

日光温室袋培番茄三因素五水平优化施肥方案

王丹丹, 李 燕, 张庆银, 齐连芬, 牛瑞生, 师建华*, 田国英*

(石家庄市农林科学研究院, 石家庄 050041)

摘要:为了研究日光温室袋培番茄优质高产条件下最优氮磷钾、钙、镁施用量,本研究采用三因素五水平试验设计,建立了以氮磷钾、钙、镁施用量为变量因子,番茄产量和品质为目标函数的三元二次数学模型。结果表明,本试验条件下番茄单株产量达4300 g的施肥方案为:氮磷钾单次施用量6.994~7.220 g/株、钙单次施用量0.862~1.059 g/株、镁单次施用量0.217~0.252 g/株;品质综合评分达90分以上的施肥方案为:氮磷钾施用量6.241~6.759 g/株、钙施用量0.654~0.868 g/株,镁施用量0.204~0.246 g/株。综合分析番茄单株产量预期达到4300 g、品质综合评分达90分以上的优质高产氮磷钾、钙、镁单次施用量范围为:氮磷钾施用量为6.241~6.759 g/株,钙施用量为0.862~0.868 g/株,镁施用量为0.217~0.246 g/株。NPK:CaO:MgO适宜的施用量比例为1:0.13:0.03。

关键词:袋培番茄;施肥方案;高产;优质

中图分类号:S641.2

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2022)05-0088-05

Optimizing Fertilization Scheme of Three-Factor and Five-Level for Tomato in Bag in Solar Greenhouse

WANG Dandan, LI Yan, ZHANG Qingyin, QI Lianfen, NIU Ruisheng, SHI Jianhua*, TIAN Guoying*

(Shijiazhuang Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050041, China)

Abstract: In order to study the optimum NPK, Ca and Mg application amount in high-yield and high-quality conditions of tomato in bag in solar greenhouse, the three-factor and five-level experimental design was used to establish a ternary quadratic mathematical model, which independent variables were NPK, Ca and Mg, the dependent variables were yield and quality. The results showed that the fertilization schemes of tomato yield 4,300 g/plant under the conditions of this experiment were: NPK 6.994-7.220 g/plant each time, Ca 0.862-1.059 g/plant each time, Mg 0.217-0.252 g/plant each time; the fertilization schemes with a comprehensive quality score over 90 were: NPK 6.241-6.759 g/plant each time, Ca 0.654-0.868 g/plant each time, and Mg 0.204-0.246 g/plant each time. In summary, fertilization scheme of high yield (4,300 g/plant) and high quality (comprehensive score over 90) of tomatoes were NPK 6.241-6.759 g/plant each time, CaO 0.862-0.868 g/plant each time, MgO 0.217-0.246 g/plant each time, and the appropriate proportions of NPK, CaO and MgO was 1:0.13:0.03.

Key words: Tomato in bag; Fertilization scheme; High yield; High quality

番茄是世界范围内栽培面积最广的蔬菜作物之一,也是中国设施栽培的主要蔬菜之一^[1-3]。番茄果实中含有番茄红素、维生素C和酚类物质等营养物质,这些物质是重要的抗氧化剂^[4-6],因此

番茄倍受消费者青睐。袋培由于简化了土壤栽培的劳动程序,省去了土壤栽培中沤粪、施肥、整地、起垄等苦、累、脏、臭的劳动环节,减少人工,省时省力,提高效率,改善劳动环境^[7]。肥料是农业生产的物质基础,合理施肥能提高作物产量^[8],改善土壤结构,提高土壤肥力,是蔬菜优质、高产的必要条件,而过度施肥,不仅造成资源浪费,还会导致作物营养失调、果实硝酸盐含量升高、果实品质和肥料利用率下降等^[9]。因此,施肥不仅要依据植物营养原理和作物的吸收特性,还要考虑到环境条件,如温湿度、土壤、水肥、病虫害及栽培等因素。

氮磷钾是植物生长发育所需的大量营养元

收稿日期:2019-12-18

基金项目:河北省重大科技成果转化专项(19026517Z);河北省重点研发计划项目(20326906D);石家庄市农林科学研究院设施蔬菜创新团队(208790016A)

作者简介:王丹丹(1991-),女,农艺师,硕士,主要从事设施蔬菜栽培研究。

通讯作者:师建华,女,正高级农艺师,E-mail: 13785101151@163.com

com

田国英,男,研究员,E-mail: tguoying1@163.com

素,它们通过参与植物光合作用、呼吸作用、糖代谢、核酸合成等生理过程来提高作物的产量和品质^[10]。钙、镁是植物生长发育所需的中量元素,与植株体内生理反应和细胞组织结构的发育、蔬菜作物的产量和品质都有密切的关系^[11]。镁影响植物的光合作用、糖和蛋白质的合成^[12],施钙可以降低脐腐病果的数量^[13]。研究表明在氮浓度 9.970~10.860 mmol/L、磷浓度 1.364~1.635 mmol/L、钾浓度 5.113~5.158 mmol/L时,可以获得高产量和高番茄红素的番茄^[14]。设施番茄的氮、磷和钾最佳经济施肥量分别为 119.0、50.4、375.6 kg/hm²,施肥比例为 1:0.42:3.16^[15]。夏广清等^[16]研究发现,纯钙镁肥的用量在 13.34 kg/hm²和 3.335 kg/hm²时可以增加番茄植株和果实对钾、钙、镁的吸收。以上研究表明,不同地区不同种植条件下番茄的施肥方案差异较大,以氮磷钾、钙、镁三因素为变量的番茄施肥方案鲜有研究。因此,本文采用袋培方式,利用三因素五水平施肥方案,通过计算模拟得出袋培番茄高产优质所需氮磷钾、钙、镁最佳施用量范围,以期为进一步研究番茄氮磷钾、钙、镁营养需求提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 试验区及试验材料

试验在石家庄市农林科学研究院赵县试验基地日光温室开展。供试番茄品种为瑞克斯旺公司的‘1404’。供试土壤基本理化性质:有机质 42.2 g/kg,全氮(N)2.52 g/kg,全磷(P)2.31 g/kg,全钾(K)1.42 g/kg,水解性氮 210.86 mg/kg,速效磷 288.89 mg/kg,速效钾 266.28 mg/kg,pH 7.4。2018年2月23日定植于栽培袋内,每袋一株。栽培袋采用大小行排列,分别为 90、70 cm,株距 35 cm,植株管理采用单干整枝,单株留 6 穗果,于 2018年5月20日打顶。

1.2 试验设计

采用三因素五水平旋转组合设计,共 23 个处理,每处理 5 株,三次重复,随机区组排列。氮磷钾肥为保定市绿特生物科技有限公司生产的大量元素水溶肥,其比例为 16:6:36;钙肥由绿盾生物技术有限公司生产,总钙含量≥22%,有效成分含量≥99%;镁肥由莱州市宏磊工贸有限公司生产,氧化镁含量为 85%~90%。全生育期各种肥料均共施入 5 次,在每穗果膨大时施入,每次施肥量见表 1。

1.3 测定指标

单果重:电子天平测定。 V_c 含量:用钼蓝比色法^[17]测定。可滴定酸含量(%):去除番茄果皮果蒂,

表 1 试验设计

处 理	X_1 (NPK)		X_2 (CaO)		X_3 (MgO)	
	编码	施肥量 (g/株)	编码	施肥量 (g/株)	编码	施肥量 (g/株)
1	-1	5.9	-1	0.63	1	0.292
2	1	7.1	-1	0.63	-1	0.158
3	0	6.5	0	0.9	-1.6818	0.1125
4	-1	5.9	1	1.17	-1	0.158
5	1	7.1	1	1.17	1	0.292
6	0	6.5	0	0.9	1.6818	0.3375
7	-1	5.9	-1	0.63	-1	0.158
8	1	7.1	-1	0.63	1	0.292
9	0	6.5	0	0.9	0	0.225
10	-1	5.9	1	1.17	1	0.292
11	1	7.1	1	1.17	-1	0.158
12	0	6.5	0	0.9	0	0.225
13	-1.6818	5.5	0	0.9	0	0.225
14	1.6818	7.5	0	0.9	0	0.225
15	0	6.5	-1.6818	0.45	0	0.225
16	0	6.5	1.6818	1.35	0	0.225
17	0	6.5	0	0.9	0	0.225
18	0	6.5	0	0.9	0	0.225
19	0	6.5	0	0.9	0	0.225
20	0	6.5	0	0.9	0	0.225
21	0	6.5	0	0.9	0	0.225
22	0	6.5	0	0.9	0	0.225
23	0	6.5	0	0.9	0	0.225

用四分法将可食部分切碎混匀,用酸碱滴定法^[18]测定。可溶性糖含量:用蒽酮法^[17]测定。可溶性固形物含量:用日本 ATAGO 公司的手持折光仪测定。

番茄品质综合评分标准:根据马乐乐等^[9]的博弈论组合赋权法得到了番茄品质的评分标准,本试验由于未测定番茄红素含量和可溶性蛋白含量,因此去掉这两项后将其他品质指标乘以系数 1.818,得到可溶性糖含量、可溶性固形物含量、糖酸比、有机酸含量、 V_c 含量的权重分别为 0.336、0.229、0.184、0.140、0.111,使其总和为 1。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 进行基础数据处理,采用 SPSS 18.0 对数据进行统计和方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理番茄产量、品质指标

不同处理番茄产量、果实品质指标如表 2 所示。处理 5 的产量最高,为每株 4624.55 g/株,处理 1 的产量最低,为 3713.75 g/株。处理 10 的维生

表2 不同处理番茄果实品质

处理	产量(g/株)	V _c [mg/(100 g)]	可溶性糖(mg/g)	可滴定酸(%)	可溶性固形物(%)	糖酸比	品质综合评分
1	3713.75±242.73d	54.21±0.00bc	57.99±7.32def	0.39±0.00bcd	5.55±0.08bcde	15.07±1.60cdefg	86.63
2	4401.58±138.61ab	51.95±3.91bcd	59.00±1.81cde	0.40±0.02abc	5.67±0.12abc	14.66±1.01defg	87.36
3	3914.33±127.92cd	58.73±3.91ab	54.21±0.80efg	0.39±0.00bc	5.85±0.05a	13.76±0.20fg	85.78
4	3916.26±217.66cd	58.73±3.91ab	49.58±3.33g	0.30±0.02f	5.63±0.05abcd	16.56±1.50abcde	82.50
5	4624.66±385.37a	54.21±0.00bc	50.96±2.34fg	0.36±0.02de	5.47±0.14cdefg	14.31±0.71efg	81.27
6	4085.68±227.00bcd	58.73±3.91ab	53.47±3.26efg	0.39±0.00bc	5.53±0.08bcdef	13.57±0.83fg	83.99
7	3729.12±322.74d	49.69±3.91cd	63.26±3.69abcd	0.39±0.00bc	5.82±0.15a	16.06±0.94abcdef	90.69
8	4542.55±151.27a	56.47±3.91bc	64.11±5.70abcd	0.38±0.03cde	5.42±0.08defgh	17.20±2.45abcd	91.27
9	4409.02±138.56ab	53.08±1.96bc	66.27±2.79abc	0.38±0.02cde	5.40±0.30defghi	17.70±1.34ab	92.14
10	3946.24±129.33cd	63.24±3.91a	60.44±6.54bcde	0.41±0.03ab	5.73±0.05ab	14.68±1.73defg	90.62
11	4430.41±246.50ab	49.69±1.96cd	54.74±5.56efg	0.39±0.00bc	5.80±0.28a	13.90±1.41fg	84.39
12	4448.55±139.72ab	54.21±3.39bc	67.70±2.88ab	0.38±0.02cde	5.32±0.26efghi	18.05±0.37a	93.05
13	3795.34±234.46d	51.95±3.91bcd	57.30±4.27def	0.43±0.03a	5.17±0.10hi	13.36±1.74g	84.19
14	4517.41±142.42ab	45.17±3.91d	59.99±8.62bcde	0.39±0.00bc	5.45±0.34cdefg	15.23±2.19bcdefg	86.07
15	4302.07±239.00abc	58.73±3.91ab	59.67±4.79cde	0.35±0.02e	5.18±0.12hi	17.26±2.11abc	87.78
16	4488.03±277.62ab	51.95±3.91bcd	59.05±4.22cde	0.35±0.02e	5.25±0.08ghi	17.02±1.19abcd	86.32
17	4580.35±283.34a	54.21±0.00bc	70.05±1.37a	0.39±0.00bc	5.25±0.10ghi	17.78±0.35a	94.24
18	4471.56±248.42ab	49.69±5.18cd	70.60±3.38a	0.39±0.00bcd	5.20±0.18hi	17.92±0.86a	93.66
19	4425.44±245.86ab	49.69±3.91cd	66.75±3.04abc	0.38±0.03cde	5.27±0.20ghi	17.86±1.35a	91.41
20	4431.73±137.07ab	54.21±0.00bc	66.72±0.44abc	0.39±0.00bc	5.30±0.28fghi	16.94±0.11abcd	92.00
21	4500.05±149.89ab	49.69±3.91cd	67.81±2.21ab	0.38±0.03cde	5.27±0.26ghi	18.16±1.61a	92.23
22	4536.44±285.72a	49.69±5.18cd	69.22±2.57a	0.39±0.02bcd	5.18±0.15hi	18.01±0.76a	92.73
23	4496.87±249.83ab	49.69±5.15cd	68.00±2.84ab	0.38±0.02cde	5.15±0.27i	18.13±0.54a	91.83

注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

素C含量最高,为63.24 mg/(100 g),处理14的维生素C含量最低,为45.17 mg/(100 g);处理18的可溶性糖含量最高,为70.60 mg/kg,处理4的可溶性糖含量最低,为49.58 mg/kg;处理13的可滴定酸含量最高为0.43%,除与处理2和处理10差异不显著外,显著高于其他各处理,处理4的可滴定酸含量最低,为0.30%,显著低于其他各处理;处理3的可溶性固形物含量最高,为5.85%,处理23的可溶性固形物含量最低,为5.15%;处理21的糖酸比最大,为18.16,处理13的糖酸比最小,为13.36。

2.2 回归模型的建立

以表1中的氮磷钾、钙、镁编码值为自变量,表2中番茄产量为因变量,进行二次多项式回归分析,得出番茄产量与氮磷钾、钙、镁之间的回归方程为: $Y_A=4477.841+286.170X_1+61.751X_2+46.715X_3-114.236X_1^2-29.852X_2^2-169.521X_3^2-38.587X_1X_2+40.076X_1X_3+12.328X_2X_3$ 。采用Excel对方程进行检验可知,方程回归关系极显著,且各偏回归系数均显著,因此能够反映氮磷钾、钙、镁与产量之间的关系,模型能较好地预测番茄产量。同理,可求得氮磷钾、钙、镁施用量与番茄品质之间的回归方程为: $Y_B=$

$$92.554-0.220X_1-1.437X_2+0.135X_3-2.311X_1^2-1.632X_2^2-2.398X_3^2-1.097X_1X_2-0.406X_1X_3+0.645X_2X_3。$$

2.3 因子互作效应分析

本试验确定的番茄产量与品质的回归模型,均存在“氮磷钾+钙”“氮钾磷+镁”同钙、镁施用量的交互项,且其各项偏回归系数均达显著水平,说明氮磷钾、钙,氮钾磷、镁和钙、镁施用量的交互效应对番茄产量有显著影响,即在综合施肥条件下,番茄产量的变化不是各因子单独效应的简单累加,还存在相互配合效应,即因子互作效应。将产量回归模型中的氮磷钾(X_1)、钙(X_2)、镁(X_3)中的其中一个分别固定在0码值,得到其交互作用方程分别为:

$$Y_A(1,2)=4477.841+286.170X_1+61.751X_2-114.236X_1^2-29.852X_2^2-38.587X_1X_2,$$

$$Y_A(1,3)=4477.841+286.170X_1+46.715X_3-114.236X_1^2-169.521X_3^2+40.076X_1X_3,$$

$$Y_A(2,3)=4477.841+61.751X_2+46.715X_3-29.852X_2^2-169.521X_3^2+12.328X_2X_3; 同理,品质的交互作用方程分别为:$$

$$Y_B(1,2)=92.554-0.220X_1-1.437X_2-2.311X_1^2-$$

$$1.632X_2^2 - 1.097X_1X_2,$$

$$Y_B(1,3) = 92.554 - 0.220X_1 + 0.135X_3 - 2.311X_1^2 - 2.398X_3^2 - 0.406X_1X_3,$$

$$Y_B(2,3) = 92.554 - 1.437X_2 + 0.135X_3 - 1.632X_2^2 - 2.398X_3^2 + 0.645X_2X_3.$$

对交互作用方程作图,当番茄单株产量达到4300 g以上时, X_1 取-0.4485~1.6818, X_2 取-1.5697~

1.6818, X_3 取-0.897~1.2333,即NPK、CaO、MgO单次施用量范围分别为6.233~7.5、0.480~1.35、0.165~0.307 g/株。同理可得,当品质综合评分超过90时, X_1 取-1.0091~0.897, X_2 取-1.6818~0.897, X_3 取-0.897~1.0091, NPK、CaO、MgO单次施用量范围分别为5.900~7.033、0.45~1.140、0.165~0.293 g/株(图1)。

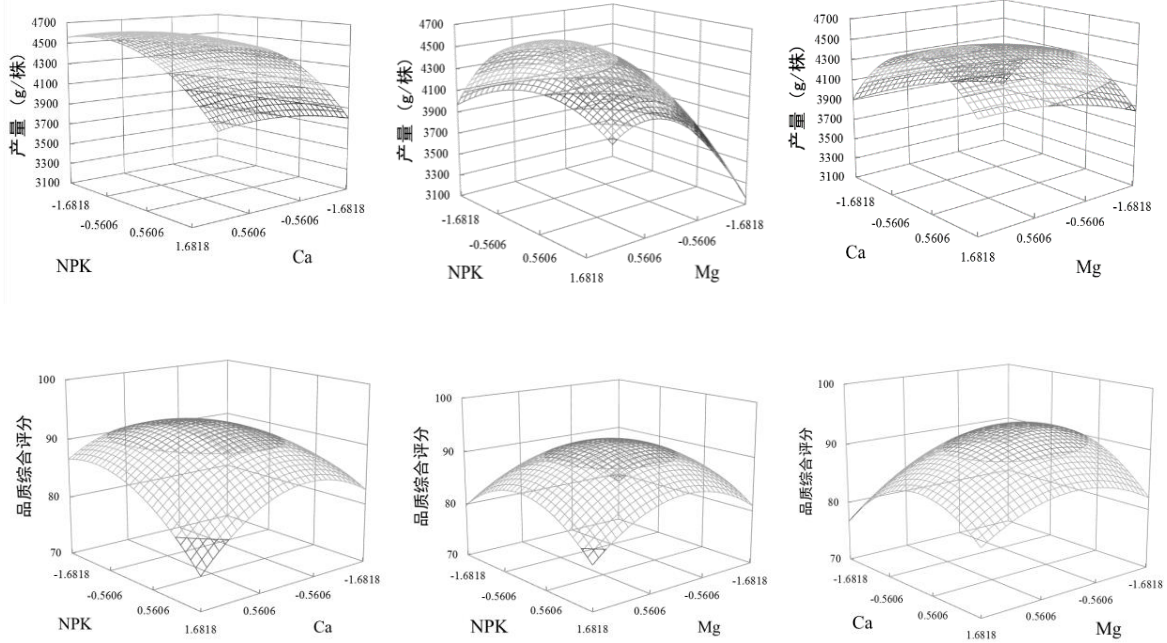


图1 因子交互效应分析

2.4 利用模型决策最优方案

利用计算机进行模拟试验,得到本试验条件下番茄单株产量达到4300 g以上的氮磷钾、钙、镁施用范围(见表3)。由表3可以看出,当 X_1 取0.831~1.211, X_2 取-0.143~0.596, X_3 取-0.120~0.401,即氮磷钾单次施用量6.994~7.220 g/株、钙施用量0.862~1.059 g/株、镁施用量0.217~0.252 g/株时,可望取得番茄单株产量达4300 g以上。同理,求得番茄品质综合评分90分以上的优质氮磷钾、

钙、镁施用范围(见表4), X_1 取-0.436~0.436, X_2 取-0.921~-0.119, X_3 取-0.308~0.308,即氮磷钾单次施用量6.241~6.759 g/株、钙施用量0.654~0.868 g/株、镁施用量0.204~0.246 g/株时,可望取得综合评分90分以上的品质。

综合分析,番茄单株产量达到4300 g以上、果实品质综合评分超过90分时的 X_1 取值为-0.436~0.436, X_2 取值为-0.143~-0.119, X_3 取值为-0.120~0.308,即氮磷钾单次施用量为6.241~6.759 g/株,

表3 番茄单株产量超过4300 g的因素取值频率分布

变量因子	编码	X_1		X_2		X_3	
		次数	频率	次数	频率	次数	频率
因子水平	-1.6818	0	0	7	0.1628	0	0
	-1	0	0	7	0.1628	12	0.2791
	0	10	0.2326	8	0.186	15	0.3488
	1	17	0.3953	10	0.2326	13	0.3023
	1.6818	16	0.3721	11	0.2558	3	0.0698
加权平均值		1.021		0.226		0.141	
标准误		0.097		0.189		0.133	
95%置信区间		0.831~1.211		-0.143~0.596		-0.120~0.401	
农艺方案(g/株)		6.994~7.220		0.862~1.059		0.217~0.252	

表4 番茄品质综合评分超过90分的因素取值频率分布

变量因子	编码	X ₁		X ₂		X ₃	
		次数	频率	次数	频率	次数	频率
因子水平	-1.6818	0	0	1	0.1111	0	0
	-1	2	0.2222	3	0.3333	1	0.1111
	0	5	0.5556	5	0.5556	7	0.7778
	1	2	0.2222	0	0	1	0.1111
	1.6818	0	0	0	0	0	0
加权平均值		0		-0.52		0	
标准误		0.222		0.205		0.157	
95%置信区间		-0.436~0.436		-0.921~-0.119		-0.308~0.308	
农艺方案(g/株)		6.241~6.759		0.654~0.868		0.204~0.246	

钙施用量为0.862~0.868 g/株,镁施用量为0.217~0.246 g/株。NPK:CaO:MgO适宜的施用量比例为1:0.13:0.03。

3 讨论

氮、磷、钾、钙和镁是植物正常生长发育所必需的营养元素。合理施肥是提高作物产量和提升土壤质量的重要管理措施^[20-23]。李凌慧等^[24]研究表明基质袋培条件下番茄的氮肥施用量与番茄产量极显著相关。杨苞梅等^[25]研究的香蕉K₂O、Ca、Mg用量分别为990 kg/hm²、90.0 kg/hm²、37.5 kg/hm²。前人的研究表明,不同作物对氮磷钾的需求量不同,因此要针对特定作物品种制定不同施肥方案。

杜少平等^[26]采用“311-B”D饱和最优设计,进行田间微区试验,结果表明不同因素对西瓜产量的影响以磷肥最大,氮肥次之,钾肥较小;对西瓜品质的影响以磷肥最大,钾肥次之,氮肥较小,适宜的氮磷钾施用比例约为1:0.86:0.98。本研究表明对番茄产量的影响以氮磷钾施用量最大、钙次之、镁较小;对番茄品质的影响为钙施用量最大、氮磷钾次之、镁最小。试验小区茄子产量达到43.2 kg、品质综合评分达到90分以上的优质高产营养液氮磷钾浓度范围分别为:18.0~20.0、2.2~2.6、10.6~12.6 mmol/L,适宜的N:P₂O₅:K₂O浓度比例约为1:0.13:0.62^[27]。本研究与杜少平等、马晟等^[26-27]的研究思路相同,都是采用三因素优化施肥方案,分别制定西瓜、茄子的高产优化施肥方案和施肥比例,对影响产量和品质的肥料因素做出具体分析,为西瓜、茄子和番茄的高产优质栽培提供了理论依据。

通过计算机模拟试验,本试验条件下番茄单株产量达到4300 g以上,果实品质综合评分超过

90分时的钙单次施用量为0.862~0.868 g/株,镁单次施用量为0.217~0.246 g/株,比夏广清等^[16]研究的钙镁施用量均高,这可能是由于其未涉及番茄的产量和品质指标,而本研究结果是在番茄最佳产量和品质下得到的钙镁施用量,且试验品种、试验地区、土壤质地不同等也会影响肥料的用量。当番茄单株产量达到4300 g以上、果实品质综合评分超过90分时的氮磷钾单次施用量为6.241~6.759 g/株,钙施用量为0.862~0.868 g/株,镁施用量为0.217~0.246 g/株。NPK:CaO:MgO适宜的施用量比例为1:0.13:0.03。

参考文献:

- [1] 张光星. 番茄无公害生产技术[M]. 北京:中国农业出版社, 2003:55-65.
- [2] 王丹丹. 基于实时生长量的日光温室袋培番茄灌溉模型研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2017.
- [3] 董文阁, 欧勇, 孟庆林. 日光温室越冬番茄套作菜豆接越夏番茄栽培模式[J]. 东北农业科学, 2019, 44(1):49-51.
- [4] Toor R K, Savage G P, Heeb A. Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19(1): 20-27.
- [5] 齐连芬, 王丹丹, 牛瑞生, 等. 基于主成分分析的温室番茄最佳有机肥与微生物菌剂配比[J]. 北方园艺, 2019(1):7-13.
- [6] 王丹丹, 齐连芬, 张庆银, 等. 日光温室不同施肥量对番茄果实品质的影响[J]. 河北农业大学学报, 2019, 42(3):71-75, 87.
- [7] 王丹丹, 吕振宁, 李坚, 等. 基于辐热积的日光温室不同茬次袋培番茄干物质模型比较[J]. 西北农业学报, 2018, 27(2):238-243.
- [8] 程星, 秦海英. 农业生产中如何做到合理施肥[J]. 中国种业, 2011(8):67.
- [9] 闵炬, 施卫明. 不同施氮量对太湖地区大棚蔬菜产量、氮肥利用率及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1):151-157.

(下转第127页)

之,辉发河、伊通河支流流域稻米镉含量区间范围较小;拉林河支流流域稻米中镉含量整体较高,伊通河支流流域稻米中镉含量整体较低。

吉林省松花江流域稻米镉的单因子污染指数均小于0.7,处于安全水平;目标危害指数均小于1,对暴露人群没有健康风险。拉林河支流流域稻米镉的污染程度、暴露健康风险均显著高于其他支流流域,不同松花江支流流域稻米中镉的污染程度、暴露健康风险大小顺序均为:拉林河>辉发河>饮马河>二松江>伊通河。吉林省不同松花江支流流域稻米镉的儿童暴露风险均高于成人。

参考文献:

- [1] 陈能场.“镉米”背后的土壤污染[J].中国经济报告,2013(7):25-28.
- [2] 路子显.粮食重金属污染对粮食安全、人体健康的影响[J].粮食科技与经济,2011,36(4):14-17.
- [3] 甄燕红,成颜君,潘根兴,等.中国部分市售大米中Cd、Zn、Se的含量及其食品安全评价[J].安全与环境学报,2008(1):119-122.
- [4] 刘焕启.镉米之痛[J].地球,2013(6):64-65.
- [5] 鲁思琴,易江,陈渠玲,等.稻米籽粒中镉的富集规律与分布及消减方法研究进展[J].东北农业科学,2020,45(1):94-98.
- [6] 张三元,张俊国,金京德.绿色优质水稻生产发展现状与对策[J].吉林农业科学,2006,31(3):13-16.
- [7] 李明才.吉林省五大水系水污染现状及防治对策[J].吉林水利,2012(12):42-44.
- [8] 袁 懋,董德明,花修艺,等.吉林省不同水系的高锰酸盐指数、化学需氧量和总有机碳的相关关系比较[J].地理科学,2008,28(2):286-290.
- [9] 侯立刚,周广春,严永峰,等.吉林省水稻产业发展现状与未来发展对策[J].北方水稻,2015,45(2):73-75.
- [10] 代海涛,王秀珠.吉林省水稻产业发展现状及对策分析[J].农业科技通讯,2019(4):6-8.
- [11] GB 5009.268-2016.食品安全国家标准 食品中多元素的测定[S].
- [12] GB 2762-2017.食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].
- [13] 赵 慧,何 博,孟 晶,等.典型城市化地区蔬菜重金属的累积特征与健康风险研究[J].中国生态农业学报(中英文),2019,27(12):1892-1902.
- [14] 吴永宁,赵云峰,李敬光.第五次中国总膳食研究[M].北京:科学出版社,2018:67.
- [15] 中国营养学会.中国居民膳食营养素参考摄入量(2013版)[M].北京:科学出版社,2014:155.
- [16] 国家卫生计生委疾病预防控制局.中国居民营养与慢性病状况报告(2015年)[M].北京:人民卫生出版社,2015:2.
- [17] 张 浩,王 辉,汤红妍,等.铅锌尾矿库土壤和蔬菜重金属污染特征及健康风险评估[J].环境科学学报,2020,40(3):1085-1094.
- [18] 王中伟,韩帮军,韩雅红,等.拉林河水环境质量现状与污染源分析研究[J].环境科学与管理,2014,39(4):112-115.
- [19] 李 娇,陈海洋,滕彦国,等.拉林河流域土壤重金属污染特征及来源解析[J].农业工程学报,2016,32(19):226-233.
- (责任编辑:王 昱)
-
- (上接第92页)
- [10] 李冬梅,魏 珉,张海森,等.氮、磷、钾用量和配比对温室黄瓜叶片相关代谢酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(3):382-387,393.
- [11] 周世恭.植物的矿质营养与人类健康[J].植物杂志,1992(5):41-42.
- [12] 曹 恭,梁鸣早.镁-平衡栽培体系中植物必需的中量元素[J].土壤肥料,2003(3)47-50.
- [13] 许仙菊.磷、钾与钙配合对保护地番茄钙吸收影响的研究[D].太原:山西农业大学,2003.
- [14] 张典勇,王秀峰,魏 珉,等.氮磷钾浓度对番茄产量及番茄红素含量的影响[J].山东农业科学,2015,47(1):66-71,75.
- [15] 张守才,赵征宇,孙永红,等.设施栽培番茄的氮磷钾肥料效应研究[J].中国土壤与肥料,2016(2):65-71.
- [16] 夏广清,杨 金.钙镁肥不同用量对番茄植株和果实矿质元素吸收的影响[J].北方园艺,2005(2):44-45.
- [17] 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,2000:248-249.
- [18] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007:34-35.
- [19] 马乐乐,高 宁,杨百良,等.全有机营养模式下番茄综合品质评价及其对有机肥水耦合的响应[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(6):63-72.
- [20] 王洪预,崔正果,伍舒悦,等.氮磷钾肥料配施对粒用高粱籽粒产量的影响[J].东北农业科学,2018,43(3):1-4.
- [21] 廖育林,郑圣先,聂 军,等.长期施用化肥和稻草对红壤水稻土肥力和生产力持续性的影响[J].中国农业科学,2009,42(10):3541-3550.
- [22] 薛仁风,丰 明,赵 阳,等.不同生物有机肥对绿豆生长与生理特性的影响[J].东北农业科学,2019,44(4):9-12,71.
- [23] 权宝全,吕瑞洲,王贵江.不同施氮量对甘薯生长发育及产量的影响[J].东北农业科学,2019,44(6):14-17.
- [24] 李凌慧,张小兰,王丹丹,等.不同施肥水平对日光温室基质袋培番茄营养及栽培效果的影响[J].中国蔬菜,2017(2):45-50.
- [25] 杨苞梅,李进权,姚丽贤,等.钾钙镁营养对香蕉生长和叶片生理特性的影响[J].中国土壤与肥料,2010(1):29-32,36.
- [26] 杜少平,马忠明,薛 亮.氮磷钾配施对砂田西瓜产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2016,22(2):468-475.
- [27] 马 晟,陈 震,杨凤娟,等.茄子无土栽培氮磷钾浓度优化施肥方案[J].应用生态学报,2018,29(9):2935-2942.
- (责任编辑:王丝语)