



潘佳琪, 彭铁梨, 贾媛婕, 胡晓辉. 辣椒种苗质量分级与壮苗指数构建[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(02): 91-98.

PAN Jiaqi, PENG Tieli, JIA Yuanjie, HU Xiaohui. Quality grading of pepper seedlings and construction of seedling index [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(02): 91-98.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.02.09

辣椒种苗质量分级与壮苗指数构建

潘佳琪^{1,2} 彭铁梨^{1,2} 贾媛婕¹ 胡晓辉^{1,2*}

(1. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 农业农村部西北设施园艺工程重点实验室/陕西省设施农业工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘 要 为综合且精确评价辣椒种苗质量, 利用K-均值聚类法和综合评价法, 对50 d苗龄的‘早熟红线椒’和‘加长六号’这2个品种的辣椒苗进行研究。结果表明: ‘早熟红线椒’和‘加长六号’2个品种辣椒幼苗综合评价指数范围在0.333~0.996; 利用主成分分析将11项指标分成2类主成分, 累计贡献率为75.8%。将综合评价指数和壮苗指数进行相关性分析, 筛选出4个相关性较高的壮苗指数模型: “地下部干重×散坨率×全株干质量”、“地下部鲜重×散坨率×全株干质量”、“全株鲜重×散坨率×全株干质量”和“相对叶绿素含量(SPAD)×散坨率×全株干质量”, 相关性分别为0.673、0.690、0.657和0.701; 最优壮苗指数模型为“地下部鲜重×散坨率×全株干质量”。根据筛选出的壮苗指数模型得到: 综合评价指数 ≥ 0.813 , 壮苗指数 ≥ 1.255 属于优质苗(I级); 综合评价指数范围在0.507~0.813, 壮苗指数范围在0.102~0.682属于合格苗(II级); 综合评价指数 ≤ 0.507 , 壮苗指数 ≤ 0.102 属于弱苗(III级)。本研究可为辣椒的工厂化育苗、机械化作业提供优质种苗评价体系和种苗分级依据。

关键词 辣椒幼苗; 散坨率; 壮苗指数; 主成分分析

中图分类号 S626.9

文章编号 1007-4333(2024)02-0091-08

文献标志码 A

Quality grading of pepper seedlings and construction of seedling index

PAN Jiaqi^{1,2}, PENG Tieli^{1,2}, JIA Yuanjie¹, HU Xiaohui^{1,2*}

(1. College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. Key Laboratory of Protected Horticultural Engineering in Northwest, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Shaanxi Facility Agricultural Engineering Technology Research Center, Yangling 712100, China)

Abstract To comprehensively and accurately evaluate the quality of pepper seedlings, the K-means clustering method and comprehensive evaluation method were used to study the 50 day old pepper seedlings of two cultivars, ‘Early Mature Red Line Pepper’ and ‘Jia chang No. 6’. The results indicated that: The comprehensive evaluate index of both ‘Early Mature Red Line Pepper’ and ‘Jia chang No. 6’ ranges from 0.333 to 0.996; The principal component analysis divided 11 indicators employed in this study into 2 types of principal components, with a cumulative contribution rate of 75.8%. Correlation analysis was conducted between the comprehensive evaluation index and the strong seedling index, and four models with high correlation were selected for the seedling index, which were ‘Dry weight of underground part×Scattered lump rate×Dry weight of whole plant’, ‘Fresh weight of underground part×Scattered lump rate×Dry weight of whole plant’, ‘Fresh weight of whole plant×Scattered lump rate×Dry weight of whole plant’, ‘SPAD×Scattered lump

收稿日期: 2023-05-15

基金项目: 陕西省重点研发计划项目(2022ZDLNY03-11); 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-23-D06); 中央引导地方项目(XZ202202YD0002C)

第一作者: 潘佳琪(ORCID:0009-0005-1279-2433), 硕士研究生, E-mail: PJQ0222@163.com

通讯作者: 胡晓辉(ORCID:0000-0002-1236-9820), 教授, 主要从事设施农业理论与生产技术研究, E-mail: hxx1977@163.com

rate $\times$ Dry weight of whole plant', and the correlations were 0.673, 0.690, 0.657 and 0.701, respectively. In conclusion, the optimal seedling strength index model is "Fresh weight of underground part $\times$ Scattered lump rate $\times$ Dry weight of whole plant". Based on the selected robust seedling index model, it was concluded that: The comprehensive evaluation index ≥ 0.813 and the strong seedling index ≥ 1.255 belongs to high-quality seedlings (Grade I); The comprehensive evaluation index range is 0.507-0.813, and the strong seedling index range is 0.102-0.682, which belongs to qualified seedlings (Grade II); The comprehensive evaluation index ≤ 0.507 and the strong seedling index ≤ 0.102 belongs to weak seedlings (Grade III). In a word, this study provides a high-quality seedling evaluation system and a basis for seedling grading for industrial seedling and mechanized operations of fruity vegetables or other vegetables.

Keywords pepper seedling; scattered lump rate; seedling index; principal component analysis

我国是世界上辣椒栽培范围最广的国家,辣椒产量逐年上升,2020年,辣椒产量达到2.26亿kg/hm²^[1]。辣椒成为市场消费量最大、加工方式最多和种植风险较小的蔬菜产业,具有良好的产业前景^[2]。然而辣椒生产过程中优质种苗较少,机械化和规模化程度较低等问题已严重制约辣椒产业的发展^[3],如何生产优质种苗及评价种苗质量已经成为辣椒产业中的重要问题。

辣椒幼苗形态指标是评价种苗质量的指标之一。当草炭:蛭石:珍珠岩体积比为2:1:1时,辣椒幼苗干鲜重较大^[4]。添加生物炭、粒径不同的复混基质及石墨烯都可以促进根系生长,缩短育苗周期^[5-7]。然而这都是利用单一指标评价辣椒幼苗的方法,缺乏对优质辣椒种苗的筛选及质量分级。近年来,有学者在番茄、茶树、草莓、西瓜和丹参等作物上构建了壮苗指数分析种苗质量^[8-12],取得良好效果。因此,在前人研究的基础上,本研究利用辣椒幼苗株高、茎粗和散坨率等形态指标建立综合评价指数,通过主成分分析构建并筛选辣椒壮苗指数模型,再对综合评价指数和筛选出的辣椒壮苗指数模型进行相关性分析,避免主观性,提高评价的科学性和准确性,得到辣椒秧苗的质量分级标准,以期为辣椒工厂化育苗、自动化控制及生产实践提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2022年7—10月在陕西杨凌西北农林科技大学常温光培箱内进行。光培箱昼温变化范围为25~26℃,夜温变化范围为18~20℃,相对湿度为60%~70%。选取‘早熟红线椒’(棉蔬种业,中国)和‘加长六号’(安徽省萧县联丰种业有限公司,中国)2个辣椒品种,采用72孔穴盘育苗。供试基质(广

东生升农业有限公司生产)的pH值为6.21,EC值为150 μS/cm,速效氮、磷和钾含量分别为57.72、71.27和275.94 mg/kg。在形态指标测定的基础上构建壮苗指数,随机选取2个品种50 d苗龄的辣椒幼苗各110株进行模型构建,选取各90株进行模型验证。

1.2 测定项目与方法

用卷尺量取辣椒子叶至生长点测量株高,在子叶下1 cm处使用游标卡尺测量茎粗,用SPAD-502 PLUS叶绿素计(Konica Minolta公司,日本)测定SPAD,用电子天平(精确度0.001 g)称量植株鲜重,烘干后称量干重,叶面积和散坨率参照唐玉新^[13]的方法进行测定。

1.3 壮苗指数构建

1.3.1 隶属函数的确定

模糊隶属函数是通过将隶属函数进行分段划分,根据不同指标特性选择合适的函数,综合评价指标的一种方法^[14]。根据番茄、茶树、草莓和烟草选择的隶属函数类型,将11项指标划分为4种类型^[8-10, 15]。株高过高过低对种苗质量都会产生影响^[16],必须在合适的范围内,因此判断株高属于抛物线型(式1);茎秆过于细长容易倒地,只有达到一定标准才可作为壮苗,因此茎粗属于正S型(式2);种苗干鲜重、叶面积、SPAD和散坨率对种苗质量评价起正向作用,属于正态分布偏大型(式3);SPAD值过高过低对壮苗程度影响较小,没有具体上下限范围,属于直线型(式4)。函数计算公式如下:

$$f(m_1) = \begin{cases} 1.0 & M_2 \leq m \leq M_3 \\ 0.9 \times \frac{m - M_1}{M_2 - M_1} + 0.1 & M_1 < m < M_2 \\ 0.9 \times \frac{M_4 - m}{M_4 - M_3} + 0.1 & M_3 < m < M_4 \\ 0.1 & m \leq M_1, m \geq M_4 \end{cases} \quad (1)$$

$$f(m_2)=\begin{cases} 1.0 & M_3\leqslant m\leqslant M_4 \\ 0.9\times\frac{m-M_1}{M_4-M_1} & M_1<m<M_3 \\ 0.1 & m\leqslant M_1 \end{cases} \quad (2)$$
$$f(m_3)=\begin{cases} 1-e^{-\left(\frac{m-M_1}{s}\right)^2} & M_1<m \\ 0 & m\leqslant M_1 \end{cases} \quad (3)$$
$$f(m_4)=km+b \quad (4)$$

式中： $f(m_1)$ 为株高函数值； $f(m_2)$ 为茎粗函数值； $f(m_3)$ 为干鲜重、叶面积、相对叶绿素含量和散坨率函数值； $f(m_4)$ 为 SPAD 函数值； m 为各项指标数值； M_1 为指标数值下限； M_2 为指标最优数值下限； M_3 为指标最优数值上限； M_4 为指标数值上限； s 为指标标准差；其中 $k=(1-0.1)/(M_4-M_1)$ ， $b=1-kM_4$ 。

1.3.2 综合评价指数的确定

为了探讨各指标之间的相关性,本研究采用主成分分析法对 11 项指标进行标准化处理,确定每项指标在主成分中的方差贡献率和载荷值,计算最终权重得分^[17]。将隶属函数值与权重得分相乘得到综合评价指数^[18]。

1.3.3 构建与验证壮苗指数

在主成分分析后,从每个主成分选择一到两个显著指标构建壮苗指数,进而对壮苗指数和综合评价指数进行相关性分析,筛选相关性较高的壮苗指数组合。分别将 2 个品种的综合评价指数与筛选出的壮苗指数组合进行相关性分析,得到最优壮苗指数模型。并在‘加长六号’和‘红线椒’2 个品种上各选取 90 株幼苗进行验证。

1.3.4 壮苗指数质量分级

采用 K-均值聚类法,对 110 株种苗综合评价指数和筛选出的壮苗指数模型进行质量等级划分,确定优质苗、合格苗和弱苗的壮苗指数范围^[19]。

2 结果与分析

2.1 单指标权重系数

辣椒种苗权重系数范围为 0.043 4~0.113 8,权重系数越大,指标之间相关性越弱(表 1)。全株鲜质量的权重系数最大,达到了 0.113 8,说明全株鲜质量与其他指标之间相关性较弱;SPAD 值、叶面积和散坨率的权重分别为 0.043 4、0.064 4 和 0.059 4,均小于 0.100 0,表明与其他指标有较强的关联性。

表 1 辣椒种苗单项指标权重系数
Table 1 Weight coefficient of single indicator of pepper seedlings

指标 Indicator	权重系数 Weight coefficient
株高 Plant height	0.094 8
茎粗 Stem diameter	0.105 7
地下部鲜质量 Fresh weight of underground part	0.101 9
地上部鲜质量 Fresh weight of above ground part	0.110 9
全株鲜质量 Fresh weight of whole plant	0.113 8
地下部干质量 Dry weight of underground part	0.101 6
地上部干质量 Dry weight of above ground part	0.100 8
全株干质量 Dry weight of whole plant	0.103 3
相对叶绿素含量 Soil and plant analyzer development content	0.043 4
叶面积 Leaf area	0.064 4
散坨率 Scattered lump rate	0.059 4

2.2 单指标隶属函数

辣椒种苗 11 项单指标隶属函数类型及参数如表 2 所示,包含 4 种隶属函数类型。其中,株高属于抛物线型,在 14.2~20.2 cm,隶属函数值为 1,超出

此范围,隶属函数值降低;茎粗属于正 S 型,在 2.39~4.39 cm 时,隶属函数值等于 1,大于或小于这一范围,函数值减小;SPAD 值属于直线型隶属函数,没有明显的上下限,其余指标均为单项指标,属

表2 辣椒种苗单项指标的隶属函数及参数

Table 2 Membership function and its parameters of single indicator of pepper seedlings

指标 Indicator	隶属函数类型 Membership function type	隶属函数参数 Membership function parameter				
		数值下限	最优		数值上限	标准差
			数值下限	数值上限		
株高/cm Plant height	抛物线型	5.80	14.2	20.20	28.20	6.20
茎粗/mm Stem diameter	正S型	1.36	-	2.39	4.39	0.82
地下部鲜质量/g Fresh weight of underground part	正态分布偏大型	0.68	-	-	-	0.44
地上部鲜质量/g Fresh weight of above ground part	正态分布偏大型	1.95	-	-	-	0.79
全株鲜质量/g Fresh weight of whole plant	正态分布偏大型	2.94	-	-	-	1.17
地下部干质量/g Dry weight of underground part	正态分布偏大型	0.06	-	-	-	0.06
地上部干质量/g Dry weight of above ground part	正态分布偏大型	0.23	-	-	-	0.16
全株干质量/g Dry weight of whole plant	正态分布偏大型	0.32	-	-	-	0.22
相对叶绿素含量 Soil and plant analyzer development content	直线型	-	-	-	-	6.67
叶面积/cm ² Leaf area	正态分布偏大型	4.30	-	-	-	19.87
散坨率% Scattered lump rate	正态分布偏大型	0.22	-	-	-	12.72

于正态分布偏大型。11项指标标准差范围在0.06~197.87,其中叶面积标准差数值较大。不同种苗间该指标差异大,可以作为种苗鉴定指标。

2.3 综合评价分析

110株辣椒种苗综合评价指数范围为0.333~0.996,表明本次试验取样范围较广,涵盖了各种质量等级的辣椒种苗,可以完整、精确的评价辣椒种苗质量(图1)。通过对110株种苗进行K-均值聚类分析,将种苗分成了3个等级,即优质苗(Ⅰ级),综合评价指数≥0.813;合格苗(Ⅱ级),综合评价指数范围在0.507~0.813;弱苗(Ⅲ级),综合评价指数≤0.507。其中优质苗和合格苗在总样品数中达到了70.9%,弱苗占总样本的29.1%;且根据方差分析结果,P值均小于0.001,表明各等级间差异显著,可以为壮苗指数分级提供依据。

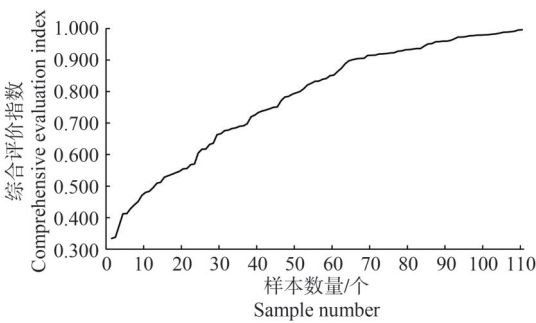


图1 辣椒种苗质量综合评价指数

Fig. 1 Comprehensive evaluation index of quality of pepper seedlings

2.4 单指标主成分分析

在主成分分析中,11项指标被分成了2个主成分,累计贡献率为75.8%,主成分1(PC1)和主成分2(PC2)方差贡献率分别为58.3%和

17.5%。主成分 1 包括地上部干重、地下部干重、全株干重、地上部鲜重、地下部鲜重、全株鲜重和 SPAD 值，主成分 2 包括株高、茎粗、叶面积和散坨率（表 3）。

表 3 辣椒种苗指标主成分旋转后的成分矩阵
Table 3 Rotated principal component matrix of indices of pepper seedlings

主成分 Principal component	指标 Index	相关程度 Degree of correlation
PC1	地上部干重 Dry weight of above ground part	0.923
	地下部干重 Dry weight of underground part	0.960
	全株干重 Dry weight of whole plant	0.954
	地上部鲜重 Fresh weight of above ground part	0.812
	地下部鲜重 Fresh weight of underground part	0.922
	全株鲜重 Fresh weight of whole plant	0.899
	SPAD 值 SPAD value	0.344
PC2	株高 Plant height	0.850
	茎粗 Stem diameter	0.796
	叶面积 Leaf area	0.730
	散坨率 Scattered lump rate	0.729

注：PC：主成分。
Note：PC：Principal component.

2.5 壮苗指数与综合评价指数相关性分析

选取 4 个传统壮苗指数：“（茎粗/株高+地下部干质量/地上部干质量）×全株干质量”、“（地下部干质量/地上部干质量）×全株干质量”、“（茎粗/株高）×全株干质量”以及“（SPAD/株高）×全株干质量”^[8,11]作为对照 CK1、CK2、CK3 和 CK4，在此基础上，本研究壮苗指数组合采用乘积的方式（表 4），以“×全株干质量”为固定元素，并且同时

表 4 辣椒种苗壮苗指数模型
Table 4 Expression formula of pepper strong seedlings index model

序号 No.	壮苗指数 Strong seedling index	序号 No.	壮苗指数 Strong seedling index
CK1	（茎粗/株高+地下部干质量/地上部干质量）×全株干质量	X11	地上部鲜重×叶面积×全株干质量
CK2	（地下部干质量/地上部干质量）×全株干质量	X12	地上部鲜重×散坨率×全株干质量
CK3	（茎粗/株高）×全株干质量	X13	地下部鲜重×株高×全株干质量
CK4	（SPAD/株高）×全株干质量	X14	地下部鲜重×茎粗×全株干质量
X1	地上部干重×株高×全株干质量	X15	地下部鲜重×叶面积×全株干质量
X2	地上部干重×茎粗×全株干质量	X16	地下部鲜重×散坨率×全株干质量
X3	地上部干重×叶面积×全株干质量	X17	全株鲜重×株高×全株干质量
X4	地上部干重×散坨率×全株干质量	X18	全株鲜重×茎粗×全株干质量
X5	地下部干重×株高×全株干质量	X19	全株鲜重×叶面积×全株干质量
X6	地下部干重×茎粗×全株干质量	X20	全株鲜重×散坨率×全株干质量
X7	地下部干重×叶面积×全株干质量	X21	SPAD×株高×全株干质量
X8	地下部干重×散坨率×全株干质量	X22	SPAD×茎粗×全株干质量
X9	地上部鲜重×株高×全株干质量	X23	SPAD×叶面积×全株干质量
X10	地上部鲜重×茎粗×全株干质量	X24	SPAD×散坨率×全株干质量

包含2个主成分中的一项或多项指标,尽可能全面阐述辣椒种苗质量等级。将综合评价指数和壮苗指数进行相关性分析,筛选到4个相关性较高的壮苗指数模型(表5),分别为X8、X16、X20和X24,相关性分别为0.673、0.690、0.657和0.701,均高于对照组。

2.6 壮苗指数验证

随机选取‘早熟红线椒’和‘加长六号’2个品种辣椒各90株幼苗对筛选出的4种壮苗指数模型进行稳定性验证,结果表明CK2和CK3在不同品种中稳定性均较差(表6);筛选出的X8、X16、X20和X24相关性均高于对照,其中X16(地下部鲜重×散坨率×全株干质量)在2种辣椒品种中相关性最高,可作为辣椒壮苗指数模型的评判标准。

2.7 壮苗指数质量分级

以110株辣椒种苗综合评价指数为依据,对X16(地下部鲜重×散坨率×全株干质量)模型进行三级壮苗指数参数范围的划分(表7),壮苗指数≥1.255为优质苗(Ⅰ级),壮苗指数在0.102~0.682为合格苗(Ⅱ级),壮苗指数≤0.102为弱苗(Ⅲ级)。

3 讨论

工厂化育苗指在短时间内通过对种苗进行规模化和自动化管理,在减少劳动力的同时提高生产效率,批量生产种苗的一种生产形式^[20]。种苗质量

表5 壮苗指数模型与综合评价指数的相关系数
Table 5 Correlation coefficients between index model of pepper strong seedlings and comprehensive evaluation index

序号 No.	相关性系数 Correlation	序号 No.	相关性系数 Correlation
CK1	0.474**	X11	0.540**
CK2	0.307**	X12	0.536**
CK3	0.308**	X13	0.300**
CK4	0.408**	X14	0.466**
X1	0.544**	X15	0.453**
X2	0.408**	X16	0.690**
X3	0.591**	X17	0.333**
X4	0.553**	X18	0.497**
X5	0.346**	X19	0.514**
X6	0.417**	X20	0.657**
X7	0.405**	X21	0.456**
X8	0.673**	X22	0.555**
X9	0.547**	X23	0.350**
X10	0.511**	X24	0.701**

注:**表示差异极显著($P<0.01$)。
Note: ** means a significant difference($P<0.01$).

直接影响后续机械化移栽和生产,因此,生产优质种苗是产业发展的关键步骤。不同作物壮苗指数评价标准不同。张菊平等^[21]采用灰色关联度得到辣椒壮苗指数模型为“(茎粗/茎高)×全株干质

表6 不同品种壮苗指数模型与综合评价指数的相关系数
Table 6 Correlation coefficients between strong seedling index and comprehensive evaluation index for different pepper cat cultivars

品种 Variety	CK1	CK2	CK3	CK4	X8	X16	X20	X24
早熟红线椒 Early Mature Red Line Pepper	0.442	0.331	0.217	0.410	0.691	0.714	0.687	0.721
加长六号 Jia chang No. 6	0.426	0.398	0.341	0.425	0.705	0.775	0.700	0.710

表7 辣椒壮苗指数质量等级
Table 7 Quality grade of pepper strong seedling index

等级 Grade	样本数/个 Sample number	综合评价指数 Comprehensive evaluation index	壮苗指数 Seedling index
Ⅰ	37	≥0.813	≥1.255
Ⅱ	41	0.507~0.813	0.102~0.682
Ⅲ	32	≤0.507	≤0.102

量”,王纪章等^[22]用Schumacher曲线建立了黄瓜壮苗指数模型,高玉红等^[23]得到甜瓜壮苗指数评判标准为“(根鲜质量/地上部鲜质量+茎粗/株高)×全株鲜质量”,张硕等^[24]认为黄瓜壮苗指数为“(茎粗/株高+地下干质量/地上干质量)×单株干质量”。本研究以辣椒为试材,得到的壮苗指数与前人研究结果均不同,壮苗指数模型为“地下部鲜重×散坨率×全株干质量”。前人主要研究地上部对种苗质量的影响,没有考虑到根系固着能力的重要性,也没有考虑到生产适应机械化农业的高质量种苗。因此本研究着重考虑地下部对种苗质量的影响,增加了对散坨率指标的评价,散坨率越低,根系固定基质能力越强,基质成块效果越好,越适合机械化作业^[25]。本研究与前人研究结果不一致的另一个原因可能是评价种苗质量的方法不同,前人研究大都采用单一的方法评价种苗质量,本研究在借鉴前人模糊综合评价法的基础上,采用主成分分析方差贡献率计算权重,得到SPAD值、叶面积和散坨率的权重分别为0.043 4、0.064 4和0.059 4,筛选得到了4种壮苗指数模型,通过两类品种的验证,确定了最优壮苗指数模型。与传统壮苗指数模型相比,提高了机械化作业的实践性和可操作性,满足了种苗规模化生产和远距离运输的特点,后续试验可以在此基础上,考虑温度、光照、水分、二氧化碳对机械化生产高质量种苗的影响,并且运用多种评价方法,使各项指标的综合评价更合理,为辣椒生产优质种苗提供理论依据。

4 结 论

本研究通过对11项指标进行单指标隶属函数、权重、综合评价分析和K-均值聚类分析得出,“地下部鲜重×散坨率×全株干质量”是评判辣椒壮苗指数的最优模型。通过综合评价指数对壮苗指数质量等级划分,综合评价指数 ≥ 0.813 ,壮苗指数 ≥ 1.255 属于优质苗(Ⅰ级),综合评价指数范围在0.507~0.813,壮苗指数范围在0.102~0.682属于合格苗(Ⅱ级),综合评价指数 ≤ 0.507 ,壮苗指数 ≤ 0.102 属于弱苗(Ⅲ级)。

参考文献 References

- [1] 邹学校,马艳青,戴雄泽,李雪峰,杨莎. 辣椒在中国的传播与产业发展[J]. 园艺学报, 2020, 47(9): 1715-1726

- Zou X X, Ma Y Q, Dai X Z, Li X F, Yang S. Spread and industry development of pepper in China [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2020, 47(9): 1715-1726 (in Chinese)
- [2] 林巧,辛竹琳,孔令博,王晓梅,杨小薇,何微. 我国辣椒产业发展现状及育种应对措施[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(5): 82-95
- Lin Q, Xin Z L, Kong L B, Wang X M, Yang X W, He W. Current situation of pepper industry development and breeding countermeasures in China [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(5): 82-95 (in Chinese)
- [3] 王立浩,张宝玺,张正海,曹亚从,于海龙,冯锡刚. “十三五”我国辣椒育种研究进展、产业现状及展望[J]. 中国蔬菜, 2021(2): 21-29
- Wang L H, Zhang B X, Zhang Z H, Cao Y C, Yu H L, Feng X G. Status in breeding and production of *Capsicum* spp in China during 'the thirteenth Five-Year Plan' period and future prospect [J]. *China Vegetables*, 2021(2): 21-29 (in Chinese)
- [4] 胡广宇. 不同基质配比对辣椒育苗的影响[J]. 中国果菜, 2020, 40(12): 50-53
- Hu G Y. Effects of different substrate ratios on pepper seedling raising [J]. *China Fruit & Vegetable*, 2020, 40(12): 50-53 (in Chinese)
- [5] 李东庭,陈姗姗,赵春波,张露文,孙凯,张越,宋述尧. 基质添加生物炭对辣椒育苗效果的影响[J]. 东北农业科学, 2021, 46(2): 70-72, 111
- Li D T, Chen S S, Zhao C B, Zhang L W, Sun K, Zhang Y, Song S Y. Effect of biochar added to substrate on seedling raising of pepper [J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2021, 46(2): 70-72, 111 (in Chinese)
- [6] 刘衍晨,金浩齐,李旭强,王应梅,杜红斌. 不同粒径的复混基质对辣椒育苗的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(12): 135-144
- Liu Y C, Jin H Q, Li X Q, Wang Y M, Du H B. Effects of mixed substrates with different particle sizes on pepper seedling raising [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(12): 135-144 (in Chinese)
- [7] 李鹏,谭旋,唐格斯,杨帆,戴思慧,龚意辉. 石墨烯远红外电暖在辣椒育苗上的应用效果[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(11): 149-153
- Li P, Tan X, Tang G S, Yang F, Dai S H, Gong Y H. Application effect of graphene far-infrared electric heating in pepper seedling raising [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(11): 149-153 (in Chinese)
- [8] 宫彬彬,王宁,章铁军,吴晓蕾,吕桂云,褚新培,高洪波. 综合形态与叶片叶绿素含量的番茄壮苗指数筛选[J]. 农业工程学报, 2019, 35(8): 237-244
- Gong B B, Wang N, Zhang T J, Wu X L, Lv G Y, Chu X P, Gao H B. Selection of tomato seedling index based on comprehensive morphology and leaf chlorophyll content [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(8): 237-244 (in Chinese)
- [9] 王雪萍,高士伟,叶飞,滕靖,桂安辉,郑鹏程. 茶树种苗质量评价与壮苗指数构建[J]. 河南农业科学, 2022, 51(12): 45-52
- Wang X P, Gao S W, Ye F, Teng J, Gui A H, Zheng P C. Evaluation of tea seedling quality and construction of strong seedling index [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2022, 51(12): 45-52 (in Chinese)
- [10] 宫彬彬,吴晓蕾,张斌,陈一卓,边鑫宇,纪日翟,高洪波. 草莓种苗壮苗指数模型的构建与质量评价[J]. 应用生态学报, 2021, 32(8): 2809-2817
- Gong B B, Wu X L, Zhang B, Chen Y Z, Bian X Y, Ji R Z, Gao H B. Construction and quality evaluation of strawberry seedling index model [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(8): 2809-2817 (in Chinese)
- [11] 王雨露,宫彬彬,蒿文字,张雨,贾琼,高洪波. 西瓜幼苗壮苗指数的构建[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(2): 95-100
- Wang Y L, Gong B B, Hao W Y, Zhang Y, Jia Q, Gao H B. Construction of seedling index of watermelon seedlings [J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2022, 35(2): 95-100 (in Chinese)
- [12] 黄淑华,徐福利,王渭玲,杜俊波,汝梅,王静,曹鲜艳. 丹参壮苗指数及其模拟模型[J]. 应用生态学报, 2012, 23(10): 2779-2785
- Huang S H, Xu F L, Wang W L, Du J B, Ru M, Wang J, Cao X Y. Seedling index of *Salvia miltiorrhiza* and its simulation model [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(10): 2779-2785 (in Chinese)

- [13] 唐玉新, 曲萍, 陆岱鹏, 李辉, 易中懿. 适合机械化移栽的番茄穴盘育苗基质配方筛选[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(6): 1342-1348
Tang Y X, Qu P, Lu D P, Li H, Yi Z Y. Screening of tomato plug seedling substrates proportion suitable for mechanized transplanting [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 33(6): 1342-1348 (in Chinese)
- [14] 梁蓉蓉, 潘小东. 模糊集合隶属函数的确定方法及实验[J]. 四川师范大学学报:自然科学版, 2021, 44(4): 479-486
Liang R R, Pan X D. The determination method and experimental research of the membership function of fuzzy set [J]. *Journal of Sichuan Normal University: Natural Science*, 2021, 44(4): 479-486 (in Chinese)
- [15] 白岩, 史万华, 邢小军, 王勇, 靳义荣, 张良, 宋毓峰, 董连红, 刘好宝. 烟草壮苗指数模型研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(6): 1086-1098
Bai Y, Shi W H, Xing X J, Wang Y, Jin Y R, Zhang L, Song Y F, Dong L H, Liu H B. Study on tobacco vigorous seedling indexes model [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(6): 1086-1098 (in Chinese)
- [16] Agehara S, Leskovar D I. Age-dependent effectiveness of exogenous abscisic acid in height control of bell pepper and jalapeño transplants [J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 175: 193-200
- [17] 程文强, 徐阳, 吴开云, 赵献民, 龚榜初. 3种综合评价方法在柿品质评价中的应用[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2023, 47(4): 61-72
Cheng W Q, Xu Y, Wu K Y, Zhao X M, Gong B C. Comparison of three comprehensive evaluation methods to evaluate the quality of persimmon fruit [J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2023, 47(4): 61-72 (in Chinese)
- [18] 王丽艳, 孙强, 王鑫森, 荆瑞勇, 郭永霞. 不同亚麻籽品种氨基酸含量测定及品质综合评价[J]. 食品与机械, 2021, 37(9): 53-59, 72
Wang L Y, Sun Q, Wang X M, Jing R Y, Guo Y X. Measurement of amino acid and comprehensive quality assessment of different flaxseed variety [J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(9): 53-59, 72 (in Chinese)
- [19] 李翠玲, 李余康, 谭昊然, 王秀, 翟长远. 基于K-means聚类及RF算法的葡萄霜霉病检测分级方法[J]. 农业机械学报, 2022, 53(5): 225-236, 324
Li C L, Li Y K, Tan H R, Wang X, Zhai C Y. Grading detection method of grape downy mildew based on K-means clustering and random forest algorithm [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2022, 53(5): 225-236, 324 (in Chinese)
- [20] 宫晓红. 蔬菜工厂化育苗生产现状与发展对策[J]. 农业科技与装备, 2017(2): 67-68
Gong X H. Vegetable industrialized seedling production status and development strategy [J]. *Agricultural Science & Technology and Equipment*, 2017(2): 67-68 (in Chinese)
- [21] 张菊平, 张兴志. 辣椒壮苗指数与苗期性状的关系分析[J]. 河南农业大学学报, 1999, 33(S1): 120-122
Zhang J P, Zhang X Z. Relationship between seedling index and seedling characters in *Capsicu annuum* [J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 1999, 33(S1): 120-122 (in Chinese)
- [22] 王纪章, 赵青松, 李萍萍. 黄瓜穴盘苗生长过程及壮苗指数模型[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(9): 138-140
Wang J Z, Zhao Q S, Li P P. Growth process and robust seedling index model of cucumber plug seedlings [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2012, 40(9): 138-140 (in Chinese)
- [23] 高玉红, 闫生辉, 邓黎黎. 逆境胁迫对甜瓜幼苗生长的影响及综合抗逆鉴定指标的筛选[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(15): 116-118
Gao Y H, Yan S H, Deng L L. Effect of stress on the growth of muskmelon seedlings and selection of comprehensive anti-inverse identification index [J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2018, 46(15): 116-118 (in Chinese)
- [24] 张硕, 余宏军, 蒋卫杰. 发酵玉米芯或甘蔗渣基质的黄瓜育苗效果[J]. 农业工程学报, 2015, 31(11): 236-242
Zhang S, Yu H J, Jiang W J. Effect of fermented maize cob or bagasse substrate on cucumber seedling breeding [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2015, 31(11): 236-242 (in Chinese)
- [25] 李谦盛, 卜崇兴, 叶军, 郭世荣, 李式军. 芦苇末基质应用于番茄穴盘育苗的配比优化[J]. 上海农业学报, 2003, 19(4): 73-75
Li Q S, Bu C X, Ye J, Guo S R, Li S J. Optimization of reed residue substrate formula for tomato plug seedling production [J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2003, 19(4): 73-75 (in Chinese)

责任编辑:董金波



第一作者简介: 潘佳琪,女,1999年8月出生于新疆昌吉,在读硕士研究生。主要学习工作经历:2022年6月毕业于新疆农业大学设施农业与工程专业,获得农学学士学位;9月就读于西北农林科技大学园艺学院设施园艺学专业,攻读硕士学位研究生,师从胡晓辉教授。主要从事设施植物生理生态和设施蔬菜高效生产关键技术研究。目前开展选用不同微生物菌剂及不同施用浓度和频率对设施蔬菜促生效果的研究,探究菌剂与作物根系环境及植物生长发育关系及其作用机制。



通讯作者简介: 胡晓辉,博士生导师,国家大宗蔬菜产业技术体系岗位专家、陕西省蔬菜产业技术体系岗位科学家。主要从事设施农业理论与生产技术研究,主要包括温室环境调控与自动化管理、设施蔬菜优质高效生产技术、无土栽培技术、设施作物抗逆境机理与应用技术等。先后主持国家级、省部级及地方项目25项。获得陕西省教学成果特等奖1项、二等奖3项,全国农业硕士专业学位研究生实践成果二等奖1项,陕西省科学技术一等奖2项,陕西省推广一等奖1项,全国农牧渔业丰收一等奖1项,神农中华农业科技三等奖1项,华耐园艺奖1项。