

设施黄瓜砂培营养液配方筛选试验

卜燕燕, 高艳明, 李建设, 李文甲

(宁夏大学 农学院 宁夏 银川 750021)

摘要: 采用三因素五水平通用旋转组合设计, 在现代日光温室内研究了营养液配方中不同摩尔浓度的 NO_3^- -N、P、K 对黄瓜产量的影响, 得到了三者之间的回归方程, 依此进行分析。结果表明: 3 个元素对黄瓜产量的影响大小顺序是: 氮 > 磷 > 钾; 通过计算机模拟寻优, 黄瓜达到单株最高产量 1 395.97 g 时, 营养液中 NO_3^- -N、P、K 最优配方为: 15、1.0 和 6.0 mmol/L。经过验证, 最优配方处理 A、B 的株高、茎粗、生长势、产量、品质表现相对优于对照。

关键词: 设施黄瓜; 砂培; 营养液配方; 回归模型

中图分类号: S 642.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)09-0060-05

1 材料与方方法

1.1 试验材料

该试验于 2009 年 4~7 月在宁夏银川市永宁县绿鲜果蔬有限公司的现代日光温室内进行。温室净长

80 m, 宽 6.5 m, 脊高 4 m。黄瓜品种为博耐 13 号(B 型)。试验中配制营养液用水为宁夏银川市永宁县地下水, 其理化性状如表 1。

表 1 试验地用水水质理化性状

项目	pH	全盐/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	Ca^{2+} / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	Mg^{2+} / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	K^{+} / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	HCO_3^- / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	CO_3^{2-} / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	Na^{+} / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	Cl^- / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
含量	7.85	1.2	82	211	4	528	0	105	108

1.2 试验方法

试验以 NO_3^- -N、P、K 摩尔浓度为试验因素, 采用三因素五水平通用旋转组合设计, 根据日本园式通用配方^[1], 参照茄果类蔬菜黄瓜对 N、P、K 的需求范围设计出该试验的上下限及零水平, 共 20 个处理, 3 次重复, 进行盆栽砂培试验。试验中微量元素采用通用配方。具体见表 2、3、4。根据黄瓜的具体生长情况, 采取人工每天定量浇液(500~1 000 mL), 以保证植株的正常生长。

表 3 营养液微量元素通用配方浓度

元素	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo
浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	3	0.5	0.5	0.05	0.02	0.01

2 产量方程构建

根据设计原理^[2], 试验的期望回归数学模型为:

$$Y = b_0 + \sum_{j=1}^3 b_j x_j + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^3 b_{jj} x_j^2$$

表 4 黄瓜试验处理方案及对应产量

处理	x_1	x_2	x_3	产量/ $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$
Tr1	1(15)	1(1.5)	1(9)	1 421.00
Tr2	1(15)	1(1.5)	-1(3)	1 183.33
Tr3	1(15)	-1(0.5)	1(9)	1 054.25
Tr4	1(15)	-1(0.5)	-1(3)	985.70
Tr5	-1(5)	1(1.5)	1(9)	775.00
Tr6	-1(5)	1(1.5)	-1(3)	850.00
Tr7	-1(5)	-1(0.5)	1(9)	737.00
Tr8	-1(5)	-1(0.5)	-1(3)	605.00
Tr9	-2(0)	0(1)	0(6)	476.25
Tr10	2(20)	0(1)	0(6)	1 087.70
Tr11	0(10)	-2(0)	0(6)	645.00
Tr12	0(10)	2(2)	0(6)	1 082.50
Tr13	0(10)	0(1)	-2(0)	635.00
Tr14	0(10)	0(1)	2(12)	1 060.00
Tr15	0(10)	0(1)	0(6)	1 195.00
Tr16	0(10)	0(1)	0(6)	1 363.33
Tr17	0(10)	0(1)	0(6)	1 466.67
Tr18	0(10)	0(1)	0(6)	1 341.67
Tr19	0(10)	0(1)	0(6)	1 421.25
Tr20	0(10)	0(1)	0(6)	1 508.75

表 2 试验因子及水平编码值

因素	零水平	变化间 距 Δ_i	无量纲编码/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$				
			+r	1	0	-1	-r
NO_3^- -N	10	5	20	15	10	5	0
P	1	0.5	2	1.5	1	0.5	0
K	6	3	12	9	6	3	0

第一作者简介: 卜燕燕(1984), 女, 宁夏隆德人, 硕士研究生, 现主要从事设施蔬菜栽培研究工作。

通讯作者: 高艳明(1963), 女, 宁夏罗平人, 教授, 现主要从事设施蔬菜栽培生理研究工作。E-mail: jslinxcn@yahoo.com.cn

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAD57B04)。

收稿日期: 2010-02-01

以产量为目标函数(Y), 营养液中 N、P、K 的摩尔浓度为决策变量(x_1 、 x_2 、 x_3), 建立黄瓜产量与 3 个肥料因子的回归方程, 砂培黄瓜营养液配方的回归方程为: $Y = 1\,377.81 + 198.11X_1 + 115.93X_2 + 78.93X_3 - 179.96X_1^2 - 151.05X_2^2 - 156.79X_3^2 + 35.17X_1X_2 + 31.15X_1X_3 - 4.734X_2X_3$ (1)。

表 5 的方差分析表明, $F_2 > F_{0.01} = 10.93917$, 说明黄瓜方程的回归关系极显著; $F_1 < F_{0.05} = 1.93533$, 失拟不显著, 说明黄瓜产量的回归方程拟合很好, 可以用于决策分析。以下是 $\alpha = 0.10$ 显著水平剔除不显著项后, 简化后的回归方程: $Y = 1\,377.81 + 198.11X_1 + 115.93X_2 + 78.93X_3 - 179.96X_1^2 - 151.05X_2^2 - 156.79X_3^2$ (2)。

由方程(2)可以看出, 黄瓜在 0.10 水平上 3 个肥料因子的互作效应不明显。

表 5 方程的显著性检验

试验变异	平方和	自由度	均方	偏相关	F 值
回归	1 783 644.6397	9	198 182.7377	$F_2 = 10.93917$	$F_{0.05} = 3.02$
黄 剩余	181 167.9279	10	18 116.7928		$F_{0.01} = 4.94$
失拟	119 452.3511	5	23 890.4702	$F_1 = 1.93533$	$F_{0.05} = 5.05$
瓜 误差	61 715.5769	5	12 343.1154		$F_{0.01} = 10.97$
总和	1 964 812.5676	19			

2.1 主效应分析

回归方程本身就已经过无量纲编码代换, 其偏回归系数已经标准化, 所以可以直接从一次项系数绝对值的大小来判断各因素对目标函数的相对重要性。N、P、K 三因素对黄瓜产量的影响主次的线性项为: $X_1 > X_2 > X_3$, 即 $\text{NO}_3^- \text{-N} > \text{P} > \text{K}$ 。

2.2 单因子效应分析

采用降维法将其它 2 个因素固定在零水平, 各因素与黄瓜产量的偏回归降维子方程为:

$$Y_1 = 1\,377.81 + 198.11X_1 - 179.96X_1^2 \quad (3),$$

$$Y_2 = 1\,377.81 + 115.93X_2 - 151.05X_2^2 \quad (4),$$

$$Y_3 = 1\,377.81 + 78.93X_3 - 156.79X_3^2 \quad (5)。$$

根据上述偏回归子方程, 得到 N、P、K 三因子的单效应图, 如图 1。

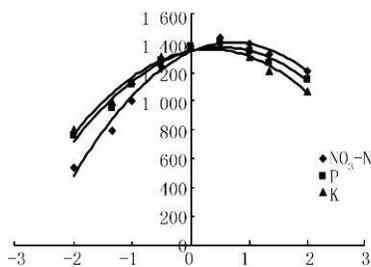


图 1 春夏茬黄瓜 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、P、K 单因素效应曲线

由图 1 可知, 方程(3)、(4)、(5)均为一元二次抛物线方程, 且一次项系数为正值, 二次项系数为负值, 说明黄瓜产量与 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、P、K 三元素均呈开口向下的抛物

线型关系, 即 3 个方程均有最高产量对应的编码值存在^[3]。

2.2.1 营养液中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度对黄瓜产量的影响 随着 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度由 -2 水平增大到 0.55 时, 产量由 535.62 g/株增大到 1 432.33 g/株, 增加单位浓度硝态氮黄瓜产量的平均增量为 70.33 g; 但随着硝态氮浓度的继续增加, 由 0.55 增加至 2 水平时黄瓜产量有明显的下降趋势, 产量由 1 432.33 g/株降至 1 201.99 g/株, 平均增量为 -31.77 g, 即黄瓜对氮的需求有一定浓度范围的要求, 并不是越多越好, 浓度太大反而会抑制黄瓜的生长, 从而导致产量的减少。砂培黄瓜营养液中氮素最多取 0.55 水平, 即 12.75 mmol/L。

2.2.2 营养液中 P 浓度对黄瓜产量的影响 随着浓度由 -2 水平增大至 0.384 时, 产量由 535.62 g/株增大到 1 400.05 g/株, 增加单位浓度 P 黄瓜产量的平均增量为 725.19 g; 但随着 P 浓度由 0.384 增加至 2 水平时其产量有下降趋势, 降至 1 145.544 g/株, 产量平均增量为 -826.32 g, 也就是说黄瓜对磷素的需求有一定的浓度范围要求, 砂培黄瓜营养液中磷最多取 0.384 水平为宜, 即 1.19 mmol/L。

2.2.3 营养液中 K 浓度对黄瓜产量的影响 随着 K 浓度由 -2 水平增大到 0.25 时, 产量由 801.583 g/株增大到 1 387.74 g/株, 增加单位浓度 K 黄瓜产量的平均增量为 86.84 g; 但随着 K 素浓度的继续增加, 由 0.25 增加至 2 水平时其产量明显下降, 产量由 1 387.74 g/株降至 1 067.08 g/株, 产量平均增量为 -61.46 g, 也就是说钾素对黄瓜产量的有效作用有一定的浓度范围, 超过一定的界限浓度反而会抑制黄瓜生长而造成减产, 砂培黄瓜营养液中氮素最好取 0.25 水平, 即 6.75 mmol/L。

再令偏回归子方程(3)、(4)、(5)的偏导数为零, 即

$$\frac{\partial y_1}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial y_2}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial y_3}{\partial x_3} = 0, \text{ 可得 } X_1 = 0.550, X_2 = 0.384, X_3$$

$= 0.250$ 。由于 $\frac{\partial y_1}{\partial x_1} < 0, \frac{\partial y_2}{\partial x_2} < 0, \frac{\partial y_3}{\partial x_3} < 0$ 故当 $X_1 = 0.550, X_2 = 0.384, X_3 = 0.250$, 即氮磷钾的浓度分别为 12.75、1.19、6.75 mmol/L 时, y_1, y_2, y_3 有最大值, 分别为 1 432.33、1 400.05、1 387.74 g/株。

2.3 单因素边际产量效应分析

边际产量就是每增施单位量肥料的增产量, 实际上它是一定肥料水平时产量的曲线斜率^[7]。由于氮磷钾各个因素对黄瓜产量的变化速率各异, 因此有必要对边际产量效应作进一步分析, 可以通过对之前所得回归方程求一阶偏导数而得到产量对各个因素水平值变化增减的速率, 即:

$$\frac{\partial y}{\partial x_i} = b_i + \sum b_{ij} + 2 \sum b_{ij} x_j。$$

将各变量固定在零水平时, 其边际产量效应方程分

别为: $\frac{\partial Y}{\partial x_1} = 198.11 - 359.92x_1$, $\frac{\partial Y}{\partial x_2} = 115.93 - 302.1x_2$,
 $\frac{\partial Y}{\partial x_3} = 78.93 - 313.58x_3$, 由以上的方程得氮、磷、钾 3 个因素的平均变化速率分别为 $x_1 = 198.11$ 、 $x_2 = 115.93$ 和 $X_3 = 78.93$ 。

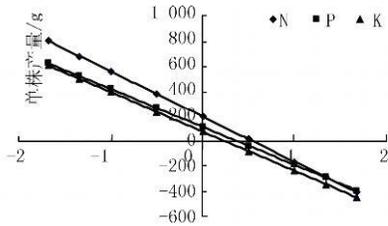


图2 春夏茬黄瓜边际产量效应图

图2中,斜率反映了单位肥料对黄瓜产量的影响,在试验设定的编码水平范围内,在(-2, 0.55)这个区间附近氮肥对产量的影响最明显,磷钾肥对产量的影响差异不大,磷的效果稍大于钾,在0.55水平时产量为0。各因子在不同水平对产量的影响不同,这为在不同条件下选择增产因素和决定施肥量大小提供了参数。随着3种肥料施用量的增加,边际产量呈下降趋势,当边际产量为零时,产量达最大值,超过此水平,呈负效应,这符合米采利希提出的肥料效应报酬递减定律。综上所述,由于5个水平的编码值的变化间距相等,平均数值就相当于零水平,因此将各个因素固定在零水平时,所得到的产量就可以代表各个因素对产量的影响程度,所以可以用中值来衡量各个因素的重要性,即氮、磷、钾对黄瓜产量的作用主次关系为 $x_1 > x_2 > x_3$,这与用一次项系数排序顺序一致。

2.4 模型寻优

根据回归方程(1)在计算机上的优选结果,黄瓜最高产量达 1 395.97 g/株,此时影响产量的3个因素 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、P、K 在营养液中的浓度分别为 15.0、1.0、6.0 mmol/L,具体编码值见表6。这里得出的结论是纯理论值,大田农业生产试验不可避免的会受到环境因素、人为误差因素等的影响,实际值和得出的理论值会有些许出入,这些理论值只能作为学习工作的宏观指导,为了确保试验实际数值和理论值的无限靠近,有必要进行频数分析。结果表明,供试条件下,黄瓜单株产量达到最高 1 395.97 g 时, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、P、K 95%置信区间的取值范围分别为: x_1 的投入水平为 0.484~0.957, x_2 的投入水平为 0.178~0.801, x_3 的投入水平为 0.070~0.703,即 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、P、K 浓度分别是 12.420~14.785 mmol/L、1.089~1.4005 mmol/L、6.210~8.109 mmol/L。

表6 黄瓜产量达最大时各因素的编码值及对应的浓度

	x_1	x_2	x_3	$Y_{\max} / \text{g} \cdot \text{株}^{-1}$
黄瓜	1(15.0)	0(1.0)	0(6.0)	1 395.97

2.5 验证试验

为了确保数据模型的准确和可靠,根据前期筛选试验的优选结果筛选出2个最优组合(A和B)和2个最差组合(C和D),再以日本园试配方1/2单位为CK进行验证试验(共5个处理)。其中,分不同的生育期测定相应的形态指标和生理指标,包括株高、茎粗、叶绿素含量、叶片数、根系活力、地上部干鲜重、地下部干鲜重、果实硝酸盐含量和VC含量^[56]、果实蛋白质含量^[13]。

表7 黄瓜验证试验具体配方

处理	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	P	K
A	15	1.5	9
B	15	1	6
CK	16	1.33	8
C	0	1	6
D	10	0	6

2.5.1 不同处理黄瓜株高、茎粗的动态变化 由图3、4可知,随着生育期的延长,不同处理植株的株高、茎粗均有增长,但增幅差异较大。株高大小排序为: $B > A > CK > C > D$ 。处理B的株高增长最快,拉秧时株高达 212.00 cm,其株高比增长最慢的处理D的2倍还多,处理A与CK株高齐头并进,但其茎粗增长最快,处理B、CK的茎粗在不同生育期差异不大,但均优于处理C、D。综上,2个最优组合株高、茎粗明显优于最差组合的表现,初步说明筛选结果是正确科学的。

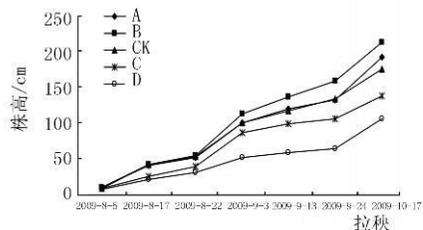


图3 不同处理在不同生育时期对黄瓜株高的影响

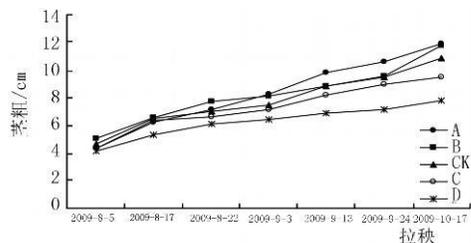


图4 不同处理在不同生育时期对黄瓜茎粗的影响

2.5.2 不同处理对黄瓜生长势的影响 由表8看出,处理D表现是最差的,各指标均与处理A、B、CK均达到显著性差异,主茎叶片数、地上部干鲜重、地下部干鲜重、根系活力达到极显著差异。节间长描述了一定时期内生长量的积累,其大小排序为 $B > A > CK > C > D$,处理B比C、D的平均节间长长 1.5~2.0 cm 左右,这是营养液被植株吸收利用的结果,进一步说明筛选出的营养液配方是正确的,有实践指导性。地上部干鲜重也是养分

在植株体积积累后的表现,根系活力说明不同处理黄瓜植株根系从栽培基质中吸收营养元素、供给植株营养的能力。处理 A、B 的根系活力极显著地优于 C、D, 这刚好解

释说明了处理 A、B 地上部干鲜重大于处理 C、D, 是营养元素被植株吸收后经过一系列的生理生化反应后的直观表现。

表 8 不同处理对黄瓜生长势的影响

处理	主茎叶片数 /片	节间长 /cm	叶绿素含量 / $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$	地上部鲜重 /g	地上部干重 /g	地下部鲜重 /g	地下部干重 /g	根系活力 / $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
A	13.80aA	5.92abAB	53.68ab	537.04abAB	62.18bB	106abAB	12.76aA	1.18aA
B	14.35aA	6.20aA	56.87a	577.54aA	70.07aA	104abAB	11.66abAB	1.19aA
CK	14.07aA	5.28bcABC	55.45ab	415.11bcAB	62.21bB	118aA	12.91aA	0.93bA
C	11.00bB	4.75cdBC	45.82ab	341.52bC	47.58cC	86bBC	9.50bcAB	0.49cB
D	8.90bB	4.29dC	43.10b	173.27dC	18.26dD	58cC	9.00bB	0.46cB

2.5.3 不同处理对黄瓜产量的影响 由表 9 可知, 处理 D 产量极显著的低于其它处理, 比 CK 单株产量减少 1 019.14 g; 处理 A、B 与 CK 产量差异显著, 与处理 C 差异极显著。筛选出的最优处理(A、B), 其产量均表现为较 CK 有增产作用, 分别增加 518.09、522.65 g/株; 而筛选出的最差处理(C、D), 其产量均表现为较 CK 有减产作用, 分别减少 265.48、1 019.14 g/株。

表 9 不同处理对黄瓜产量的影响

处理	产量 $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$				平均 / $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$	比 CK \pm 5%	显著水平 1%
	重复 1	重复 2	重复 3	重复 4			
A	1 882.58	2 067.55	859.69	2 147.01	1 739.21	① 518.09	a A
B	1 787.82	1 826.94	1 701.63	1 659.07	1 743.87	② 522.65	a A
CK	976.45	1 232.21	1 454.71	1 221.12	1 221.12	0.00	b AB
C	930.22	913.84	1 022.86	955.64	955.64	-265.48	b B
D	95.89	128.11	207.60	373.12	201.18	-1019.14	c C

2.5.4 不同处理对黄瓜品质的影响 表 10 的结果表明, VC 含量顺序为: A>B>CK>C>D, 处理 A、B 与 CK 差异不显著, 但和处理 C 存在显著性差异, 与处理 D 存在极显著差异; 蛋白质含量是衡量黄瓜品质的重要指标, 其大小顺序排列为: B>A>CK>C>D, 筛选出的最优配方(处理 B)栽培的黄瓜其蛋白质含量极显著高于其它处理, 处理 A 与 CK、处理 C 与 D 之间差异不显著; 可溶性糖含量顺序为: B>CK>A>D>C, 处理 B 的可溶性糖含量与其它处理差异极显著, 处理 A 与其它处理间无显著差异; 硝酸盐在人体内可以转化为致癌物质亚硝酸盐, 是生命的杀手, 黄瓜果实硝酸盐含量顺序为: D>CK>B>A>C。NO₃⁻-N 易使蔬菜中的硝酸盐含量升高, 处理 D 硝酸盐含量之所以最高, 是因为磷肥的缺失比增施氮肥更容易导致硝酸盐的积累, 这与李文饶 2004 年的研究结果相似, 有机酸是评价果蔬风味的主要指标, 其含量顺序为: C>D>CK>B>A, 筛选出的最差组合(C 与 D)培育的黄瓜其有机酸含量显著高于最优组合

表 10 不同处理对黄瓜品质的影响

处 理	VC 含量/ $\text{mg} \cdot$ $(100\text{g})^{-1}\text{FW}$	硝酸盐含量 / $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	蛋白质含量 / $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	可溶性糖 含量/%	有机酸 /%
A	19.38aA	74.53cC	2.13bB	12.38bcBC	0.125cB
B	17.59abA	98.47bB	2.99aA	18.33aA	0.131bcB
CK	17.59abA	100.68bB	1.97bB	13.97bB	0.135bcAB
C	8.65bcAB	35.87dD	1.05cC	10.09cC	0.188aA
D	1.50cB	151.61aA	0.98cC	10.39dC	0.167abAB

(A 与 B), 黄瓜果实的糖酸比下降, 严重影响其口感和风味。

3 结论与讨论

银川市砂培黄瓜无土栽培营养液中, N、P、K 对其产量影响的顺序为: 氮>磷>钾。3 种营养元素浓度对春夏茬黄瓜产量的影响表现为典型的抛物线型, 即在一定范围内随营养元素浓度的提高, 黄瓜产量增加; 而过高的浓度则造成黄瓜减产, 符合报酬递减规律。单施 3 种营养元素浓度分别达到 NO₃⁻-N 12.75 mmol/L, P 1.19 mmol/L, K 6.75 mmol/L 时, 黄瓜单株最大产量分别达到 1 432.33、1 400.05、1 387.74 g。供试条件下氮、磷、钾对黄瓜在 0.10 水平无正交互效应, 这与前人研究的氮磷钾存在显著的交互作用有差异, 有待于进一步的研究。营养元素配合作用下, 营养液 3 个因子 NO₃⁻-N、P、K 的浓度分别为 15.0、1.0、6.0 mmol/L 时, 黄瓜单株产量达到最高的 1 395.97 g。经过验证、分析, 说明筛选出的营养液配方对茄果类蔬菜黄瓜是科学、合适的。该试验结果是针对银川市的水质筛选出来的, 有一定的地域特殊性, 该试验中以黄瓜全生育期为研究范围, 建议接下来的试验最好能分不同的生育期探讨各个生长发育阶段对氮磷钾肥的需要量, 进而为精确施肥、高效优质服务。

参考文献

[1] 高祥照, 郑义. 肥料使用手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 303-307.
 [2] 程慧娟, 白大郦. 早熟高粱综合农艺栽培措施与产量关系模型的研究[J]. 内蒙古农牧学院学报, 1999, 20(2): 58-63.
 [3] 王桂良. 稻田套播油菜氮磷钾肥三因子优化组合试验研究[J]. 耕作与栽培学, 2007(6): 18-19.
 [4] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000.
 [5] 张志良. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 50-55.
 [6] 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: 186-191.
 [7] 徐中儒. 回归分析与实验设计[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 146-150.
 [8] 徐军利. NPK 肥对有机生态型无土栽培黄瓜生长发育的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2003.
 [9] 裴孝伯, 李世诚, 张福媛, 等. 温室黄瓜叶面积计算机与株高的相关性研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(8): 80-82.

日光温室内外杏叶片光合特性研究

胡喜来, 王 娜, 张惠梅

(河南农业大学 园艺学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 以凯特杏为试材, 研究了日光温室内外杏叶片的光合特性。结果表明: 日光温室内凯特杏叶片的净光合速率的日变化呈双峰曲线, 光补偿点和饱和点以及 CO₂ 补偿点和饱和点均低于露地。温室内不同部位的净光合速率、光补偿点和饱和点、CO₂ 补偿点和饱和点也存在明显差异。净光合速率绝对值、光补偿点、光饱和点、CO₂ 饱和点南部高于北部和中部; CO₂ 补偿点北部高于中部和南部。水分利用效率从高到低依次为南部、露地、北部、中部。

关键词: 日光温室; 露地; 凯特杏; 光合特性

中图分类号: S 662.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)09-0064-03

设施果树栽培是果树栽培的一个重要分支, 在我国的广大地区有大规模应用; 黄淮海地区改良型日光温室在设施果树栽培中又占有较大的比重, 广泛用于桃、杏、葡萄、草莓等果树。与自然条件下相比, 日光温室内光照只达到 60%~70%, 温度高于同时期露地温度, 湿度过高, CO₂ 则表现为严重亏缺。这些环境因子的变化显

著影响了果树正常的生理活动, 如酶活性下降、叶片气孔关闭等, 导致光合能力下降^[1-3]。

以凯特杏为试材, 以露地为参照, 针对日光温室栽培的特定环境条件, 研究其光合特性以及温室内不同部位光合特性与环境因子变化关系, 探讨日光温室条件凯特杏树光合作用的特点与规律, 为杏树保护地生产管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2009 年 4~5 月在郑州市中牟县白沙乡生产园区进行, 设施为轻钢桁架无立柱结构黄淮海改良型节能日光温室, 东西走向, 长 60 m, 跨度 8 m, 顶高 3.2 m。

第一作者简介: 胡喜来(1962-), 男, 河南郑州人, 副教授, 硕士生导师。现主要从事果树教学及栽培生理研究工作。E-mail: zhmd@126.com。

基金项目: 河南省重点攻关资助项目(072102140001)。

收稿日期: 2010-01-26

[10] 王合理. 无机及有机栽培对黄瓜生育的影响[J]. 塔里木大学学报, 2005, 17(3): 1-4.

[11] 任志雨, 贾莉, 宋艳娜. 营养液浓度对秸秆基质栽培黄瓜生长和产量的影响[J]. 长江蔬菜, 2006(12): 34-35.

[12] 杨旭, 邹志荣, 陈晓红, 等. 黄瓜无土栽培结果期营养液配方的优选

[J]. 西北农业学报, 2003, 12(1): 68-71.

[13] 李冬梅, 魏珉. 氮磷钾不同用量及配比对日光温室黄瓜产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(7): 262-265.

[14] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 129-130.

Screening Experiment of Nutrient Solution Formula on Sand Culture *Cucumis sativus* L.

BU Yan-yan, GAO Yan-ming, LI Jian-sha, LI Wen-jia

(Agricultural College of Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: The comprehensive effects of N, P, K concentrations on *Cucumis sativus* L. were studied by quadratic general spinning design under modern greenhouse. The results calculated from regression equation between yield and there elements concentrations factors of N, P, K showed that: the effects sequence of there nutrients on the yield of *Cucumis sativus* L. was nitric-N (NO₃⁻-N) > potassium (K) > phosphorus (P); After simulation with computer, the optimal ration of N, P and K to achieve highest yield of individual *Cucumis sativus* L. (1 395.97 g) was 15, 1.0 and 6.0 mmol/L respectively. This ration A and B were verified because the height, stem diameter, growth potential, yield and quality of *Cucumis* were superior to CK.

Key words: protected cucumber; sand culture; nutrient solution formula; regression model