

影响无土栽培黄瓜叶片中镁含量的因素研究

谢小玉^{1,2}, 邹志荣^{1*}, 江雪飞¹

(1. 西北农林科技大学园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西南大学农学与生物科技学院, 重庆 北碚 400715)

摘要: 温室三因素(地温、营养液钾、镁离子浓度)五水平旋转组合设计试验, 分析无土栽培黄瓜开花结果前、中、后期叶片中镁含量的影响因素, 得到黄瓜叶片中镁含量对 3 因素的回归数学模型。结果表明: ①在本试验条件下, 3 因素对黄瓜叶片中镁含量的影响顺序是镁离子浓度>地温>钾离子浓度; ②各因素间存在着交互作用, 地温与营养液中镁离子浓度和钾离子均呈正相关, 镁离子与钾离子呈负相关; ③要使黄瓜叶片中镁的含量最高, 相对应的地温、营养液镁离子浓度、钾离子浓度应分别为 29.13℃、4 mmol/L、4.43 mmol/L。试验结果经后续验证, 证明构建的模型准确可靠。

关键词: 黄瓜; 无土栽培; 镁; 数学模型

中图分类号: S625.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)06-0085-04

缺镁是温室黄瓜无土栽培开花结果期常出现的一种生理病害^[1], 缺镁导致黄瓜生理障碍, 产量降低。目前的管理措施是在出现缺镁症状后进行叶面喷施镁肥^[2], 这能够一定程度地缓解缺镁导致的一系列生产问题, 但是出现缺素症状后再去补施其效果大大折扣。比较好的方法是探求最佳营养液配方^[3], 但是营养液中镁的含量足够时, 植株仍会出现缺素症状, 同时排出的废液富营养化, 对环境也造成污染。主要原因在于镁的吸收利用受到营养液中的金属离子钾、钙的拮抗^[4]以及环境因子, 包括地温、气温、光照等的影响^[5], 但是哪一个因子是主导因子? 关于这方面的研究未见报道。本研究旨在探索影响黄瓜叶片中镁含量的因子, 为温室黄瓜高效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

供试材料为津优 1 号黄瓜。试验于 2005 年秋季在西北农林科技大学现代化温室内进行。于 8 月 18 日育苗, 育苗基质草炭:珍珠岩为 1:1, 整个育苗期浇灌清水, 后期出现缺素症状时浇灌 1/2 营养液(营养液配方为园式和山崎配方的组合), 9 月上旬(9 月 8 日)3~4 叶期定植。定植基质为膨化珍珠岩, 采用黑白双面的栽培袋(袋长 90 cm、宽 30 cm), 每袋定植 4 株, 采用 40 cm+80 cm 的行距。灌溉水中的钾离子浓度为 2.868 mg/L(0.073 mmol/L)、镁离子浓度为 22.675 mg/L(0.933 mmol/L)、钙离子浓度为 36.900 mg/L(0.9 mmol/L), pH 值 7.06、

EC 值 1.04 mS/cm。

本试验采用三因素通用旋转组合设计^[6], 设计地温、镁浓度和钾浓度 3 个变量, 按照黄瓜营养液组成的浓度范围以及温室黄瓜生育对温度的需求, 设计本试验的上下限及零水平, 共 20 个处理, 营养液中的微量元素采用通用配方, 采用硝酸将营养液 pH 值调整在 5.6~6.2。试验设计方案见表 1、表 2。通过在栽培袋下铺设电热线, 采用自动控温仪控制地温。

表 1 地温、镁浓度、钾浓度试验三因素水平编码

Table 1 The code of factor levels in the universal rotational combinational experiment

变量 Variable	X ₁ (地温/℃) Ground temperature	X ₂ (Mg mmol/L)	X ₃ (K mmol/L)
1.682	34	4	14
1	29.13	3.39	11.57
0	22	2.5	8
-1	14.87	1.61	4.43
-1.682	10	1	2
△	7.13	0.89	3.57

注: 营养液中其他元素含量采用当前所用配方, 其中螯合铁 2.2 g/L、NH₄H₂PO₄ 15 g/L、Ca(NO₃)₂ 4 mmol/L、MnSO₄·H₂O 1.5 mg/L、HBO₃ 3 mg/L、ZnSO₄·7H₂O 0.15 mg/L、CuSO₄ 0.03 mg/L、Na₂MoO₄·2H₂O 0.015 mg/L。

Note: The contents of other elements in the solution were the same as those in the common prescriptions, in which, the contents of EDTA-Fe, NH₄H₂PO₄, Ca(NO₃)₂, MnSO₄·H₂O, HBO₃, ZnSO₄·7H₂O, CuSO₄ and Na₂MoO₄·2H₂O were 2.2 g/L, 15 g/L, 4 mmol/L, 1.5 mg/L, 3 mg/L, 0.15 mg/L, 0.03 mg/L and 0.015 mg/L, respectively.

收稿日期: 2007-03-21

基金项目: 国家 863 计划项目“可控环境下无公害蔬菜全季节优质高效生产技术”(2001AA247012)

作者简介: 谢小玉(1968—), 女, 副教授, 在读博士, 主要从事设施蔬菜栽培方面的教学与研究工作。E-mail: xiexy8009@163.com。

* 通讯作者: 邹志荣, 男, 教授, 博导。主要从事设施园艺和园林工程方面的教学和研究工作。

幼苗期每 2 天浇灌营养液 0.25 L/株,开花结果期每 2 天浇灌营养液 0.5 L/株,每隔 10 d 浇 1 次清水洗盐。然后分别在开花结果初期、盛期、末期取黄瓜叶片,105℃杀青 30~60 min,然后 75℃~80℃烘 24~36 h 至恒重,装于自封袋中保存,待采样全部结束后,用粉碎机粉碎,过 80 目筛,然后全部样品在 75℃~80℃烘 12 h 至恒重。用 1 M HCl,在 35℃水浴中提取,测定时加入氯化镧抗干扰,在 AA320CRT 原子吸收分光光度计测定叶片中镁含量^[7](每处理 3 重复)。

表 2 地温、钾浓度、镁浓度三因素对黄瓜叶片中镁含量的影响

Table 2 The effects of ground temperature, Mg^{2+} concentration and K^{+} concentration on the content of Mg in leaves of cucumber

处理 Treatment	X_1 (地温/℃) Ground temperature	X_2 (Mg) (mmol/L)	X_3 (K) (mmol/L)	叶片中镁含量(mg/g 干重) Mg content in leaves (mg/g DW)		
				初期 Prophase	盛期 Metaphase	末期 Anaphase
1	1	1	1	3.4076	3.641	3.642
2	1	1	-1	3.6802	4.0258	3.8058
3	1	-1	1	3.2906	3.370	3.2646
4	1	-1	-1	2.7444	2.568	2.467
5	-1	1	1	3.0552	2.9070	2.919
6	-1	1	-1	3.3288	3.382	3.410
7	-1	-1	1	3.0248	2.879	2.8386
8	-1	-1	-1	2.6470	2.4230	2.433
9	1.682	0	0	3.1118	3.1634	2.957
10	-1.682	0	0	2.9218	2.867	2.642
11	0	1.682	0	3.4882	3.993	3.7898
12	0	-1.682	0	2.6544	2.526	2.433
13	0	0	1.682	3.0804	3.1084	2.9484
14	0	0	-1.682	2.8252	2.678	2.4724
15	0	0	0	3.2730	3.353	3.163
16	0	0	0	3.4272	3.8098	3.645
17	0	0	0	3.2566	3.193	3.1578
18	0	0	0	3.2166	3.183	3.0434
19	0	0	0	3.3344	3.593	3.422
20	0	0	0	3.436	3.602	3.445

前期(采收始期)影响黄瓜叶片中镁离子含量的回归模型为:

$$Y = 3.315984 + 0.11484X_1 + 0.2319X_2 + 0.0599X_3 + 0.042574X_1X_2 + 0.021176X_1X_3 - 0.18378X_2X_3 - 0.09054X_1^2 - 0.0523X_2^2 - 0.09408X_3^2 \tag{1}$$

中期(采收盛期)影响黄瓜叶片中镁离子含量的回归模型为:

$$Y = 3.45106 + 0.18396X_1 + 0.37954X_2 + 0.08216X_3 + 0.092736X_1X_2 + 0.054526X_1X_3$$

2 结果与分析

2.1 目标函数数学模型的建立与检验

根据表 2 测定结果,以植株叶片中镁离子含量为目标函数(y),以营养液中地温(X_1)、镁浓度(X_2)和钾浓度(X_3)为控制变量,运用农业试验统计分析软件——Copyright V3.0 2003~2006,对数据进行计算机处理,得到黄瓜叶片中镁含量对三因素的回归数学模型(1)、(2)、(3)。

$$-0.26475X_2X_3 - 0.13072X_1^2 - 0.04412X_2^2 - 0.17366X_3^2 \tag{2}$$

后期(采收末期)影响黄瓜叶片中镁离子含量的回归模型为:

$$Y = 3.304064 + 0.16026X_1 + 0.23858X_2 + 0.09292X_3 + 0.09235X_1X_2 + 0.0799X_1X_3 - 0.24226X_2X_3 - 0.12916X_1^2 - 0.0472X_2^2 - 0.16066X_3^2 \tag{3}$$

经显著性检验,模型(1) $F_1 = 2.797514 < F_{0.05} = 5.050329$,失拟不显著,拟合好。 $F_2 = 20.86476$

$> F_{0.01} = 10.15776$,表明回归关系达极显著水平。

模型(2) $F_1 = 0.610271 < F_{0.05} = 5.050329$,失拟不显著,拟合好。 $F_2 = 6.606657 > F_{0.05} = 4.77246$,表明回归关系达显著水平。

模型(3) $F_1 = 1.082207 < F_{0.05} = 5.050329$,失拟不显著,拟合好。 $F_2 = 7.849503 > F_{0.05} = 4.772466$,表明回归关系达显著水平。

F 检验说明目标函数与各因素拟合很好,可以进行效应分析与预测。

2.2 各因素及其交互作用与目标函数之间的关系

2.2.1 主效应分析 回归模型本身已经过无量纲编码代换,其偏回归系数已经标准化,故可以直接从其绝对值的大小来判断各因素对目标函数的相对重要性。因此,在黄瓜生长的前期、中期和后期,3 因素对目标函数(叶片中镁离子浓度)影响程度均为 $X_2 > X_1 > X_3$,即营养液镁离子浓度 $>$ 地温 $>$ 营养液钾离子浓度。

2.2.2 单因子效应分析 将回归模型中的地温、营养液镁离子浓度、钾离子浓度 3 因子中的 2 个固定在零水平,求得单因素对目标函数的偏回归子模型。

分别对子模型求导,令 $dy/dx=0$,求出 Y 达极大值时各要素单独使用的最佳值,利用模型(1)的子模型得到 $X_1=0.6342$, $X_2=1.4517$, $X_3=0.3183$ 。模型(2)的子模型得到 $X_1=0.7036$, $X_2=4.301$, $X_3=0.2366$ 。模型(3)的子模型得到 $X_1=0.6204$, $X_2=2.5274$, $X_3=0.5784$ 。

黄瓜对镁的吸收受到营养液中钾离子浓度的影响,在黄瓜开花结果的初期、盛期和末期,当地温的编码值分别为 1.098、0.7036、0.6204 时,植株中镁离子含量达最大值,之后下降;营养液中镁离子浓度的变化也是同样的趋势,只不过在各个时期编码值超过了本试验方案最高水平 1.682,是因为冬季温室没有加温而导致气温低,镁的吸收、运转速率较低;而营养液中钾离子的编码值分别为 0.3183、0.2366、0.5784 时,植株中镁离子含量达最大值,之后下降。

2.2.3 三因子的交互效应分析 试验中三因子之间对植株叶片中镁离子含量的影响有明显的交互作用, X_1 与 X_2 、 X_3 成正相关, X_2 与 X_3 成负相关。按照薛尔维斯德多元函数极值判别法则,通过对模型的解析,分别得到模型(1)的 X_1 与 X_2 、 X_2 与 X_3 、 X_1 与 X_3 交互效应,其交互效应分界点分别为 $X_1=2.648$ 、 $X_2=3.81$; $X_2=-2.448$ 、 $X_3=2.709$; $X_1=0.663$ 、 $X_3=0.244$ 。模型(2)的 X_1 与 X_2 、 X_2 与 X_3 、 X_1 与 X_3 交互效应,其交互效应分界点分别为 $X_1=3.554$ 、 $X_2=8.035$; $X_2=-2.791$ 、 $X_3=2.364$; $X_1=0.742$ 、 $X_3=0.353$ 。模型(3)的 X_1 与 X_2 、 X_2 与 X_3 、 X_1 与 X_3 交互效应,其交互效应分界点分别为 $X_1=1.093$ 、 $X_2=1.322$; $X_2=0.5248$ 、 $X_3=-0.106$; $X_1=0.769$ 、 $X_3=0.480$;在其低于此相应水平时对 y 存在正相关关系,高于此水平又会呈负相关关系。

与 X_3 、 X_1 与 X_3 交互效应,其交互效应分界点分别为 $X_1=3.554$ 、 $X_2=8.035$; $X_2=-2.791$ 、 $X_3=2.364$; $X_1=0.742$ 、 $X_3=0.353$ 。模型(3)的 X_1 与 X_2 、 X_2 与 X_3 、 X_1 与 X_3 交互效应,其交互效应分界点分别为 $X_1=1.093$ 、 $X_2=1.322$; $X_2=0.5248$ 、 $X_3=-0.106$; $X_1=0.769$ 、 $X_3=0.480$;在其低于此相应水平时对 y 存在正相关关系,高于此水平又会呈负相关关系。

2.2.4 三因子的优化组合及相应的 y 值 通过对模型的解析,分析了地温、营养液镁离子浓度、钾离子浓度 3 个因子对植株中镁离子含量的影响程度,得出三因子的取值在黄瓜整个开花结果期均为 $X_1=1$ 、 $X_2=1.682$ 、 $X_3=-1$,其相对应量分别为 29.13°C 、 4 mmol/L 、 4.43 mmol/L ;以此量化指标指导黄瓜栽培,其叶片中镁离子含量可达最高值,前、中、后期分别为 3.788 mg/g 干重、 4.3132 mg/g 干重和 3.8904 mg/g 干重。

3 模型验证

3.1 试验设计

为确保模型的可靠性和准确性,于 2006 年 9 月 20 日育苗,10 月 18 日定植。试验依据模型寻优得到的最佳组合 A、最差组合 B,温室通用的营养液中镁、钾含量和冬季常见地温为对照,共设三个处理。各处理设置同前,重复四次,随机排列,进行模型的验证试验,各处理如下。

表 3 各处理地温、钾浓度、镁浓度三因素取值

Table 3 The design of ground temperature, Mg^{2+} concentration and K^{+} concentration in different treatments

处理 Treatment	X_1 (地温 $^{\circ}\text{C}$) Ground temperature	X_2 (Mg mmol/L)	X_3 (K mmol/L)
A	29.13	4.00	4.43
CK	18.00	2.50	8.00
B	14.87	1.61	4.43

3.2 试验结果及分析

不同的地温、钾浓度、镁浓度对黄瓜叶片中镁离子的含量的影响很大,由表 4 看出, $A > \text{CK} > B$,差异达极显著水平。说明由模型选优所得到的地温、营养液中镁离子和钾离子浓度配比的栽培效果明显优于其他配比。生产上普遍采用的组合镁离子含量居中,而由模型选出的较差组合镁离子含量最低,说明地温、营养液中镁离子和钾离子浓度配比失衡,影响了镁离子的吸收、运转。由此证明,构建的模型准确可靠。

表 4 不同处理对黄瓜叶片中镁离子含量的影响(mg/g 干重)
Table 4 The effects of different treatments on Mg²⁺ content in leaves of cucumber (mg/g DW)

处理 Treat- ment	初期 Prophase				盛期 Metaphase				末期 Anaphase			
	重复 1 Repeat 1	重复 2 Repeat 2	重复 3 Repeat 3	平均 Mean	重复 1 Repeat 1	重复 2 Repeat 2	重复 3 Repeat 3	平均 Mean	重复 1 Repeat 1	重复 2 Repeat 2	重复 3 Repeat 3	平均 Mean
A	3.6042	3.5928	3.5706	3.5892A	4.0692	3.9928	3.9706	4.0108A	3.4042	3.4718	3.3562	3.4108A
CK	3.0914	2.9974	3.0724	3.0537B	3.174	3.0174	3.0724	3.0886B	2.9792	2.8652	3.0002	2.9482B
B	2.7578	2.7002	2.7546	2.7376C	2.4086	2.6402	2.414	2.4876C	2.3794	2.4602	2.3074	2.3644C

注:表中数据后标注的大写字母表示 1%显著水平。 Note: The capital letters attached to the data mean 1% remarkable level.

4 结论与讨论

在本试验条件下,得出冬季温室黄瓜影响镁吸收的因素模型,经检验达到了显著水平,可用于预报和指导生产。试验证明,不论在黄瓜开花结果的前期(采收始期)、中期(采收盛期)还是末期(采收末期)地温、营养液中镁离子浓度、钾离子浓度三因素对黄瓜镁的吸收利用的影响均为是镁离子浓度>地温>钾离子浓度。这一结果表明,要解决冬季黄瓜缺镁的问题,除了增施镁肥外,还需要增加地温及气温。

试验结果证明,要解决由于黄瓜叶片缺镁导致的黄叶、低产问题,相对应的地温、镁离子浓度、钾离子浓度应分别为 29.13℃、4 mmol/L、4.43 mmol/L;叶片中镁离子含量在开花结果的前、中、后期分别可达到 1.894 mg/g 干重、2.1566 mg/g 干重和1.9152 mg/g 干重。此外,各因素间存在着交互作用,得到地温与镁离子、镁离子与钾离子、地温与钾离子在黄瓜开花结果的前期低于 2.648 和3.81、-2.448和 2.709、0.663 和 0.244 水平,中期低于 3.554 和 8.035、-2.791和 2.364、0.742 和 0.353 水平,后期低于 1.093 和 1.322、0.5248 和 -0.106、0.769和 0.480 水平时,对植株叶片中的镁离子含量存在正相关关系,在分别高于以上水平时呈负相关关系。

在对模型的单因子效应进行分析时得出,在各个时期镁离子的编码值超过了本试验方案最高水平

1.682,可能的原因是冬季温室没有加温而导致气温低,镁的吸收、运转速率较低^[8];尤其在黄瓜植株生长后期根系活力降低,缺镁导致黄瓜根系畸形^[9],抑制了根系对镁元素的吸收。因此,在以后的深入研究中应尽可能使气温保持在不影响物质合成运转的温度。

参 考 文 献:

[1] 马国瑞.园艺植物营养与施肥[M].北京:中国农业出版社,1992.
[2] 宋胭脂,张建平,邢丰才,等.现代温室黄瓜产量规律及环境因子分析[J].西北农林科技大学学报(自然版),2005,33(2):107-111.
[3] 杨旭,邹志荣,陈晓红,等.黄瓜无土栽培结果期营养液配方的筛选[J].西北农业学报,2003,12(1):68-71.
[4] Ohno T, Grunes L. Potassium-magnesium interactions affecting nutrient uptake by wheat forage[J]. Soil Sci Am J, 1985, 45: 685-690.
[5] 裴孝伯,张福漫,高丽红.日光温室不同季节黄瓜对钙镁吸收分配规律的研究[J].中国农学通报,2001,17(6):7-11.
[6] 袁志发,周静宇.试验设计与分析[M].北京:高等教育出版社,2000.366-385.
[7] 李西开.土壤农业化学常规分析方法[M].北京:科学出版社,1983.56-62.
[8] 吕英华.无公害蔬菜施肥技术[M].北京:中国农业出版社,2003.
[9] 胡春华,李萍萍.基于图像处理的黄瓜缺氮与缺镁判别的研究[J].江苏大学学报,2004,25(1):9-12.

(英文摘要下转第 101 页)

Determination of the total isoflavone content of chickpea seeds
by three-wavelength UV spectrophotometry

WU Min^{1,2}, YUAN Jian³, YU Tian², LI Yan², WANG Hong-ling¹, ZHANG Ju-song², MA Hao¹

(1. State Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China; 2. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumchi, Xinjiang 830052, China; 3. College of Food Science and Engineering, Nanjing Finance and Economics University, Nanjing, Jiangsu 210003, China)

Abstract: The extraction and determination were optimized to build a determining method of the total isoflavone content of chickpea seeds by Three-wavelength UV spectrophotometry. The optimum extraction condition was: 0.3 g chickpea flour was extracted with 25 ml 70% alcohol density for 3 hours. The extracting temperature was 60℃. The isoflavone extracting rate was 86.5% at one time, while the total extraction rate of two times was 97.0%. The coefficient of variation (CV) of the accuracy experiment was 1.14%. The average recovery rate was 99.0% with CV=3.2%. The newly developed determining method is reliable, simple and accurate, and could avoid or eliminate the influence of the interfering components and the peak floating, and is suitable for the quality control of chickpea products.

Keywords: *Cicer Arietinum* L.; total isoflavones content; three-wavelength; determination

(上接第 88 页)

Effect of different factors on magnesium content
in cucumber leaf under soil-less cultivation

XIE Xiao-yu^{1,2}, ZOU Zhi-rong¹, JIANG Xue-fei¹

(1. College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi, 712100, China; 2. College of Agronomy and Bio-technology, Southwest University, Beibei, Chongqing 400715, China)

Abstract: By means of universal rotational combinational design with three-factors(ground temperature as well as K^{+} concentration and Mg^{2+} concentration in nutrient solution) and five-levels, the corresponding mathematic regression models were set up. The results showed: ① under the condition of this experiment, the sequence of different factors influencing Mg content in leaves of cucumber was: Mg^{2+} concentration>ground temperature> K^{+} concentration. ② There were interactions among different factors, i.e., ground temperature was positively related to Mg^{2+} concentration and K^{+} concentration, while Mg^{2+} concentration was negatively related to K^{+} concentration. ③ In order to have an optimal Mg content, the ground temperature, Mg^{2+} concentration and K^{+} concentration in nutrient solution should be 29.13℃, 4 mmol/L and 4.43 mmol/L, respectively. The experiment proved that the model is accurate and reliable.

Keywords: cucumber; soil-less culture; magnesium; mathematic model