芽率(除YH、KL)则低于50%,表明大棚条件更有利于苋菜种子的萌发。在栽培13 d时,两种栽培方式YH、KL品种的发芽率都超过70%,植株真叶长出已成幼苗,显示这两者较适合于肇庆地区秋冬季栽培。

2.3 两种栽培方式对各苋菜品种株高和叶质量指标的影响

图2显示,在69 d生长期中,采用大棚栽培方式的苋菜株高比露地栽培有明显优势($P<0.05$)。栽培57 d时,大棚各苋菜品种的株高比露地栽培的高

6.2% (XL)~108.6% (KL),到69 d时,两种栽培方式株高对比度更为明显。同时,露地栽培的各苋菜品种株高均低于10 cm,绿叶型YL、XL品种的株高仅在5 cm左右,露地栽培方式明显抑制了苋菜植株的生长。大棚栽培的苋菜总体表现较好的生长势,其中YH、KL品种表现突出。

表3显示,两种栽培方式中各苋菜品种的真叶数差异不显著,但叶片质量性状以大棚栽培为优。与露地栽培相比,大棚栽培的各苋菜品种叶长增长6.4%~101.7%,叶宽则增长1.7%~84.7%,叶片及植株的生物量(鲜重、干重)明显高于露地栽培植株。红叶型品种的生物量普遍高于绿叶型品种。数据显示,大棚栽培方式中,QH、YH、YL、KL品种的叶质量指标较好,YH品种的生物量最佳;露地栽培方式下,叶质量指标以红叶型苋菜品种发育较好,其中QH品种优势最显著,其叶长(叶宽)仅比大棚栽培的低6.4% (1.7%)。

表2 两种栽培方式对各苋菜品种发芽率的影响
Table 2 Effects of two cultivation methods on the germination rate of amaranth cultivars

品种	大棚栽培时间/d			露地栽培时间/d		
	7	10	13	7	10	13
	%					
HH	72.0±11.4 ^{ab}	74.7±11.4 ^{ab}	67.2±15.8 ^b	34.0±3.6 ^c	53.3±25.4 ^b	45.3±18.1 ^c
QH	53.3±17.7 ^c	61.3±18.9 ^b	52.0±26.6 ^c	32.0±10.6 ^c	40.8±24.3 ^c	45.3±13.8 ^c
YH	87.3±10.1 ^a	84.0±10.9 ^a	84.7±11.6 ^a	54.0±26.0 ^{ab}	69.2±23.7 ^a	74.7±22.8 ^a
DH	68.0±12.3 ^b	70.6±10.6 ^{ab}	61.3±10.1 ^b	46.7±20.0 ^b	70.8±11.4 ^a	67.3±10.6 ^{ab}
TL	22.7±6.4 ^e	43.3±8.9 ^d	41.3±9.6 ^d	23.3±3.3 ^d	43.3±12.6 ^c	38.0±20.3 ^d
KL	83.3±10.2 ^a	78.0±16.8 ^{ab}	79.3±9.2 ^{ab}	62.0±8.6 ^a	70.8±6.2 ^a	72.7±10.9 ^a
YL	64.0±8.9 ^b	72.7±7.3 ^{ab}	60.7±7.9 ^b	48.0±8.0 ^b	62.5±7.4 ^{ab}	56.7±23.9 ^b
XL	41.3±15.9 ^d	44.0±16.1 ^d	48.0±14.6 ^d	13.3±4.7 ^c	38.3±13.3 ^d	35.3±9.0 ^d

表中不同小写字母表示同列数据在0.05水平间的差异显著。下表同此。

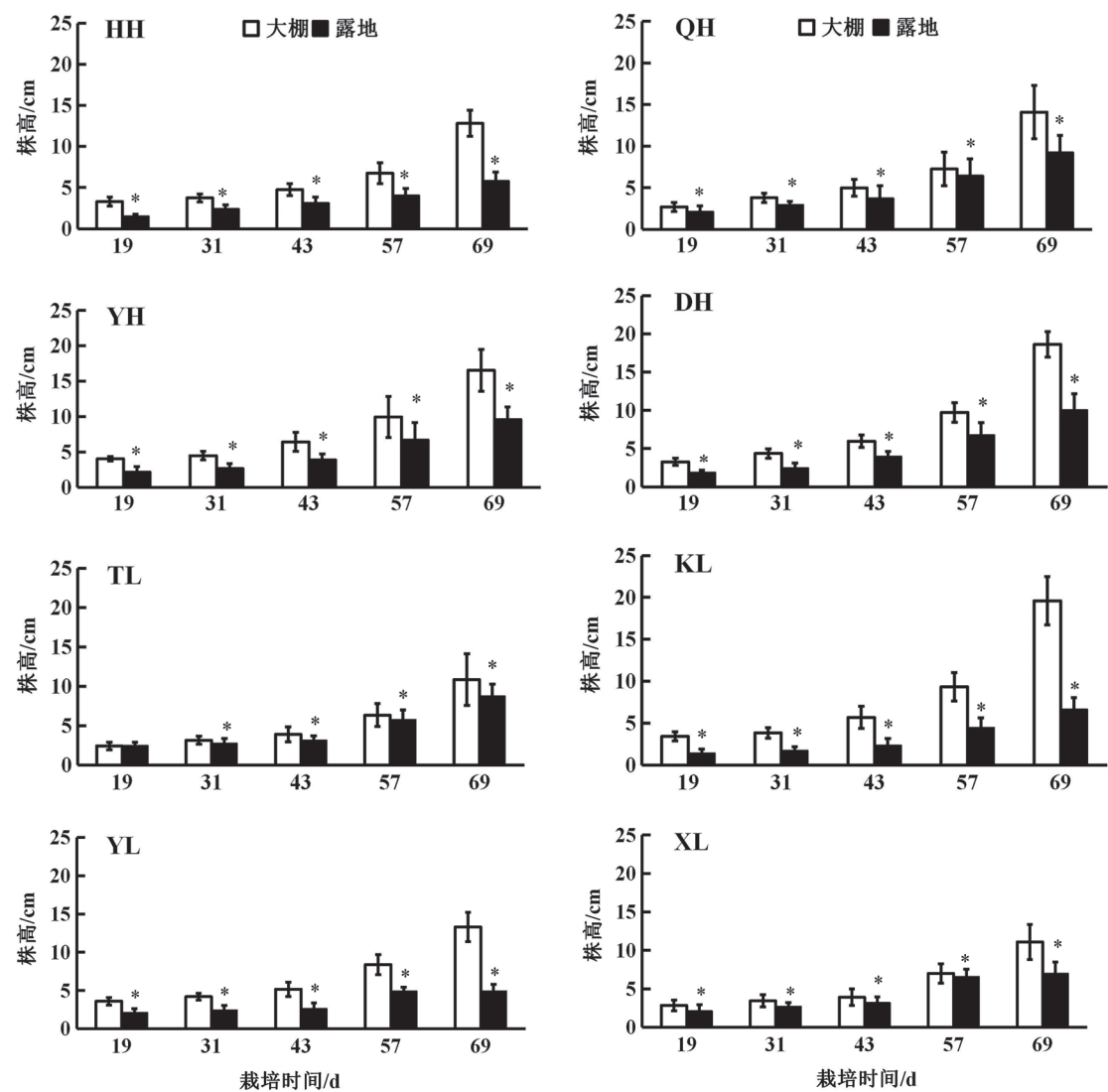


图2 两种栽培方式各叶色型苋菜株高的生长情况

Fig.2 Growth of amaranth plant height with different leaf color types in two cultivation methods

图中*表示同一品种相同栽培时间两种栽培方式下指标的显著水平为 $P<0.05$ 。图3同。

2.4 两种栽培方式对各苋菜品种叶片叶绿素SPAD值的影响

露地栽培的各苋菜品种叶片SPAD值普遍比大棚栽培的高(图3)。49 d时露地栽培的红叶型苋菜的叶绿素(SPAD值)分别比大棚栽培的高49.8% (HH)、43.9% (QH)、37.7% (YH)、36.1% (DH); 而露地栽培的绿叶型苋菜则分别比大棚栽培的高44.3% (TL)、32.8% (KL)、18.3% (YL)、16.7% (XL)。露地栽培的各苋菜品种中, YH和KL叶绿素相对含量较高。

2.5 两种栽培方式下各苋菜品种叶中苋菜红素相对含量的变化

由表4可知, 两种栽培方式下, 红叶型品种的苋菜红素相对含量显著高于绿叶型的品种, 露地栽培方式促进叶片苋菜红素的积累。露地的红叶型品种栽培57 d后, HH、QH、YH、DH叶中苋菜红素分别是大棚栽培的1.44倍、2.0倍、1.38倍、2.57倍; 栽培71 d时, 对比倍数增加至4.50 (HH)~9.31 (QH), 揭示露地栽培条件更能促进苋菜红素的积累。两种栽培方式中YH和QH品种的苋菜红

表3 两种栽培方式对各苋菜品种叶和植株质量指标的影响
Table 3 Effects of two cultivation methods on leaf and plant quality indexes of amaranth cultivars

品种	栽培方式	真叶数/片	叶长/cm	叶宽/cm	叶片鲜重/g	叶片干重/g	植株鲜重/g	植株干重/g
HH	大棚	2.6±0.7 ^{ab}	3.58±0.11 ^{de}	3.08±0.26 ^d	2.22±0.32 ^{de}	0.21±0.03 ^{de}	5.56±0.62 ^{ef}	0.59±0.03 ^e
	露地	2.1±0.8 ^{cd}	2.98±0.34 ^f	3.00±0.13 ^{de}	1.96±0.43 ^e	0.16±0.02 ^{fgh}	4.89±0.54 ^g	0.46±0.05 ^h
QH	大棚	2.1±0.7 ^{cd}	4.00±0.40 ^c	3.60±0.36 ^b	2.92±0.24 ^b	0.32±0.03 ^b	7.31±0.85 ^b	0.87±0.14 ^b
	露地	2.1±0.4 ^{cd}	3.76±0.23 ^{cd}	3.54±0.36 ^b	2.41±0.39 ^{cd}	0.23±0.04 ^{cd}	6.03±0.36 ^d	0.67±0.16 ^d
YH	大棚	2.6±0.5 ^{ab}	4.08±0.41 ^c	3.30±0.11 ^c	3.92±0.67 ^a	0.40±0.03 ^a	9.55±0.38 ^a	1.13±0.19 ^a
	露地	2.5±0.7 ^b	2.90±0.24 ^f	2.80±0.09 ^{ef}	2.27±0.20 ^{de}	0.20±0.01 ^{def}	5.67±0.23 ^{ef}	0.57±0.09 ^e
DH	大棚	2.9±0.3 ^a	3.94±0.19 ^c	3.02±0.56 ^{de}	2.70±0.17 ^{bc}	0.26±0.02 ^c	6.76±0.18 ^c	0.72±0.12 ^c
	露地	2.4±0.5 ^{bc}	3.34±0.21 ^e	2.72±0.28 ^{fg}	2.21±0.51 ^{de}	0.21±0.03 ^{de}	5.53±0.34 ^f	0.59±0.11 ^e
TL	大棚	2.2±0.6 ^{cd}	2.90±0.14 ^f	2.15±0.16 ^h	1.78±0.48 ^{ef}	0.17±0.01 ^{fg}	4.46±0.09 ^h	0.47±0.10 ^h
	露地	2.6±0.8 ^{ab}	2.20±0.22 ^g	2.10±0.16 ^h	1.61±0.22 ^f	0.13±0.01 ^h	4.03±0.12 ⁱ	0.39±0.08 ⁱ
KL	大棚	2.8±0.4 ^a	5.28±0.41 ^a	2.56±0.13 ^g	2.38±0.53 ^{cd}	0.24±0.03 ^{cd}	5.94±0.45 ^d	0.59±0.07 ^e
	露地	2.7±0.5 ^{ab}	2.74±0.09 ^{fg}	1.52±0.22 ⁱ	1.80±0.21 ^{ef}	0.16±0.02 ^{fgh}	4.51±0.16 ^h	0.51±0.05 ^g
YL	大棚	2.4±0.4 ^{bc}	4.68±0.39 ^b	4.10±0.40 ^a	2.33±0.42 ^d	0.23±0.04 ^{cd}	5.82±0.43 ^{de}	0.58±0.11 ^e
	露地	2.0±0.5 ^d	2.32±0.59 ^g	2.22±0.23 ^{gh}	1.90±0.26 ^e	0.17±0.01 ^{fg}	4.64±0.16 ^{gh}	0.54±0.11 ^f
XL	大棚	2.6±0.0 ^{ab}	3.38±0.22 ^e	2.70±0.35 ^{fg}	1.96±0.20 ^e	0.18±0.01 ^{efg}	4.89±0.11 ^g	0.49±0.08 ^g
	露地	3.0±0.0 ^a	2.52±0.24 ^g	2.40±0.12 ^g	1.79±0.17 ^{ef}	0.15±0.01 ^{gh}	4.47±0.19 ^h	0.47±0.10 ^h

素相对含量极显著高于其他品种。

2.6 各苋菜品种叶中总酚和类黄酮相对含量的比较

总酚和类黄酮是一类具有抗氧化作用的物质。露地栽培的苋菜各品种的总酚和类黄酮含量总体上高于大棚栽培的,类黄酮的积累尤为显著;同时,在相同叶色型苋菜品种中,YH和TL的总酚与类黄酮含量较高(图4)。

2.7 两种栽培方式对不同苋菜品种的总抗氧化能力的影响

与大棚栽培植株相比,露地栽培方式明显提高各苋菜品种叶片的总抗氧化能力(图5),其中,红叶型苋菜的总抗氧化能力大于绿叶型苋菜。大棚栽培方式下,红叶型苋菜与绿叶型苋菜的总抗氧化能力相差不大。

3 讨论

广东肇庆市属南亚热带季风气候,早春多阴雨,夏秋易受台风外围影响,晚秋有寒露风侵袭,本地区1月份气温较低。从试验地实测数据可知,与光照度相比较,自然露地的温湿度变化幅度更大。当年11月至翌年1月,自然露地的温度比大棚内低2~9℃,平均相对湿度高于大棚34.90%。低温影响喜温植物的生长发育、生理和光合特性,引

起植物相关生理指标变化,最终导致植物生长受抑制,甚至死亡(郭淑红等2012)。苋菜为C4喜温植物,肇庆地区秋冬季的中度低温明显抑制苋菜的生长。虽然本试验选用不同产地的苋菜品种具有一定的耐寒性,两种栽培方式也对各品种间植株出叶数影响不大,但是露地栽培的各苋菜品种植株显著矮化,株高均低于10 cm,绿叶型YL、XL株高仅为5 cm左右,TL、XL品种的发芽率低于50%,可见露地栽培方式明显抑制了植株的正常生长,绿叶型品种受抑甚为严重。发芽率、株高、叶长、叶宽等生长指标直观表现了植物对低温的适应性。大棚栽培的红叶型品种上述指标,均表现出比绿叶型品种良好的植株形态建成。69 d的生长期,红叶型品种的株高为15~20 cm,叶片及植株的生物量显著高于绿叶型品种。上述生长数据表明,在肇庆地区秋冬季较适宜采用大棚种植红叶型苋菜品种。

植物体内色素代谢受环境因素的影响,叶绿素含量的高低直接反映出植物光合作用能力的潜在大小(Campbell等1990;韩巧红2017)。随着露地栽培地气温的持续下降,各苋菜品种叶片SPAD值普遍高于大棚栽培,红叶型SPAD值增幅高于绿叶型,揭示该物种的叶绿体对中度低温胁迫有积极的应激机制,红叶型品种的适应性更强。这也是

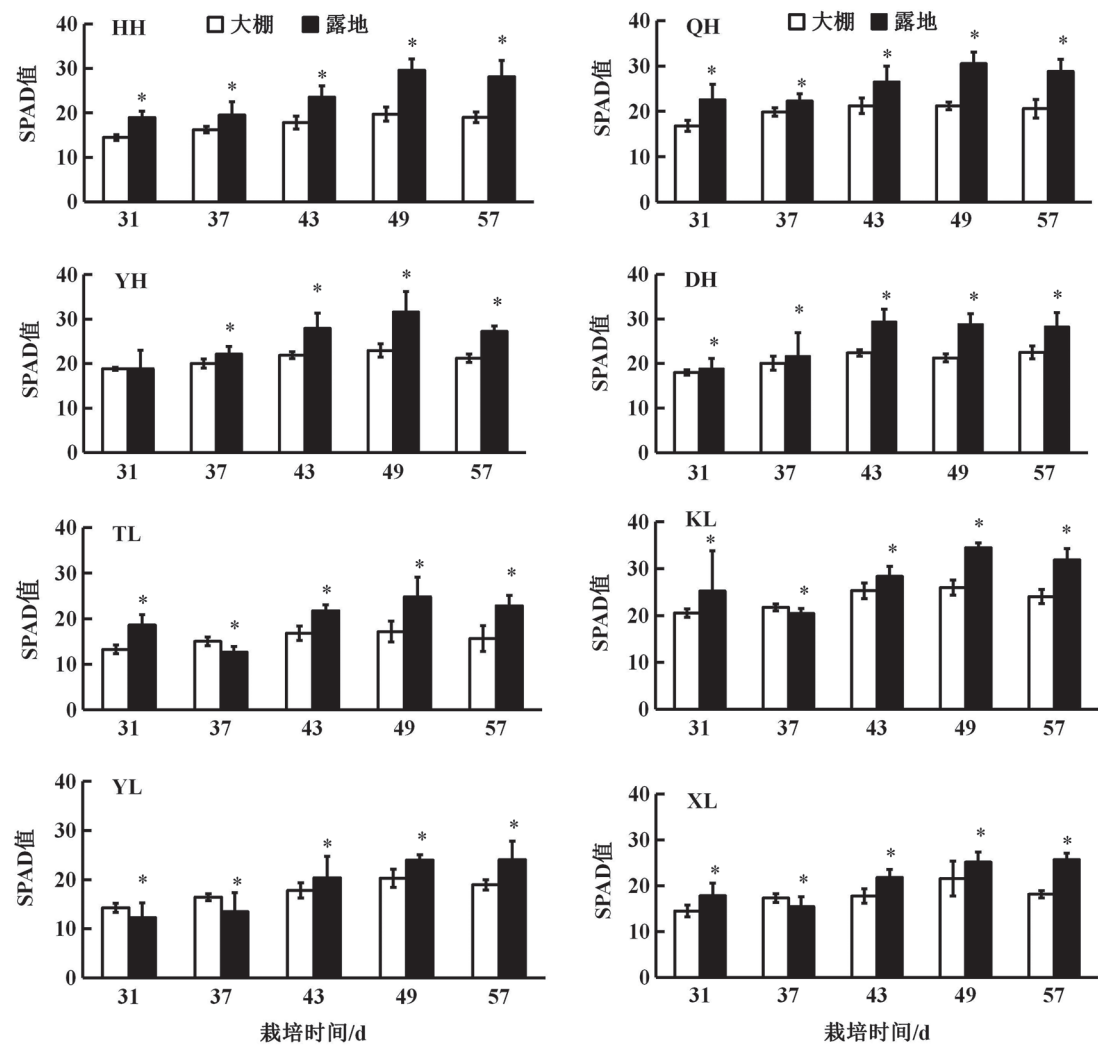


图3 两种栽培方式对各苋菜品种叶片叶绿素(SPAD值)的影响
Fig.3 Effects of two cultivation methods on chlorophyll (SPAD value) of amaranth leaves

表4 两种栽培方式下各苋菜品种叶中苋菜红素相对含量的变化

Table 4 Changes of amaranth red pigment relative content in leaves of amaranth cultivatrs under two cultivation methods

$A_{538} \cdot (100 \text{ mg})^{-1} (\text{FW})$

品种	大棚栽培时间/d			露地栽培时间/d		
	47	57	71	47	57	71
HH	0.021±0.001 ^{ef}	0.016±0.006 ^c	0.016±0.005 ^a	0.012±0.006 ^{de}	0.023±0.007 ^c	0.072±0.003 ^c
QH	0.034±0.010 ^b	0.022±0.006 ^b	0.016±0.004 ^a	0.031±0.009 ^a	0.044±0.001 ^a	0.149±0.007 ^a
YH	0.038±0.001 ^a	0.024±0.007 ^a	0.017±0.001 ^a	0.023±0.004 ^b	0.033±0.007 ^{bc}	0.148±0.002 ^a
DH	0.028±0.004 ^c	0.014±0.005 ^d	0.012±0.009 ^b	0.008±0.004 ^e	0.036±0.004 ^b	0.097±0.006 ^b
TL	0.024±0.001 ^d	0.006±0.002 ^e	0.005±0.003 ^{de}	0.014±0.006 ^{cd}	0.023±0.003 ^c	0.013±0.006 ^{ef}
KL	0.012±0.002 ^g	0.006±0.002 ^e	0.006±0.001 ^d	0.015±0.017 ^c	0.019±0.009 ^d	0.012±0.006 ^f
YL	0.020±0.002 ^f	0.004±0.002 ^f	0.004±0.002 ^e	0.013±0.003 ^d	0.004±0.001 ^f	0.019±0.002 ^d
XL	0.022±0.002 ^e	0.004±0.002 ^f	0.008±0.003 ^c	0.012±0.006 ^{de}	0.008±0.005 ^e	0.014±0.002 ^e

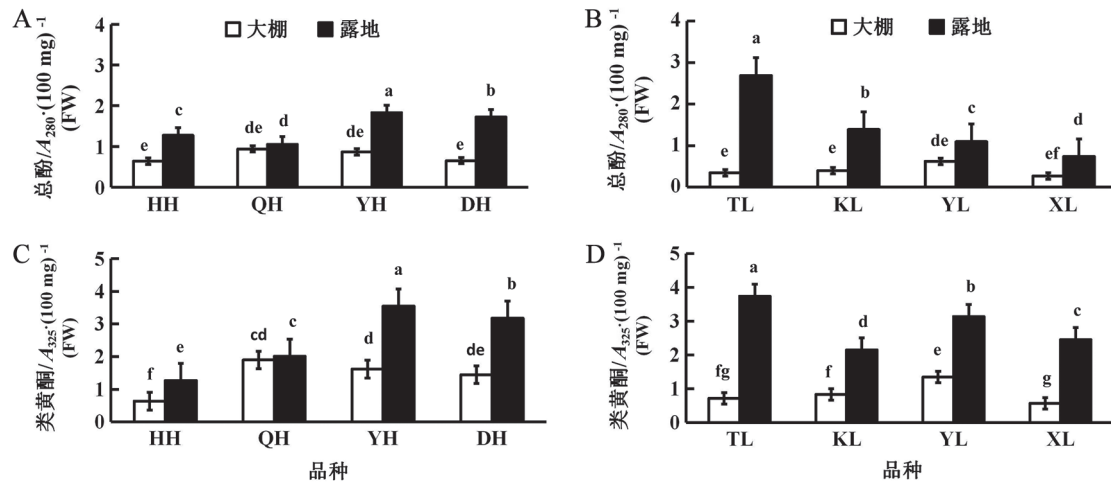


图4 两种栽培方式下各苋菜品种叶中总酚和类黄酮的相对含量

Fig.4 Relative contents of total phenols and flavonoids in the leaves of amaranth cultivars under the two cultivation methods

A和C: 红叶型品种; B和D: 绿叶型品种。图中小写字母分别表示两种栽培方式下相同叶色型苋菜各品种同一指标数据比较的显著水平为 $P < 0.05$ 。图5同。

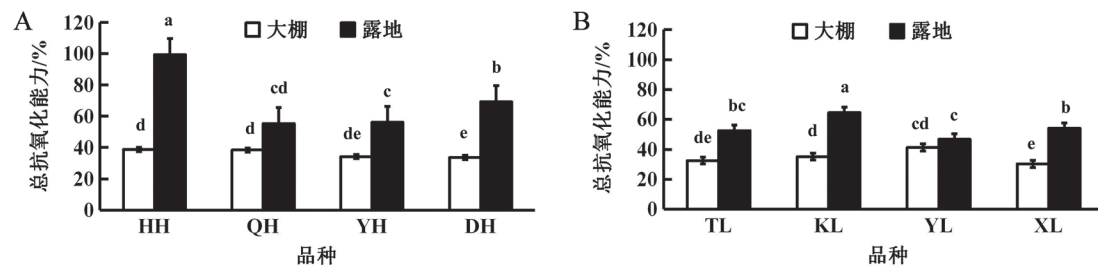


图5 两种栽培方式对不同苋菜品种总抗氧化能力的影响

Fig.5 Effect of two cultivation methods on total antioxidant capacity of different amaranth cultivars

A: 红叶型品种; B: 绿叶型品种。

苋菜在本地区秋冬季试行种植的重要生理基础之一。植物遭受环境胁迫后, 体内会产生一些适应性变化来维持植株正常的代谢活动, 体内抗氧化物质的增加可以有效抵抗环境的胁迫。苋菜红素、总酚和类黄酮是植物体中重要的抗氧化物质, 在抵御逆境引发的伤害时起调节作用(Cramer等2011; 刘素军等2018)。苋菜红素是红叶型和绿叶型苋菜主要的外观区别色素, 是一种水溶性含氮色素。本试验中, 受持续低温的影响, 露地栽培各品种苋菜的苋菜红素、总酚和类黄酮的相对含量均显著高于大棚栽培, 三种次生代谢物以红叶型品种的含量较高, 与李萌(2018)对玉米抵御低温胁迫过程中类黄酮和总酚化合物的积累结果相一

致。植物的总抗氧化能力与其抗病性、抗逆性及延缓衰老密切相关。王宁等(2009)研究表明, 苋菜红素是一种良好的自由基清除剂, 对羟基自由基和超氧阴离子均有清除作用。总酚、类黄酮也是具有清除自由基能力的抗氧化物质(岳凯等2019; 鲁晓翔2012)。DPPH·分析法是一种能快速、简便、灵敏评价植物抗氧化活性的方法, 通过检测生物活性物质对DPPH·自由基的清除能力, 表示其抗氧化性的强弱(Wang等2013; Rather等2017)。大棚栽培条件下, 各苋菜品种的总抗氧化能力差异不显著。但是, 露地栽培中红叶型品种的总抗氧化能力比绿叶型品种高, 揭示红叶型苋菜品种对自然气候的低温胁迫有更积极的生理调节机制。

连续2年苋菜秋冬季节栽培的生长生理特性试验结果表明,供试的8种苋菜品种中,YL、TL、XL品种并不适合在广东肇庆地区秋冬季节栽培。苋菜在当地秋冬季的反季节栽培中,建议采取设施大棚的种植方式,选用江西产地的圆叶红苋菜(YH)或广西产地的优选快大尖叶青苋菜(KL)品种,预期经济收益更大。

参考文献(References)

- Campbell RJ, Mobley KN, Marini RP, et al (1990). Growing conditions alter the relationship between SPAD-501 values and apple leaf chlorophyll. *HortScience*, 25 (3): 330–331
- Cheng JQ (2015). Amaranth cultivation technology. *Spec Econ Anim Plant*, 18 (12): 39–40 (in Chinese) [程稼秋(2015). 苋菜栽培技术. 特种经济动植物, 18 (12): 39–40]
- Cramer GR, Urano K, Delrot S, et al (2011). Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC Plant Biol*, 11: 163
- Dong HW (2015). Amaranth cultivation technology. *Agric Dev Equip*, (7): 134 (in Chinese) [董洪伟(2015). 苋菜栽培技术. 农业开发与装备, (7): 134]
- Guo ML (2017). The effect of combined treatments of phytohormones and chelating agents on the accumulation capacity in amaranth. *Anhui Agric Sci*, 45 (1): 79–82 (in Chinese with English abstract) [郭梦露(2017). 植物激素-螯合剂复合处理对红苋菜富集能力的影响. 安徽农业科学, 45 (1): 79–82]
- Guo SH, Xue L, Zhang R, et al (2012). Photosynthetic response of four species seedlings to low temperature stress. *South China Agric Univ*, 33 (3): 373–377 (in Chinese with English abstract) [郭淑红, 薛立, 张柔等(2012). 4种幼苗对低温胁迫的光合生理响应. 华南农业大学学报, 33 (3): 373–377]
- Han QH (2017). Effects of low temperature stress on chlorophyll biosynthesis and chloroplast development of rice (dissertation). Yaan, Sichuan: Sichuan Agricultural University (in Chinese with English abstract) [韩巧红(2017). 低温胁迫对水稻叶绿素生物合成及叶绿体发育的影响(学位论文). 四川雅安: 四川农业大学]
- Li M (2018). Analysis of maize transcriptome response to chilling stress and functional study of related genes (dissertation). Taian, Shandong: Shandong Agricultural University (in Chinese with English abstract) [李萌(2018). 玉米低温响应转录组及相关基因功能分析(学位论文). 山东泰安: 山东农业大学]
- Lin Y, Liu YP, Wu XT (2019). Optimization of microwave-assisted extraction of saponins from *Gardenia jasminoides* Ellis and its antioxidant activity. *Food Ind Technol*, 40 (3): 159–164, 172 (in Chinese with English abstract) [林樱, 刘玉萍, 吴祥庭(2019). 微波辅助提取栀子皂甙的工艺优化及其抗氧化性. 食品工业科技, 40 (3): 159–164, 172]
- Liu SJ, Meng ML, Chen YJ (2018). Effects of drought stress and rehydration on gene expression of key enzymes in the flavonoid biosynthesis pathway in potato. *Plant Physiol J*, 54 (1): 81–91 (in Chinese with English abstract) [刘素军, 蒙美莲, 陈有君(2018). 干旱胁迫及复水对马铃薯类黄酮合成途径中关键酶及基因表达的影响. 植物生理学报, 54 (1): 81–91]
- Lu XX (2012). Research progress in antioxidant mechanism of flavonoids. *Food Res Dev*, 33 (3): 220–224 (in Chinese with English abstract) [鲁晓翔(2012). 黄酮类化合物抗氧化作用机制研究进展. 食品研究与开发, 33 (3): 220–224]
- Niu SL, Jiang GM, Li YG (2004). Environmental regulation of C3 and C4 plants. *Acta Ecol Sin*, 24 (2): 308–314 (in Chinese with English abstract) [牛书丽, 蒋高明, 李永庚(2004). C3与C4植物的环境调控. 生态学报, 24 (2): 308–314]
- Ou YD, Shao L, Zhou C, et al (2016). The response of photosynthetic physiological characteristics in leaves of different leaf-color types of *Amaranthus tricolor* under weak light stress and its recovery. *Plant Physiol J*, 52 (10): 1527–1536 (in Chinese with English abstract) [欧宇丹, 邵玲, 周澄等(2016). 不同叶色型苋菜叶片光合生理特性对弱光胁迫及恢复的响应. 植物生理学报, 52 (10): 1527–1536]
- Rather LJ, Akhter S, Padder RA, et al (2017). Colorful and semi durable antioxidant finish of woolen yarn with tannin rich extract of *Acacia nilotica* natural dye. *Dyes Pigments*, 139: 812–819
- Shao L, Liu GL, Li YY, et al (2013). Comparison of physiological characteristics in leaves of *Amaranthus tricolor* ‘Red flower’ and ‘Green leaf’ under high temperature. *Acta Trop Subtrop Bot*, 17 (4): 378–382 (in Chinese with English abstract) [邵玲, 刘光玲, 李芸瑛等(2013). 高温下花红苋和绿叶苋叶片生理特性变化的比较. 热带亚热带植物学报, 17 (4): 378–382]
- Shu Z, Shao L, Huang HY, et al (2010). Comparison of thermal stability of PSII between the red and green leaf cultivars of *Amaranthus tricolor* L. *Photosynthetica*, 47 (4): 548–558
- Stintzing FC, Schieber A, Carle R (2002). Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose. *Food Chem*, 77 (1): 101–106
- Tukumoto LR, Mazza G (2000). Assessing antioxidant and

- prooxidant activities of phenolic compounds. *J Agric Food Chem*, 48: 3597–3604
- Wang LJ, Yang XS, Qin PY, et al (2013). Flavonoid composition, antibacterial and antioxidant properties of tartary buckwheat bran extract. *Ind Crops Prod*, 49: 312–317
- Wang N, Xue Y, Sun TJ (2009). Scavenging effect of red pigment extracted from edible amaranth on hydroxyl radicals and superoxide anion radicals. *J Shanxi Med Univ*, 40 (5): 458–460 (in Chinese with English abstract) [王宁, 薛源, 孙体健(2009). 苋菜红色素对羟自由基和超氧阴离子自由基的清除作用. *山西医科大学学报*, 40 (5): 458–460]
- Wei B, Li DD, Hou K, et al (2018). Comparative study on germination characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius*) under PEG-6000 simulated drought stress. *Plant Physiol J*, 54 (6): 1137–1143 (in Chinese with English abstract) [魏波, 李丹丹, 侯凯等(2018). PEG模拟干旱条件下红花种子萌发特性的比较研究. *植物生理学报*, 54 (6): 1137–1143]
- Wu GH, Ma JQ (2015). Amaranth heavy seed and high yield cultivation technology. *Seed Ind Guide*, (11): 23–24 (in Chinese) [吴国华, 马军强(2015). 苋菜繁种丰产栽培技术. *种业导刊*, (11): 23–24]
- Wu QW, Xiong HG, Jin YH, et al (2016). Prediction model on chlorophyll content in maize leaf based on several high spectral parameters. *Agric Res Arid Areas*, 34 (1): 201–205 (in Chinese with English abstract) [武倩雯, 熊黑钢, 靳彦华等(2016). 基于多个高光谱参数的玉米叶片叶绿素含量估测模型. *干旱地区农业研究*, 34 (1): 201–205]
- Xiao SG, Liu ZM, Song Y, et al (2000). Classification of vegetable amaranth variety resources. *J Hunan Agric Univ*, 26 (4): 274–277 (in Chinese with English abstract) [肖深根, 刘志敏, 宋勇等(2000). 蔬菜苋菜品种资源分类. *湖南农业大学*, 26 (4): 274–277]
- Yue K, Liu WY, Wei XH (2019). Effects of flavonoids content and key enzymes and antioxidant activities of flavonoids in different quinoa on drought stress. *Mol Plant Breeding*, 17 (3): 956–962 (in Chinese with English abstract) [岳凯, 刘文瑜, 魏小红(2019). 干旱胁迫对不同品系藜麦内黄酮和抗氧化性的影响. *分子植物育种*, 17 (3): 956–962]
- Zou LD (2007). *Plant Growth and Environmental Practice*. Beijing: Higher Education Press (in Chinese) [邹良栋(2007). *植物生长与环境实训*. 北京: 高等教育出版社]

Analysis on the physiological characteristics and cultivation techniques of amaranth in autumn and winter

SHAO Ling^{1,*}, CHEN Tian-Mei^{2,3}

¹School of Food & Pharmaceutical Engineering, Zhaoqing University, Zhaoqing, Guangdong 526061, China

²College of Life Sciences, Zhaoqing University, Zhaoqing, Guangdong 526061, China

³School of Food Science and Engineering, Foshan University, Foshan, Guangdong 528294, China

Abstract: The physiological growth characteristics of amaranth in autumn and winter were studied for 2 years in Zhaoqing district by using amaranth (*Amaranthus tricolor*) from 8 different producing areas as materials and cultivation in open field and greenhouses, which provided scientific basis for the cultivation of anti-season amaranth with high efficiency and quality. The results showed that the growth of amaranth was significantly inhibited in open field in 9–28°C range. The germination rate of ‘Texuanjianye amaranth’ (TL) and ‘Xinbai amaranth’ (XL) was less than 50%, and the plants of all cultivars were significantly dwarfed. The plant height of ‘Yuanyebai amaranth’ (YL) and XL was only about 5 cm. The germination rate, plant height, leaf length, leaf width and biomass of each amaranth cultivar cultivated in the greenhouse were obviously better than those in the open field. The accumulation of secondary metabolites such as chlorophyll SPAD values, amaranth red pigment, total phenols and flavonoids in amaranth leaves were significantly increased by open field cultivation, which provided a physiological basis for trial cultivation of amaranth in autumn and winter in this region. The content of the three secondary metabolites and the total antioxidant capacity was higher than that of the green leaf cultivars. Among the tested 8 amaranth cultivars, YL, TL and XL were not suitable for cultivation in autumn and winter in Zhaoqing, Guangdong. For the cultivation of anti-season amaranth in the local, it is recommended to adopt the cultivation method of greenhouses and choose the round leaf red amaranth ‘Yuanyehong amaranth’ (YH) from Jiangxi or the optimal choice of ‘Youxuankuaiye amaranth’ (KL) from Guangxi to achieve better economic benefits.

Key words: amaranth (*Amaranthus tricolor*); leaf color type; cultivars from different producing areas; anti-season cultivation; physiological growth characteristics; Zhaoqing, Guangdong

Received 2019-03-25 Accepted 2019-08-28

This work was supported by the National Science Foundation of China (31201142) and the Innovation Team of Germplasm Protection and Utilization of Resources Plants in Central and Western Guangdong Province (Zhaoqing University [2016] No. 48).

*Corresponding author (shaoling@zqu.edu.cn).