

DOI:10.11937/bfyy.201607026

西瓜嫁接砧木对南方根结线虫的抗性鉴定

吕星光, 李 敏, 杜玉芬, 高 菲

(青岛农业大学 园艺学院, 山东 青岛 266109)

摘 要:以 16 种西瓜砧木为试材,采用聚类分析和隶属函数分析方法,研究了南方根结线虫(*Meloidogyne incognita*)对不同砧木的生长指标和抗病指标的影响。结果表明:抗性最强的是“青农 2 号”,隶属函数总值为 6.26,抗性最弱的是“青农 3 号”,隶属函数总值为 1.48。结论认为“青农 2 号”为西瓜嫁接的最佳砧木,该试验为合理筛选和利用西瓜砧木提供了理论和技术参考。

关键词:西瓜砧木;南方根结线虫;聚类分析;隶属函数

中图分类号:S 651.604⁺.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)07-0104-04

西瓜(*Citrullus lanatus*)是葫芦科重要的经济作物,在我国栽培历史悠久,其种植面积在 2010 年已达到 181.25 万 hm²[1]。近年来,伴随设施蔬菜栽培面积的增加,设施内南方根结线虫(*Meloidogyne incognita*)病害日趋严重,尚未得到根本控制。随着甲基溴的日渐淘汰,嫁接已成为一种廉价、便捷的防治土壤病害的方式,越来越受到人们青睐[2],而筛选出适宜的嫁接砧木,是提高嫁接防病效果的关键[3-5]。

该研究选出了我国目前西瓜嫁接常用的 16 种砧

木,在接种南方根结线虫条件下,通过测定各西瓜砧木的生长指标和抗病指标,运用聚类分析和隶属函数分析结合的方法,筛选出低耐、中耐、高耐 3 类西瓜砧木,以期科学地为生产应用和选育抗线虫西瓜砧木品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试西瓜砧木 16 种,均为杂交白籽南瓜,名称及来源详见表 1。

表 1

供试砧木品种及其来源

Table 1

The resources of rootstocks cultivars in the experiment

编号 No.	品种 Cultivar	来源 Origin	编号 No.	品种 Cultivar	来源 Origin
1	“全能铁甲”	德高蔬菜种苗研究所	9	“青研 1 号”	青岛市农科院
2	“德高金铁甲”	德高蔬菜种苗研究所	10	“甜砧”	青岛市农科院
3	“德高金字塔”	德高蔬菜种苗研究所	11	“甜砧 0905”	金妈妈农业科技有限公司
4	“黄金搭档”	德高蔬菜种苗研究所	12	“铠甲 1 号”	昌邑市砧木研究所
5	“德高铁根 1 号”	德高蔬菜种苗研究所	13	“青农 3 号”	青岛农业大学
6	“德高力士”	德高蔬菜种苗研究所	14	“青农 1 号”	青岛农业大学
7	“神根”	德高蔬菜种苗研究所	15	“青农 2 号”	青岛农业大学
8	“德高铁柱”	德高蔬菜种苗研究所	16	“新土佐”	神田育种农场

1.2 试验方法

人工接种试验于 2015 年 6—8 月在青岛农业大学日光温室内进行。6 月 18 日,将砧木种子浸种、催芽,6 月 20 日播种于 50 孔穴盘中,穴盘内装高温灭菌基质

(蛭石:土壤=1:2)。6 月 26 日砧木第 1 片真叶露心时,选取长势一致的植株移栽至 20 cm×13 cm 塑料盆中,每品种 15 盆,每盆内 2 株,盆内装高温灭菌基质(蛭石:土壤=1:2)。7 月 4 日,待砧木苗长至 2 叶 1 心时,任选 6 盆采用根际打孔法[6]接种南方根结线虫,每盆 3 000 个卵粒;任选 6 盆注入等量清水作为对照;其余 3 盆测定株高、茎粗、地上部鲜重、根鲜重等生长指标,结果记作 *t*。

1.3 项目测定

1.3.1 生长指标 8 月 24 日,接种线虫后 50 d,任选 3 盆接种线虫植株测定株高、茎粗、地上部鲜重、根鲜重,

第一作者简介:吕星光(1991-),男,山东烟台人,硕士研究生,现主要从事蔬菜栽培生理等研究工作。E-mail:1335396662@qq.com.

责任作者:李敏(1964-),女,山东龙口人,博士,教授,现主要从事蔬菜栽培生理等研究工作。E-mail:minli@qau.edu.cn.

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2014BAD05B03);山东省科技发展计划资助项目(2013GNC11014)。

收稿日期:2015-12-14

记作 T_1 , 任选 3 盆对照植株测定以上生长指标, 记作 T_0 , 计算相对生长量, 相对生长量(%) = $[(T_1 - t) / (T_0 - t)] \times 100$ 。

1.3.2 抗病指标 8月24日, 在测定生长指标的同时, 测定其抗病指标。参照张学炜等^[7]、陈劲枫等^[8]的方法对其抗病性进行分级。0级: 根部无根瘤; 1级: 根部形成 1~2 个根瘤; 2级: 根部形成 3~10 个根瘤; 3级: 根部形成 11~30 个根瘤; 4级: 根部形成 31~100 个根瘤; 5级: 根部形成根瘤数超过 100 个。病情指数(DI) = $\sum(\text{各病级植株数} \times \text{该级数}) / (\text{调查总株数} \times \text{最重病级数值}) \times 100$ 。采用 BOITEUX 等^[9]方法计算根结指数、卵粒指数和线虫繁殖系数。根结指数(GI) = 单株根结数/单株根鲜重; 卵粒指数(EI) = 单株卵粒数/单株根鲜重; 线虫繁殖系数(RF) = 单株卵粒数/单株卵接种量。

1.3.3 隶属函数 隶属函数值的计算参照邓云等^[6]的方法。生长指标的隶属函数值参照公式 $X(\mu) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$, 抗病指标的隶属函数值参照公式 $X(\mu) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。其中 X 为西瓜砧木某指标的测定值, X_{\max} 为所有西瓜砧木该指标测定的最大值, X_{\min} 为所有西瓜砧木该指标测定的最小值。隶属函数值越大, 表明该西瓜砧木抗南方根结线虫的能力越强。

1.4 数据分析

采用 DPS 软件进行方差分析及最小显著差异性检验(LSD法); 采用 DPS 软件进行聚类分析, 对原始数据进行对数转换后, 经欧氏距离法计算样本间距离, 用最短距离法聚类。

2 结果与分析

2.1 南方根结线虫侵染对西瓜砧木生长指标的影响

相对生长量可反映西瓜砧木遭受南方根结线虫侵染后保持原有生长势的能力, 相对生长量越大, 抗病性越强, 反之抗病性越弱^[6]。由表 2 可看出, 接种南方根结线虫后, 不同西瓜砧木的相对生长量均受到了不同程度的影响。“全能铁甲”株高最高, “青农 1 号”、“青农 2 号”次之; “德高铁柱”茎粗最高, “神根”、“甜砧 0905”次之; 地上部鲜重“新土佐”最高, “德高金字塔”、“青农 1 号”次之; 根鲜重以“甜砧”最高, “德高金铁甲”、“德高铁根 1 号”次之。比较变异系数可以看出, 南方根结线虫侵染对西瓜砧木株高的影响最大, 对茎粗的影响最小。

2.2 南方根结线虫侵染对西瓜砧木抗病指标的影响

由表 3 可以看出, 南方根结线虫侵染对不同西瓜砧木的抗病指标也产生了影响, 且不同砧木间差异显著。相同条件下, 病情指数等指标越大, 表明其对南方根结线虫的抗性越弱, 抗性越强。病情指数方面, “德高金字塔”抗性最强, “德高金铁甲”、“德高力士”、“神根”次之; 根结指数方面, “甜砧”抗性最强, “德高金铁甲”、“德高金

表 2 南方根结线虫侵染对西瓜砧木生长指标的影响

Table 2 Effect of *M. incognita* on growth index of watermelon rootstocks

品种 Cultivar	相对生长量 Relative growth/ %			
	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	地上部鲜重 Shoot fresh weight	根鲜重 Root fresh weight
“全能铁甲”	57.1 ± 4.3a	76.6 ± 4.2cdef	46.1 ± 0.8bc	78.6 ± 3.1cde
“德高金铁甲”	22.4 ± 3.6hi	65.8 ± 2.6gh	25.7 ± 1.7hi	91.4 ± 0.6a
“德高金字塔”	42.5 ± 4.7bcde	59.5 ± 4.6h	46.8 ± 0.9bc	85.3 ± 2.4abcd
“黄金搭档”	27.6 ± 1.5ghi	67.2 ± 2.6fgh	32.4 ± 2.2fgh	51.6 ± 5.0h
“德高铁根 1 号”	32.6 ± 2.8defgh	69.4 ± 4.3efgh	31.5 ± 2.6fgh	89.4 ± 2.2ab
“德高力士”	19.1 ± 1.0i	77.8 ± 2.9cde	21.9 ± 3.8i	76.0 ± 0.7de
“神根”	42.4 ± 7.0bcdef	91.0 ± 3.0ab	44.0 ± 3.3bcd	70.1 ± 1.2ef
“德高铁柱”	29.0 ± 4.2ghi	94.7 ± 1.1a	42.2 ± 3.2bcde	89.1 ± 2.8ab
“青研 1 号”	32.1 ± 7.1efgh	85.8 ± 3.0abc	29.1 ± 3.5ghi	58.2 ± 2.1gh
“甜砧”	36.3 ± 2.5bcdefg	79.8 ± 4.8cde	29.2 ± 1.7fghi	92.3 ± 4.2a
“甜砧 0905”	29.6 ± 2.5fghi	93.0 ± 5.8a	36.3 ± 4.3efg	89.3 ± 4.2ab
“铠甲 1 号”	45.1 ± 6.5abcd	74.7 ± 3.2defg	46.5 ± 2.0bc	80.0 ± 3.2bcde
“青农 3 号”	35.4 ± 1.7cdefg	64.5 ± 1.8gh	36.8 ± 1.9def	51.2 ± 5.7h
“青农 1 号”	56.4 ± 2.6a	86.8 ± 4.1abc	48.4 ± 4.2b	64.6 ± 4.9fg
“青农 2 号”	48.3 ± 8.0ab	86.6 ± 4.3abc	40.2 ± 1.0cde	87.4 ± 2.4abc
“新土佐”	46.9 ± 2.9abc	82.1 ± 1.9bcd	57.8 ± 1.1a	75.3 ± 6.7de
变异系数 Coefficient of variation/ %	18.23	7.62	11.98	7.87

注: 同列数据后不同字母相同者表示在 5% 水平上差异不显著。下同。

Note: Different letters show significant difference at 0.05 level. The same below.

表 3 南方根结线虫侵染对西瓜砧木抗病指标的影响

Table 3 Effect of watermelon rootstocks disease index after infecting by *M. incognita*

名称 Cultivar	病情指数 DI	根结指数 GI	卵粒指数 EI	繁殖系数 RF
“全能铁甲”	60.0 ± 0.0defg	1.6 ± 0.1efg	459.7 ± 28.6cde	1.77 ± 0.05def
“德高金铁甲”	53.3 ± 2.1fg	1.2 ± 0.1fg	363.5 ± 29.6def	1.47 ± 0.12fg
“德高金字塔”	51.7 ± 4.0g	1.4 ± 0.2fg	417.0 ± 28.5cdef	1.35 ± 0.10g
“黄金搭档”	58.3 ± 1.7efg	1.5 ± 0.2efg	500.5 ± 55.8bcd	1.73 ± 0.06defg
“德高铁根 1 号”	66.7 ± 2.1cde	1.6 ± 0.2efg	431.8 ± 36.4cde	2.10 ± 0.14bcd
“德高力士”	55.3 ± 2.1fg	1.4 ± 0.1fg	359.2 ± 51.0def	1.47 ± 0.10fg
“神根”	55.3 ± 2.1fg	2.3 ± 0.3ef	514.2 ± 69.3bc	1.43 ± 0.10fg
“德高铁柱”	76.7 ± 2.1bc	3.8 ± 0.4cd	516.7 ± 62.0bc	2.25 ± 0.04def
“青研 1 号”	70.0 ± 3.7bcd	2.8 ± 0.3de	411.5 ± 56.2cdef	1.67 ± 0.16efg
“甜砧”	58.3 ± 1.7efg	0.9 ± 0.1g	352.5 ± 12.5ef	1.88 ± 0.03cde
“甜砧 0905”	90.0 ± 3.7a	6.2 ± 0.7b	606.3 ± 51.8ab	3.33 ± 0.28a
“铠甲 1 号”	66.7 ± 3.3cde	2.0 ± 0.3efg	378.8 ± 44.5cdef	1.97 ± 0.09bcde
“青农 3 号”	91.7 ± 4.0a	10.3 ± 1.1a	675.8 ± 99.5a	2.35 ± 0.14b
“青农 1 号”	63.3 ± 2.1def	1.6 ± 0.1efg	399.0 ± 20.8cdef	1.73 ± 0.12defg
“青农 2 号”	63.3 ± 9.2def	2.2 ± 1.0efg	280.5 ± 33.4f	1.82 ± 0.27def
“新土佐”	78.3 ± 4.8b	4.3 ± 0.5c	497.0 ± 54.5bcd	2.27 ± 0.24bc
变异系数 Coefficient of variation/ %	11.30	32.40	24.62	16.34

字塔”、“德高力士”次之; 卵粒指数方面, “青农 2 号”抗性最强, “德高力士”、“甜砧”次之; 繁殖系数方面, “德高金字塔”抗性最强, “德高金铁甲”、“德高力士”、“神根”次

之。比较变异系数可以看出,南方根结线虫侵染对西瓜砧木根结指数的影响最大,对病情指数的影响最小,说明根结指数更能反映西瓜砧木的抗病能力。

2.3 南方根结线虫侵染后西瓜砧木幼苗相关指标的隶属函数值

由表 4 可知,“青农 2 号”的隶属函数总值最大,达 6.26,表明其抗南方根结线虫的能力最强;“青农 3 号”的隶属函数总值最小,仅为 1.48,表明其抗南方根结线虫的能力最弱。

表 4 南方根结线虫侵染后西瓜砧木相关指标的隶属函数值

品种	株高	茎粗	地上部鲜重	根鲜重	病情指数	根结指数	卵粒指数	繁殖系数	总计
Cultivar	PH	SD	SFM	RFM	DI	GI	EI	RF	Sum
“全能铁甲”	1.00	0.49	0.67	0.67	0.79	0.93	0.55	0.79	5.89
“德高金铁甲”	0.09	0.18	0.11	0.98	0.96	0.97	0.79	0.94	5.02
“德高金字塔”	0.62	0.00	0.69	0.83	1.00	0.95	0.65	1.00	5.74
“黄金搭档”	0.22	0.22	0.29	0.01	0.84	0.94	0.44	0.81	3.77
“德高铁根 1 号”	0.36	0.28	0.27	0.93	0.63	0.93	0.62	0.62	4.64
“德高力士”	0.00	0.52	0.00	0.60	0.96	0.95	0.80	0.94	4.77
“神根”	0.61	0.89	0.62	0.46	0.96	0.85	0.41	0.96	5.76
“德高铁柱”	0.26	0.00	0.57	0.92	0.38	0.69	0.40	0.55	3.77
“青研 1 号”	0.34	0.75	0.20	0.17	0.54	0.80	0.67	0.84	4.31
“甜砧”	0.45	0.58	0.20	1.00	0.84	1.00	0.82	0.73	5.62
“甜砧 0905”	0.28	0.95	0.40	0.93	0.04	0.44	0.18	0.00	3.22
“铠甲 1 号”	0.68	0.43	0.69	0.70	0.63	0.88	0.75	0.69	5.45
“青农 3 号”	0.43	0.14	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	1.48
“青农 1 号”	0.98	0.78	0.74	0.33	0.71	0.93	0.70	0.81	5.98
“青农 2 号”	0.77	0.77	0.51	0.88	0.71	0.86	1.00	0.76	6.26
“新土佐”	0.73	0.64	1.00	0.59	0.34	0.64	0.45	0.54	4.93

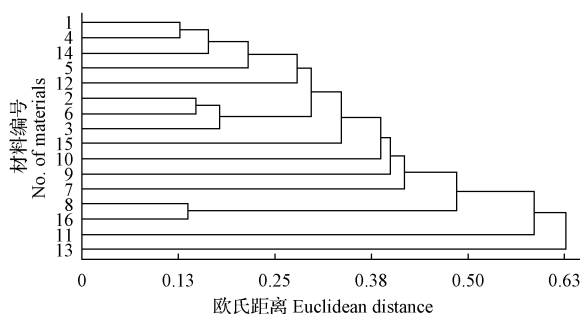


图 1 西瓜砧木对南方根结线虫抗性指标的聚类分析

Fig. 1 Clustering analysis of disease index of watermelon rootstocks to *M. incognita*

由图 2 可知,以抗性指标中变异系数最大的根结指数进行聚类,当 $T=13, I=8, J=1$, 距离为 0.289 2 时,可将砧木分为 3 类,且分类结果与以 4 个抗病指标进行聚类完全相同,表明根结指数能较准确地反映砧木的抗病能力。

通过聚类分析,将西瓜砧木分为高耐线虫、中耐线虫、低耐线虫 3 类,高耐线虫砧木包括“青农 2 号”在内的 13 种,中耐砧木为“甜砧 0905”,低耐砧木为“青农 3 号”。其中,“青农 2 号”隶属函数总值为 6.26,“甜砧 0905”隶属函数总值为 3.22,“青农 3 号”隶属函数总值为 1.48,

2.4 西瓜砧木抗线虫能力的聚类分析

从图 1 可以看出,以 4 个抗病指标进行聚类,当 $T=13, I=8, J=1$, 距离为 0.483 5 时,可将砧木分为 3 类,高耐线虫砧木包括“全能铁甲”、“德高金铁甲”、“德高金字塔”、“黄金搭档”、“德高铁根 1 号”、“德高力士”、“神根”、“德高铁柱”、“青研 1 号”、“甜砧北 25”、“铠甲 1 号”、“青农 1 号”、“青农 2 号”、“新土佐”,中耐线虫砧木为“甜砧 0905”,低耐线虫砧木为“青农 3 号”。

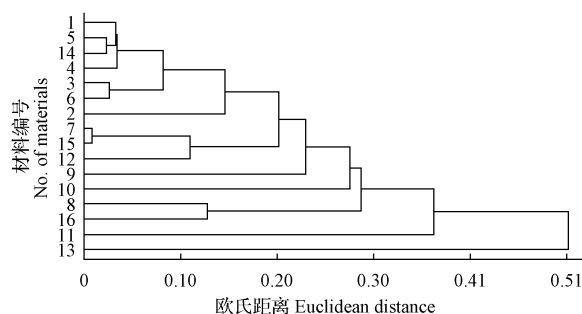


图 2 西瓜砧木南方根结线虫根结指数的聚类分析

Fig. 2 Clustering analysis of root-knot index to *M. incognita* of watermelon rootstocks

表明隶属函数分析和聚类分析的结果高度一致,因而砧木筛选结果科学、可信。

3 讨论

前人在筛选瓜类砧木耐南方根结线虫方面已做了许多研究。顾兴芳等^[10]、沈锦等^[11]根据病情指数,对供试黄瓜砧木的抗性进行了分类,前者将供试砧木分为了中抗、感病和高感 3 种类型,后者将供试砧木分为了中抗和感病 2 种类型。陈振德等^[12]根据黄瓜产量、品质和病情指数对供试黄瓜砧木进行了筛选,李磊等^[13]根据黄

瓜产量、病情指数筛选到了防效较好的黄瓜砧木。金国良等^[14]依据根结指数对瓜类砧木进行了分类,结果分为较耐和易感 2 种类型。综上,采用不同指标进行评价,将导致结果不一,难以横向比较。徐小明等^[15]研究发现线虫侵染对不同评价指标的影响不一致,因而采用单一指标进行评价往往不够准确。聚类分析多用于抗性筛选研究^[15-16],而隶属函数分析可以将多个指标转换成彼此独立的因子,计算出隶属函数总值,因而能更直观的反映出植株的抗病能力^[17-18]。

该试验通过隶属函数分析和聚类分析结合的方法,将 16 种西瓜砧木筛选分为了高耐砧木、中耐砧木、低耐砧木 3 类。在南方根结线虫侵染对西瓜砧木生长指标的影响中,比较变异系数可以看出,南方根结线虫侵染对西瓜砧木株高的影响最大,这与王志伟^[19]、王艳艳^[20]的研究结果不同,但对茎粗的影响方面表现相同,均表明南方根结线虫侵染对西瓜砧木茎粗的影响最小。在南方根结线虫侵染对西瓜砧木抗病指标的影响中,根结指数的变异系数最大,表明其受线虫侵染的影响最大,这支持了前人的研究结果,也说明采用根结指数进行聚类分析得到的聚类结果科学、可信。该研究初步建立了抗南方根结线虫西瓜砧木筛选体系,也为以后的市场实践奠定了理论和技术基础。

参考文献

- [1] 中华人民共和国农业部. 中国农业统计资料[M]. 北京:中国农业出版社,2011.
- [2] 曹志平,陈国康,郑长英,等. 五种甲基溴土壤消毒替代技术比较研究[J]. 农业工程学报,2004,20(5):250-253.
- [3] 王艳艳,魏珉,时伟,等. 黄瓜嫁接砧木对南方根结线虫的抗性鉴定[J]. 天津农业科学,2013,19(7):65-70.
- [4] 芦金生,王旭,陈宗光,等. 耐西瓜根结线虫病砧木筛选试验[J]. 中国瓜菜,2010,23(5):33-35.
- [5] SIGUENZA C, SCHOCHOW M, TURINI T, et al. Use of *Cucumis metuliferus* as a rootstock for melon to manage *Meloidogyne incognita* [J]. Journal of Nematology, 2005, 37(3): 276-280.
- [6] 邓云,王志伟,孙德玺,等. 西瓜种质资源对南方根结线虫抗性鉴定[J]. 果树学报,2012,29(6):1103-1109.
- [7] 张学伟,钱笑丽,刘济伟. 西瓜种质资源抗根结线虫鉴定及防治研究[J]. 果树科学,1989,8(1):33-38.
- [8] 陈劲枫,林茂松,钱春桃,等. 甜瓜属野生种及其与黄化种间杂交后代抗根结线虫初步研究[J]. 南京农业大学学报,2001,24(1):21-24.
- [9] BOITEUX L S, CHARCHAR J M. Genetic resistance to root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) in eggplant (*Solanum melongena*) [J]. Plant Breeding, 1996(3):198-200.
- [10] 顾兴芳,方秀娟,张思远. 抗南方根结线虫黄瓜砧木的筛选[J]. 中国蔬菜,2006(2):4-8.
- [11] 沈镒,李锡香,冯兰香,等. 葫芦科蔬菜种质资源对南方根结线虫的抗性评价[J]. 植物遗传资源学报,2007,8(3):340-342.
- [12] 陈振德,王佩圣,周英,等. 不同砧木对黄瓜产量、品质及南方根结线虫防治效果的影响[J]. 中国蔬菜,2012(8):57-62.
- [13] 李磊,王佩圣,周英,等. 耐根结线虫病黄化砧木的筛选[J]. 山东农业科学,2014,46(10):110-112.
- [14] 金国良,王富,霍雨猛,等. 耐根结线虫瓜类砧木的筛选[J]. 山东农业科学,2010(5):89-91.
- [15] 徐小明,徐坤,于芹. 茄子砧木对南方根结线虫抗性的鉴定与评价[J]. 园艺学报,2008,35(10):1461-1466.
- [16] 管志勇,陈素梅,陈发棣,等. 32 个菊花近缘种属植物耐盐性筛选[J]. 中国农业科学,2010,43(19):4063-4071.
- [17] 贾双双,高荣广,徐坤. 番茄砧木对南方根结线虫抗性鉴定[J]. 中国农业科学,2009,42(12):4301-4307.
- [18] 王志伟,李涵,孙德玺,等. 4 个甜瓜野生近缘种对南方根结线虫的抗性评价[J]. 中国瓜菜,2014,27(1):13-16.
- [19] 王志伟. 抗南方根结线虫西瓜砧木资源的筛选与评价[D]. 雅安:四川农业大学,2011.
- [20] 王艳艳. 黄瓜砧木对南方根结线虫的抗性差异及其机理初探[D]. 泰安:山东农业大学,2013.

Resistance Evaluation of Rootstocks for Watermelon Grafting to *Meloidogyne incognita*

LYU Xingguang, LI Min, DU Yufen, GAO Fei

(College of Horticulture, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109)

Abstract: The growth indexes and disease indexes of 16 watermelon rootstocks which were planted in pots and inoculated with *Meloidogyne incognita* were measured in the experiment, and the clustering analysis and subordinate function analysis were conducted. The results showed that ‘Qingnong 2’ with the subordinate function value 6.26 had the strongest resistance capacity, while ‘Qingnong 3’ with the subordinate function value 1.48 had the lowest resistance capacity. The conclusion was that the best rootstock for watermelon grafting was ‘Qingnong 2’. It provided theoretical and technical reference for rational selection and utilization of watermelon rootstocks.

Keywords: watermelon rootstocks; *Meloidogyne incognita*; clustering analysis; subordinate function