

西瓜幼苗壮苗指数的构建

王雨露, 宫彬彬, 蒿文宇, 张雨, 贾琼, 高洪波

(河北农业大学园艺学院 河北保定 071001)

摘要: 为构建科学评价西瓜幼苗质量的壮苗指数, 本试验以 4 叶 1 心西瓜穴盘苗为研究对象, 通过加权模糊综合评判法构建出西瓜幼苗的综合评价指数; 通过主成分分析法将 14 项指标进行成分归类以及指标组合; 最后利用西瓜幼苗综合评价指数与壮苗指数的相关性分析筛选出最适宜的壮苗指数, 并对其进行验证。结果表明, 660 株幼苗的综合评价指数范围为 0.15~0.70; 主成分分析结果将 14 项指标划分为 4 个主成分, 通过相关性分析, 得到 2 个相关性最大的壮苗指数: “总干质量×根干质量×总叶绿素×茎粗”和“地上干质量×根干质量×总叶绿素含量×茎粗”, 相关系数分别为 0.706、0.713, 与京欣 2 号的相关系数分别为 0.784、0.784, 与早佳的相关系数分别为 0.852、0.839。综上所述, “总干质量×根干质量×总叶绿素含量×茎粗”“地上干质量×根干质量×总叶绿素含量×茎粗”均可作为综合评判西瓜幼苗质量的壮苗指数。

关键词: 西瓜; 壮苗指数; 模糊综合评判; 相关性分析; 主成分分析

中图分类号: S651

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)02-095-06

Construction of seedling index of watermelon seedlings

WANG Yulu, GONG Binbin, HAO Wenyu, ZHANG Yu, JIA Qiong, GAO Hongbo

(College of Horticulture, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, Hebei, China)

Abstract: In order to construct a robust seedling index that can be used to scientifically evaluate the quality of watermelon seedlings, this study took watermelon seedlings with four leaves and one heart as the research object, and constructed a comprehensive evaluation index of watermelon seedlings through weighted fuzzy comprehensive evaluation method. The 14 indexes were classified and combined by principal component analysis. Finally, the correlation analysis between the watermelon seedling comprehensive evaluation index and the seedling index was used to select the most appropriate seedling index and verify it. The results showed that the comprehensive evaluation index range of 660 seedlings was 0.15-0.70. The results of principal component analysis divided 14 indexes into four principal components. Through correlation analysis, two seedling indexes with the greatest correlation were obtained: “total dry weight × root dry weight × total chlorophyll × stem diameter” and “ground dry weight × root dry weight × total chlorophyll × stem diameter”, with correlation coefficients of 0.706 and 0.713 respectively. The correlation with Jingxin 2 is 0.784 and 0.784, and that with Zaojia is 0.852 and 0.839, respectively. Therefore, both “total dry weight × total root dry weight × total chlorophyll × stem diameter” and “ground dry weight × total root dry weight × total chlorophyll × stem diameter” could be used as the seedling index for comprehensive evaluation of watermelon seedling quality.

Key words: Watermelon; Comprehensive index of strong seedling; Fuzzy comprehensive evaluation; Correlation analysis; Principal component analysis

我国是世界上最大的西瓜生产国, 从 2000—2017 年, 西瓜生产规模持续波动增长, 2000 年种植面积 163.46 万 hm^2 , 占世界西瓜总种植面积的 52.25%, 产量 5 182.12 万 t, 占世界总产量的 67.7%; 2017 年种植面积达到 188.15 万 hm^2 , 占世界西瓜总种植面积的 53.65%, 产量 7 904.31 万 t, 占世界总产量的 67.55%, 年均增长率分别为 0.95% 和

2.72%^[1]。大规模、大面积的种植促使西瓜育苗集约化的产生。在生产中, 西瓜的后期生长与品质很大程度上取决于幼苗的壮硕程度, 健壮的种苗不仅移栽成活率高, 而且移栽后能迅速恢复生长, 产品的产量和质量明显提高^[2]。目前, 工厂化育苗中缺乏较为科学的蔬菜幼苗的质量评判方法, 通常是采用单一指标来进行评判, 由于幼苗的生长不仅受到环

收稿日期: 2020-08-05; 修回日期: 2020-10-28

基金项目: 河北农业大学“智慧园艺”学科群自主设置科研项目

作者简介: 王雨露, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为设施园艺。E-mail: 952543664@qq.com

通信作者: 高洪波, 女, 教授, 主要从事设施蔬菜与无土栽培研究。E-mail: hongbogao@hebau.edu.cn

境因子的影响,还受栽培基质的成分与比例^[3]、水肥供应量^[4]、根际环境^[5]等其他影响,单一指标存在较大的片面性。因此,在评判西瓜幼苗的健壮程度时需要综合考虑影响幼苗生长的关键性指标,否则会导致幼苗质量评价参差不齐。

壮苗指数是衡量幼苗壮硕程度的综合性指标,可以较为全面地评判秧苗质量^[6],但是由于不同种类的蔬菜幼苗指标特性不一样,无法用统一的壮苗指数来衡量。近几年对各类植物的壮苗指数开展了较多的研究:(茎粗/根粗+根干质量/地上部干质量)×全株干质量应用于丹参^[7];(茎粗/茎高)×全株干质量应用于番茄^[8];(茎粗/株高+根干质量/地上部干质量)×全株干质量应用于甜椒^[9];地茎/(株高×全株干质量)应用于三色堇^[10];茎粗/茎高×全株干质量应用于辣椒^[11];(根/冠+茎粗/株高)×总质量应用于甜椒^[12]等,但对于西瓜幼苗评价体系研究较少。目前,仍有很多研究通过较少指标甚至单一指标评价幼苗质量,吴学宏等^[13]在评价西瓜幼苗质量上,仅通过主根长、须根数、百株鲜质量、子叶长、子叶宽和株高来评判,不能全面地代表幼苗质量;高凤菊等^[14]在评价西瓜幼苗质量中直接将番茄的壮苗指数套用在西瓜上,不能准确地代表西瓜幼苗质量。王广印等^[15]、李保会等^[16]在衡量西瓜幼苗质量上,并没有测定叶片叶绿素含量,而叶绿素含量体现了幼苗光合作用能力,在缺乏叶绿素含量等生理指标下,评价结果也会有所偏差。

笔者在测定西瓜幼苗株高、茎粗、根系长度、根系体积以及叶片总叶绿素、叶绿素 a、叶绿素 b 含量等 14 项主要指标的基础上,构建出各指标适宜的隶属函数,通过加权模糊综合评判法^[17]构建出较为科学的西瓜幼苗质量评价体系,利用主成分分析的方法,筛选出可以全面代表幼苗质量差异的关键指标,通过相关分析将关键指标的组合与构建出的西瓜幼苗质量评价体系进行比对分析,最终筛选出相关性高且品种间较为稳定的壮苗指数。为工厂化西瓜育苗的质量评判提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料来源

试验于 2019 年 9—11 月在河北农业大学试验基地进行。育苗采用 50 孔穴盘,基质按照 $V_{\text{草炭}}:V_{\text{蛭石}}:V_{\text{珍珠岩}}=3:1:1$ 混合配制而成。其中,用于壮苗指数构建的西农 8 号(西北农林科技大学)共计播种 16 盘;用于稳定性验证的京欣 2 号(北京市农林

科学院蔬菜研究中心)和早佳 8424(长春世嘉农业科技有限公司)分别播种 3 盘。待西瓜幼苗生长至 4 叶 1 心时进行各项指标测定。

1.2 测定指标与方法

随机选取 660 株西农 8 号 4 叶 1 心西瓜幼苗,洗净并用滤纸擦干,用直尺测量株高;用游标卡尺(日本三丰/IP67)测量茎粗;用剪刀将幼苗地上部与地下部分开,采用万分之一天平(奥豪斯/CP114)分别称量地上部、地下部鲜质量和全株鲜质量,并计算根冠比,根冠比=地下鲜质量/地上鲜质量;用根系扫描仪(GXY-A)扫描地下部并测量根系长度与体积;采用乙醇丙酮浸提法^[18]测定叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量;测定完成后将幼苗地上部与地下部分别装入信封袋内置于鼓风干燥箱 80 °C 下烘干至恒质量,并称量地上部、地下部和全株干质量。

1.3 西瓜壮苗综合评价指数的建立

1.3.1 单项指标隶属函数的确定 依据西瓜幼苗生长特性及现有的成苗指标,将 14 项指标分为 3 种类型。其中,株高过高或者过低幼苗品质均较差,隶属函数类型为抛物线型(式 1)、幼苗茎粗指标达到一定程度时认为是优质苗,隶属函数为戒上型(式 2),根系体积、根系长度、叶片总叶绿素含量、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、根冠比(鲜样)、总干质量、地下部干质量、地上部干质量、总鲜质量、地下部鲜质量、地上部鲜质量等 12 项指标在许多研究中认为越大越好,没有明显的上限。因此,本试验中定义为直线型(式 3)。

$$\mu_1(x) = \begin{cases} \frac{x-x_1}{x_2-x_1} & x_1 < x < x_2 \\ 1.0 & x_2 \leq x \leq x_3 \\ \frac{x_4-x}{x_4-x_3} & x_3 < x < x_4 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_2(x) = \begin{cases} \frac{x-x_1}{x_2-x_1} & x_1 < x < x_2 \\ 1.0 & x \geq x_2 \end{cases}; \quad (2)$$

$$\mu_3(x) = \frac{x-x_1}{x_4-x_1} \quad (3)$$

式中: $\mu_1(x)$ 为株高函数值, $\mu_2(x)$ 为茎粗函数值, $\mu_3(x)$ 为干鲜质量指标、色素指标和根系指标函数值, x_1 表示指标数值下限, x_2 表示指标最优数值下限, x_3 表示指标最优数值上限, x_4 表示指标数值上限。

1.3.2 综合评价指数的确定 采用多元线性回归法,通过指标的复相关系数确定各项指标权重。再

依据加权综合评价指数的方法构建综合评价矩阵 $B=A \times R$ (公式 4, 公式 5), 利用各单项指标权重系数与隶属函数之积求和, 可得到各单株西瓜幼苗的综合评价指数。

$$A = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \cdots & \mu_{1n} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \cdots & \mu_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{m1} & \mu_{m2} & \cdots & \mu_{mn} \end{bmatrix}; \quad (4)$$

$$R = [r_1 \quad r_2 \quad \cdots \quad r_n]。 \quad (5)$$

其中, A 为 m 行 n 列矩阵, 其中 m 为样本数, n 为指标数。 R 为指标的权重矩阵。

1.4 综合壮苗指标的筛选

将西瓜幼苗 14 项单项指标采用 SPSS 19.0 对数据进行归一化处理, 对标准化后的指标进行主成分分析, 分析筛选对各主成分相关性较大的关键性指标。将贡献率较大的关键性指标进行完全随机组合, 初步建立综合壮苗指标。将初步得到的综合壮苗指标与幼苗综合评价指数做相关性分析, 再以传统壮苗指数作对照, 筛选出相关性较高并优于传统壮苗指数的综合壮苗指标。

1.5 综合壮苗指标稳定性验证

选取京欣 2 号、早佳各 60 株 4 叶 1 心的幼苗, 依次按照权重系数的确定、隶属函数的确定, 得出每个品种的综合评价指数。将筛选出的综合壮苗指标与每个品种的综合评价指数作相关性分析, 从而验证综合壮苗指标的稳定性。

2 结果与分析

2.1 单项指标权重系数

利用多元相关分析法计算决定系数并得到 14 项西瓜指标的权重系数。由表 1 可以看出, 西瓜幼苗各指标权重系数整体较低, 表明各指标之间联系紧密, 相关性较大。其中, 茎粗的权重系数最大, 达到了 0.103, 其次为株高的权重系数, 为 0.096。表明这 2 个指标较为独立, 与其他指标相关性较小。

2.2 单项指标隶属函数

西瓜幼苗单项指标隶属函数按照隶属函数的类型将各指标具体分类, 西瓜幼苗株高在 13.00~15.00 cm 范围内达到最佳, 隶属度为 1, 低于或高于这个范围隶属度降低; 西瓜幼苗茎粗达到 4.00 mm 以上隶属度为 1, 其余指标均为单向指标, 最大值隶属度为 1。西瓜幼苗各项指标隶属函数类型和临界值如表 2 示。

表 1 西瓜幼苗单项指标权重系数

指标	决定系数	权重系数
株高	0.460	0.096
茎粗	0.397	0.103
地上部鲜质量	1.000	0.065
地下部鲜质量	1.000	0.065
总鲜质量	1.000	0.065
根冠比(鲜样)	0.897	0.069
地上部干质量	1.000	0.065
地下部干质量	1.000	0.065
总干质量	1.000	0.065
叶绿素 a 含量	1.000	0.065
叶绿素 b 含量	1.000	0.065
总叶绿素含量	1.000	0.065
根系总长度	0.768	0.074
根系体积	0.826	0.072

表 2 西瓜苗单项指标隶属函数类型和临界值

指标	隶属函数类型	下限	最优下限	最优上限	上限
株高/cm	抛物线型	3.90	13.00	15.00	22.00
茎粗/mm	戒上型	1.92		4.00	5.79
根系体积/cm ³	直线型	0.07			6.83
根系长度/mm	直线型	23.95			1 168.88
叶片总叶绿素含量/(mg·g ⁻¹)	直线型	0.10			3.51
叶绿素 a 含量/(mg·g ⁻¹)	直线型	0.01			2.49
叶绿素 b 含量/(mg·g ⁻¹)	直线型	0.00			1.68
根冠比(鲜样)	直线型	0.03			0.73
总干质量/g	直线型	0.09			1.04
地下部干质量/g	直线型	0.00			0.20
地上部干质量/g	直线型	0.09			0.98
总鲜质量/g	直线型	1.01			10.61
地下部鲜质量/g	直线型	0.06			3.40
地上部鲜质量/g	直线型	0.67			8.99

2.3 综合评价指数

利用各项指标权重系数与对应的隶属函数之积求和可得到单株幼苗综合评价指数。将本研究的 660 株样本综合评价指数汇总, 如图 1 所示。从图中可以看出, 综合评价指数在 0.15~0.70 范围内波动, 表明本次试验测试范围较广, 样品数量较大, 能够较为全面地评价西瓜幼苗质量, 测试结果具有一定科学性与可靠性。

2.4 主成分分析

根据 14 项西瓜幼苗测量指标主成分分析结果(表 3), 特征值大于 1 的成分为 4 个, 累计贡献率大于 85%。其中, 主成分一的贡献率为 37.36%, 主成分二的贡献率为 24.14%, 主成分三的贡献率为 16.31%, 主成分四的贡献率为 7.26%, 表明幼苗的差

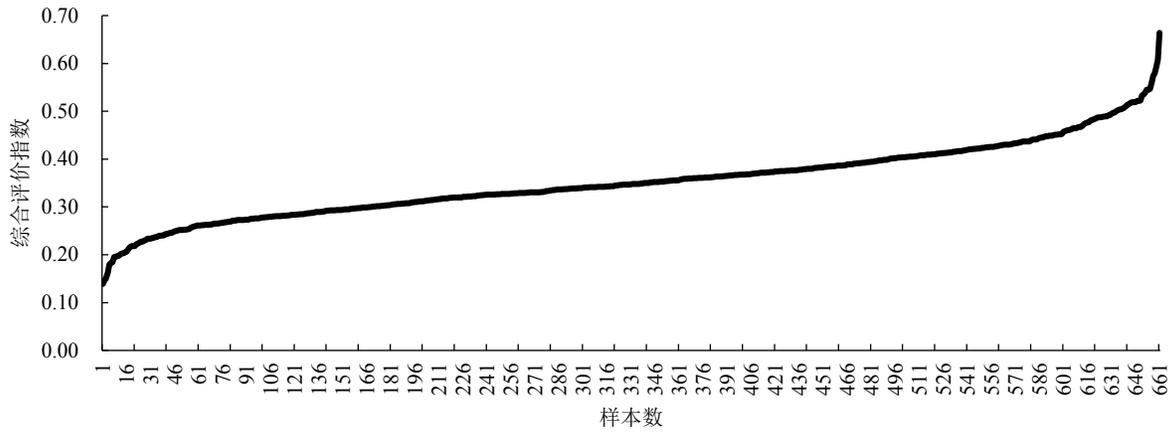


图1 样本综合评价指数

表3 主成分分析

主成分	起始特征值		
	特征值	贡献率/%	累加/%
1	5.23	37.36	37.36
2	3.38	24.14	61.49
3	2.28	16.31	77.80
4	1.02	7.26	85.07
5	0.53	3.78	88.85
6	0.42	2.96	91.81
7	0.35	2.50	94.31
8	0.29	2.07	96.38
9	0.27	1.95	98.33
10	0.19	1.35	99.68
11	0.05	0.32	100.00
12	0.00	0.00	100.00
13	0.00	0.00	100.00
14	0.00	0.00	100.00

异主要体现在这4个方面。因此,作为评价幼苗质量的鉴别指标也需要包括这4个方面。根据西瓜幼苗主成分主要指标分析结果(表4),主成分一为

表4 主成分主要指标分析

主成分	指标	相关程度
主成分一	总干质量	0.92
	地上部干质量	0.93
	总鲜质量	0.89
	地上部鲜质量	0.94
主成分二	根系体积	0.83
	根系长度	0.74
	地下部干质量	0.67
	根冠比(鲜样)	0.87
	地下部鲜质量	0.90
主成分三	总叶绿素含量	0.98
	叶绿素 a 含量	0.94
	叶绿素 b 含量	0.93
主成分四	茎粗	0.83
	株高	-0.66

地上生物量指标,由总干质量、地上部干质量、总鲜质量、地上部鲜质量构成;主成分二为地下生物量指标,由根系体积、根系长度、地下部干质量、地下部鲜质量、根冠比(鲜样)构成;主成分三为色素指标,由总叶绿素、叶绿素 a、叶绿素 b 含量构成;主成分四为形态指标,由茎粗与株高构成。

2.5 综合壮苗指标的初步建立

选取每一类成分中的一项指标作为乘积因子与其他3项指标之积构成综合壮苗指标。通过每一类指标的两项关键指标与其他指标随机排列组合,本研究筛选出16个综合壮苗指标组合形式(表5)。并将3个传统壮苗指数:“(茎粗/株高+根干质

表5 综合壮苗指标构建结果

序号	综合壮苗指标
CK1	(茎粗/株高+根干质量/地上部干质量)×全株干质量
CK2	(根干质量/地上部干质量)×全株干质量
CK3	(茎粗/茎高)×苗干质量
X1	总干质量×体积×总叶绿素含量×茎粗
X2	地上干质量×体积×总叶绿素含量×茎粗
X3	总干质量×根干质量×总叶绿素含量×茎粗
X4	地上干质量×根干质量×总叶绿素含量×茎粗
X5	总干质量×体积×叶绿素 a 含量×茎粗
X6	地上干质量×体积×叶绿素 a 含量×茎粗
X7	总干质量×体积×总叶绿素含量/株高
X8	地上干质量×体积×总叶绿素含量/株高
X9	总干质量×体积×叶绿素 a 含量/株高
X10	地上干质量×体积×叶绿素 a 含量/株高
X11	总干质量×根干质量×总叶绿素含量/株高
X12	地上干质量×根干质量×总叶绿素含量/株高
X13	总干质量×根干质量×叶绿素 a 含量×茎粗
X14	地上干质量×根干质量×叶绿素 a 含量×茎粗
X15	总干质量×根干质量×叶绿素 a 含量/株高
X16	地上干质量×根干质量×叶绿素 a 含量/株高

量/地上部干质量)×全株干质量”“(根干质量/地上部干质量)×全株干质量”“(茎粗/茎高)×苗干质量”作为对照 CK1、CK2 和 CK3。

2.6 综合壮苗指标与综合评价指数相关性分析

将 16 个综合壮苗指标组合与 3 个对照组分别与西瓜幼苗综合评价指数作相关性分析,结果如表 6 所示。其中,CK1 的相关系数为 0.530;CK2 的相关系数为 0.301;CK3 的相关系数为 0.474,X4 的相关系数为 0.713,是所测综合壮苗指标相关性最大的一项。筛选得到的 4 个最高的综合壮苗指标分别是 X4、X14、X3、X13,用于后续稳定性验证。

表 6 综合壮苗指标与西瓜苗综合评价指数相关性分析结果

序号	相关系数	序号	相关系数
CK1	0.530	X8	0.372
CK2	0.301	X9	0.356
CK3	0.474	X10	0.368
X1	0.589	X11	0.492
X2	0.604	X12	0.501
X3	0.706	X13	0.699
X4	0.713	X14	0.706
X5	0.586	X15	0.488
X6	0.600	X16	0.498
X7	0.360		

2.7 综合壮苗指标稳定性验证

由表 7 可以看出,CK1,CK2,CK3 在京欣 2 号和早佳应用中相比 X3、X4、X13、X14 均具有较低的相关性,且在品种间差异加大,3 个对照的差异分别达到 0.082,0.204 和 0.238。在 X3、X4、X13、X14 中,X3(与京欣 2 号的相关系数为 0.784,与早佳的相关系数为 0.852),X4(与京欣 2 号的相关系数为 0.784,与早佳的相关系数为 0.839)均表现出较高的相关性与稳定性,表明这 2 个综合壮苗指标在不同品种西瓜幼苗质量评价上具有比传统壮苗指数更为可靠的准确性,可作为西瓜幼苗健壮程度评判依据。

表 7 综合壮苗指标稳定性验证结果

京欣 2 号		早佳	
综合壮苗指标	相关系数	综合壮苗指标	相关系数
CK1	0.612	CK1	0.544
CK2	0.504	CK2	0.452
CK3	0.712	CK3	0.607
X3	0.784	X3	0.852
X4	0.784	X4	0.839
X13	0.776	X13	0.849
X14	0.776	X14	0.837

3 讨论与结论

前人在对不同蔬菜壮苗指数研究主要还是集中在传统育苗壮苗指数与指标之间相关性分析方面。张世祥等^[19]通过对番茄苗各指标进行相关分析和壮苗指数影响因素的通径分析,确定番茄苗壮苗指数的关键指标:全株干质量、茎粗及根数。韩素芹等^[20]同时用通径和灰色关联度 2 种分析方法对甜椒壮苗指数和苗期相关性状进行研究,确定适合甜椒穴盘苗的壮苗指数为:(茎粗/株高+根干质量/地上部干质量)×全株干质量。李建明等^[20]通过回归分析,建立甜瓜壮苗指数受有效积温、日温差积累及光辐射积累驱动的 Johnso-Schumacher 数学回归动态模型。黄淑华等^[7]通过关联度分析确定适合丹参幼苗的壮苗指数,在此基础上,依据丹参苗与环境因子气温、光辐射和空气湿度的关系,采用 Johnso-Schumacher 模型确定壮苗指数的主要影响参数。这些研究的方法是通过传统指标进行的,缺少对指标全面性的分析。本试验在主成分分析的基础上,将西瓜幼苗 14 项指标划分为地上指标、地下指标、色素指标和形态指标 4 类主成分,并将这 4 个主成分的主要指标全部纳入到综合壮苗指标中,可以保障指标的全面性。本研究将色素指标列入到壮苗指数中,这与张苏^[21]认为叶绿素含量能够代表作物长势的观点是一致的。

本试验在全面测定西瓜幼苗的各项形态指标与生理指标的基础上,通过模糊综合评判法,建立符合西瓜幼苗实际的综合评价指数矩阵,再利用主成分分析法筛选出西瓜幼苗的关键指标并组合为 16 个综合壮苗指标,根据综合评价指数与综合壮苗指标的相关性,筛选出 4 个相关性最大的壮苗指数:总干质量×根干质量×总叶绿素含量×茎粗,相关系数为 0.706;地上干质量×根干质量×总叶绿素含量×茎粗,相关系数为 0.713;总干质量×根干质量×叶绿素 a 含量×茎粗,相关系数为 0.699;地上干质量×根干质量×叶绿素 a 含量×茎粗,相关系数为 0.706。通过品种间的稳定性验证最终筛选出 2 个稳定性好的壮苗指数“总干质量×根干质量×总叶绿素含量×茎粗”“地上干质量×根干质量×总叶绿素含量×茎粗”,2 个壮苗指数可为西瓜幼苗的质量评判提供理论依据。

参考文献

- [1] 杨念,杨孟阳,王蔚宇,等.基于 Nerlove 模型的我国西瓜供给需求反应[J].中国瓜菜,2019,32(5):50-53.

- [2] 周修任,杨鹏鸣.不同施肥处理对南瓜呼吸速率和壮苗指数的影响[J].广东农业科学,2009(11):79-81.
- [3] 王林闯,仲秀娟,赵建锋,等.不同育苗基质对西瓜苗期生长的影响[J].安徽农业科学,2015,43(25):38-39.
- [4] 沙志宏,王孝钢,程浩,等.西瓜水肥一体化节肥高效优质增产技术应用与探索[J].世界热带农业信息,2019(8):29-31.
- [5] 周广生,梅方竹,陈艳华.冬小麦根系活力与产量性状关系的研究[J].华中农业大学学报,2001,20(6):531-534.
- [6] 白岩,史万华,邢小军,等.烟草壮苗指数模型研究[J].中国农业科学,2014,47(6):1086-1098.
- [7] 黄淑华,徐福利,王渭玲,等.丹参壮苗指数及其模拟模型[J].应用生态学报,2012,23(10):2779-2785.
- [8] 陆帼一,张和义,周存田.番茄壮苗指标的初步研究[J].中国蔬菜,1984(1):13-17.
- [9] 韩素芹,王秀峰,魏珉,等.甜椒穴盘苗壮苗指数及其与苗期性状的相关性研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2004,35(2):187-190.
- [10] 孟凡枝,杨鹏鸣.不同施肥水平对三色堇根冠比和壮苗指数的影响[J].中国农学通报,2010,26(6):216-218.
- [11] 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.
- [12] 崔秀敏.基质供水状况对番茄、甜椒穴盘苗生长特性的影响及其适应机制研究[D].山东泰安:山东农业大学,2003.
- [13] 吴学宏,刘西莉,刘鹏飞,等.15%噁·霜·福种衣剂对西瓜幼苗生长及其抗病性相关酶活性的影响[J].中国农业大学学报,2003,8(3):61-64.
- [14] 高凤菊,贺洪军.不同环境因子对西瓜幼苗素质的影响[J].山东农业科学,2010(6):43-46.
- [15] 王广印,张建伟,刘德福.植物抗寒剂对西瓜幼苗生长的影响[J].长江蔬菜,1996(5):25-26.
- [16] 李保会,黄瑞虹,乜兰春,等.芸薹素内酯、丰必灵和恩益碧对西瓜种子发芽及幼苗生长的影响[J].河北农业科学,2007,11(2):61-63.
- [17] 宫彬彬,王宁,章铁军,等.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.
- [18] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:123-124.
- [19] 张世祥,王海明,皇甫满喜.番茄壮苗指数与影响因素通径分析[J].北方园艺,1992(1):17-20.
- [20] 李建明,邹志荣,黄志.温光驱动甜瓜壮苗指数模型研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(1):149-152.
- [21] 张苏.叶绿素密度遥感反演与冬小麦单产估算研究[D].西安:西安科技大学,2014.