

基于银川地区水质的枸杞芽菜营养液配方优选

高 艳 明, 李 建 设, 刘 菊 莲

(宁夏大学 农学院 宁夏 银川 750021)

摘 要: 应用四元二次通用旋转组合设计, 采用 DFT 无土栽培, 在二代节能日光温室内研究了营养液配方中的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 P 、 K 、 Ca 4 种元素的摩尔浓度对枸杞芽菜生长的影响, 得到了二者之间的回归方程, 依此进行了分析。结果表明: 4 个元素对枸杞芽菜产量的影响大小顺序是: 氮>钾>磷>钙。通过对方程的解析, 得到枸杞芽菜氮与磷的交互效应在较低水平时有一定的正相关关系, 在较高水平时存在着一定的负相关关系; 通过计算机模拟寻优, 枸杞芽菜达到单株最高产量 51.96 g 时, $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 P 、 K 、 Ca 4 个因子营养液的最优配方为: 9.0、5.3、0和 4.0 mmol/L。经过验证, 最优配方处理枸杞芽菜的生长势、根系活力、产量、品质以及全氮磷钾含量均相对高于对照。

关键词: 枸杞芽菜; 水培; 营养液配方; 模型

中图分类号: S 567.1⁺9 文献标识码: A 文章编号: 1001-0009(2010)15-0105-05

枸杞芽菜是人们喜爱的叶菜之一, 近年来在西北地区栽培面积逐步扩大。其栽培形式主要是土培, 但随着我国经济的发展, 水培蔬菜逐年发展。特别是在现代农业示范园区, 做为展示被广泛应用。对水培蔬菜, 一般人认为投入高、用水多, 用肥多, 但实际上水培是最为节水、节肥的栽培方式, 随着水资源短缺加剧, 水培必将广泛应用于蔬菜、花卉、林木的生产实践中。营养液的配制与管理是水培的核心, 北方地区的水质较差, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 等的含量高, 造成作物的吸收障碍等问题, 从而造成减产。因此, 根据当地的水质情况, 开发出适合当地的营养液配方显得尤为重要。特别是枸杞芽菜营养液配方未见报道, 该试验针对宁夏银川地区的硬水水质特点, 以枸杞芽菜为试验材料, 以 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 P 、

K 、 Ca 作为因素, 利用四因素二次回归通用旋转组合设计对枸杞芽菜水培营养液营养液配方进行筛选, 旨在优选出适合当地枸杞芽菜水培的专用配方, 为硬水地区叶菜类无土栽培营养液的合理配制及高效优质生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验在宁夏银川掌政设施蔬菜现代农业示范园区进行。

1.2 试验材料

1.2.1 供试水 水培用水为园区温棚井水(深 20 m), 其水质中各离子浓度见表 1。

表 1 供试井水水质中各离子浓度

Table 1 The ion concentration in water from sampling well

pH	EC /mS · cm ⁻¹	全盐 Total salt /mg · L ⁻¹	Ca^{2+} /mg · L ⁻¹	Mg^{2+} /mg · L ⁻¹	HCO_3^- /mg · L ⁻¹	CO_3^{2-} /mg · L ⁻¹	Na^+ /mg · L ⁻¹	Cl^- /mg · L ⁻¹	SO_4^{2-} /mg · L ⁻¹
7.85	1.211	1 096	82	211	528	0	105	108	287

1.2.2 供试蔬菜 枸杞芽菜(*Lycium chinense* Mill), 品种: 宁杞菜一号。

1.3 试验方法

试验分二步进行, 第 1 步, 应用四元二次回归通用

旋转组合设计, 以经济产量为目标函数, $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 P 、 K 、 Ca 4 种元素的浓度为因变量构建数学模型。第二步, 依据模型选出 2 个最优组合和 2 个最差组合, 以日本园式配方的 1/2 单位为对照(CK)进行验证试验。

1.3.1 模型的构建 该试验通过测定试验地水质的基本成分(表 1), 在日本园式通用配方的基础上, 利用四因素五水平二次回归通用旋转组合设计, 设计出该试验 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 P 、 K 、 Ca 4 因素的上、下限及零水平, 共 31 个处理, 微量元素采用日本园式通用配方。用 H_2SO_4 将 pH

第一作者简介: 高艳明(1963-), 女, 教授, 现主要从事蔬菜栽培生理及设施园艺教学与研究工作。
基金项目: 国家“十一·五”科技支撑计划资助项目(2007BAD57B03)。
收稿日期: 2010-05-25

值调整在 6.2 ~ 6.5。其中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的浓度都固定为 1.33 mmol/L。用试验的经济产量(y)建立回归模型,进行回归系数的显著性检验,并进行产量模型的解析,包

括主效应分析、单因素效应分析、单因素边际产量效应分析、两因素交互效应分析并确定 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、P、K、Ca 的最优组合。试验设计见表 2、3。

表 2 枸杞芽菜试验因子及水平编码值

Table 1 Coding values of experimental factors and level

因素 Factors	零水平 Zero level	变化间距 Δ Change scope	无量纲编码 No dimension coding / mmol · L ⁻¹				
			+r	1	0	-1	-r
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	6	3	12	9	6	3	0
P	0.5	0.25	1	0.75	0.5	0.25	0
K	3	1.5	6	4.5	3	1.5	0
Ca	2	1	4	3	2	1	0

1.3.2 栽培方式与管理 采用 DFT 栽培,为避免营养液液温剧烈变化,该试验设计长 5.0 m,宽 0.8 m,深 0.08 m 的池子 3 个(其中过道宽度为 0.3 m),将栽培槽放入其中,每个池子中放置栽培槽 20 个,以避免夏季温度过高而使营养液养分发生剧烈的变化。栽培槽长 0.5 m,宽 0.4 m,深度为 0.15 m,每个栽培槽定植 9 棵苗,设定营养液为 12 L,每个槽中带有 1 个通氧小球,通过细管连接由氧泵不间断供氧。枸杞芽菜于 2007 年 8 月 23 日从宁夏农科院枸杞研究所引进进行扦插,9 月 29 日缓苗,10 月 1 日定植,12 月 2 日拉秧。筛选试验每 7 d 加 1 次营养液,同时测定 pH 值和 EC 值,拉秧测定产量,建立模型。

1.4 营养液管理

1.4.1 配方 该试验研究的主要内容就是叶菜类无土栽培的营养液配方,故此不同处理的营养液配方及用量按照设计的量进行管理。

1.4.2 酸度管理 大多数叶菜生长最适 pH 值是 5.5 ~ 6.9。试验地水 pH 值为 8.0 左右,若不调酸、直接使用会影响对阳离子尤其对铁离子的吸收,使之因缺素而生长缓慢,致使全株黄化,所以用硫酸调节。该试验中将其定为 6.0 ~ 6.5。每次添加或更换营养液时均测量其 pH 值,使其都维持在最适宜的范围内。

1.4.3 营养液养分和水分的补充 该试验采用 DFT 栽培系统,幼苗于日本园试 1/2 单位营养液中缓苗 3 d,之后更换处理设定浓度的营养液,根据营养液消耗量,每周补充 1 次营养液到 12 L 处。同时测量其 pH 值和 EC 值。

1.5 模型的验证

根据四因素五水平二次回归通用旋转组合试验,分析后选择 2 种高产量、2 种低产量的配方(A、B、C、D),以日本园式配方的 1/2 单位为对照(CK)进行验证栽培试验,以确定适合当地水质的无土栽培营养液配方。枸杞芽菜于 10 月 28 日扦插,12 月 5 日缓苗,12 月 8 日定植,

2008 年 1 月 5 日拉秧。采用 DFT 无土栽培。试验共 5 个处理,每个处理设 3 个重复,随机排列,每个重复栽培 5 株。

表 3 枸杞芽菜 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、P、K、Ca 四因素验证试验配方

Table 3 Verifying experiment design of $\text{NO}_3^-\text{-N}$, P, K

and Ca for *Lycium chinense* Mill mmol/L

处理	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	P	K	Ca
A	9	0.5	3	4
B	9	0.75	4.5	5
CK	8	0.665	4	4
C	6	0.5	0	4
D	6	0	3	4

1.6 测试内容及方法

主要以产量为目标,分别测定植株产量、叶片数、茎粗、最大叶叶长、最大叶叶宽、地上部干鲜重、地下部干鲜重、根体积、根系活力、叶绿素含量、VC 含量、硝态氮含量和全氮、磷、钾等指标。

用直尺测量最大叶叶长、叶宽;用游标卡尺测定茎粗;用称重法测定产量;用烘干法测定干鲜重;用 TTC 法测定根系活力;用 SPAD-502 叶绿素计测定叶绿素含量;用德国 Merck RQflex 2 型反射仪测定 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量和 VC 含量;用凯氏法测定植株全氮;用钒钼黄比色法测定植株全磷;用火焰光度计法测定植株全钾。

2 结果与分析

2.1 不同营养液配比组合对枸杞芽菜产量的影响

试验条件下不同营养液配比对枸杞芽菜产量的影响结果见表 4。根据以上产量结果进行统计分析,枸杞芽菜产量(y)与营养液中 N、P、K、Ca 4 种元素(X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4)的摩尔浓度之间的的回归方程为: $Y=51.96143+5.7748X_1+2.87375X_2+3.51125X_3+1.77125X_4-7.68734X_1^2-5.89234X_3^2-2.94484X_4^2+2.19687X_1X_2-2.14438X_1X_3-2.07938X_1X_4+1.89312X_2X_3-0.76988X_2X_4-0.05063X_3X_4$ (1)。

经过方差分析得: $F_1=2.971 < F_{0.05}=4.06$ 失拟不显著,拟和很好; $F_2=6.120 > F_{0.01}=3.45$ 方程回归关系显著。 F 检验说明方程与各因子拟和很好,方程有效,

可以进行效应分析与预测。

2.2 不同营养液配比对枸杞芽菜生长的效应

2.2.1 主效应分析 回归模型本身已经过无量纲形编码代换,其偏回归系数已经标准化,故可直接从其一次项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,4个因素对产量的影响大小程度,线性项是:
 $X_1 > X_3 > X_2 > X_4$ 。

2.2.2 单因子效应分析 对试验方程进行降维分析,得出各因素与产量的偏回归方程为:

$y_1=51.96143+5.77458X_1-5.77359X_1^2$

$y_2=51.96143+2.87375X_2-7.68734X_2^2$

$y_3=51.96143+3.51125X_3-5.89234X_3^2$

$y_4=51.96143+1.77125X_4-2.94484X_4^2$

表 4 枸杞芽菜试验处理方案及产量

Table 4 Effects of nutrients ratios on yield of <i>Lycium chinense</i> Mill					
处理 Treatment	浓度 Concentration/ mmol · L ⁻¹				产量 Yield / g · 株 ⁻¹
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	
1	9	0.75	4.5	3	45.66
2	9	0.75	4.5	1	40.01
3	9	0.75	1.5	3	30.32
4	9	0.75	1.5	1	43.46
5	9	0.25	4.5	3	29.09
6	9	0.25	4.5	1	25.61
7	9	0.25	1.5	3	34.15
8	9	0.25	1.5	1	39.21
9	3	0.75	4.5	3	28.82
10	3	0.75	4.5	1	29.37
11	3	0.75	1.5	3	27.00
12	3	0.75	1.5	1	17.55
13	3	0.25	4.5	3	29.39
14	3	0.25	4.5	1	30.81
15	3	0.25	1.5	3	31.51
16	3	0.25	1.5	1	14.79
17	0	0.5	3	2	11.02
18	12	0.5	3	2	41.18
19	10	0	3	2	8.11
20	10	1	3	2	28.78
21	10	0.5	0	2	9.75
22	6	0.5	6	2	41.50
23	6	0.5	3	0	30.57
24	6	0.5	3	4	44.26
25	6	0.5	3	2	46.50
26	6	0.5	3	2	54.02
27	6	0.5	3	2	52.10
28	6	0.5	3	2	60.22
29	6	0.5	3	2	51.37
30	6	0.5	3	2	53.99
31	6	0.5	3	2	45.53

根据回归子模型,得到 NO₃-N、P、K、Ca 4 个因子的单因子效应(图1)。由图1可以看出,枸杞芽菜产量与各营养元素浓度之间呈典型抛物线型关系,即随着营养元浓度的提高,枸杞芽菜产量逐渐增大,但进一步加大营养

液浓度,枸杞芽菜生长受到抑制,产量下降。根据上述降维后回归方程计算得到枸杞芽菜最高产量营养元素浓度分别为 N 7.50 mmol/L、P 0.52 mmol/L、K 3.45 mmol/L、Ca 2.3 mmol/L,枸杞芽菜单株最大产量分别可达到 53.41、52.23、53.01、52.23 g。

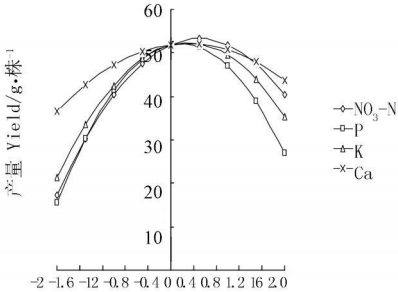


图 1 枸杞芽菜 NO₃-N、P、K、Ca 单因素效应曲线

Fig. 1 The effect curve of single factor with NO₃-N, P, K, Ca in wolfberry buck

2.2.3 交互效应分析 将试验回归模型固定 2 个因素在“零”水平,用“降维法”可分别得到二因素与产量的子模型。这里仅分析部分交互项。X₁ 与 X₂ 交互效应方程为:

$Y_{(1,2)}=51.96143+5.77458X_1+2.87375X_2-$

$5.77359X_1^2-7.68734X_2^2+2.19687X_1X_2$

在施氮水平较高的情况下,产量随施磷水平的提高而提高,可见氮磷之间存在正的交互作用,协调促进产量的形成。从氮、磷互作效应三维图中,可看出,最高产量出现在氮水平取 0.55,磷水平取 0.27 时,而最低产量出现在氮取最高或最低水平时,磷取最低水平时。经计算,X₁=0.55,X₂=0.27 时,产量最高。氮、磷浓度变化对枸杞芽菜产量的影响见表 5。

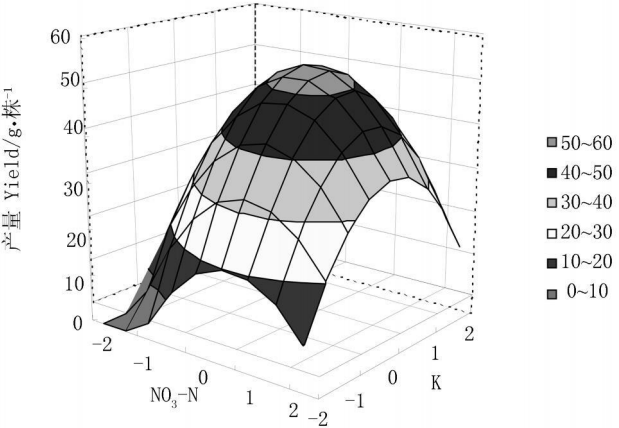


图 2 枸杞芽菜氮与钾交互效应曲面图

Fig. 2 Inter-reactive effects of N and K on yield of *Lycium chinense* Mill

表 5 枸杞芽菜氮、钾浓度变化对产量的影响

Table 5 Effect of concentration change of N, K on yield of <i>Lycium chinense</i> Mill		
条件 Presupposition	因素变化 Change of experiment factors	产量 Yield
当 $X_1 < 0.55$ $X_2 < 0.27$	增加氮、磷时	提高
	N, P increase	Increase
当 $X_1 > 0.55$ $X_2 < 0.27$	增加钾、磷不变时	提高
	K increase P no variation	Increase
当 $X_1 < 0.55$ $X_2 > 0.27$	增加氮、磷不变时	提高
	N increase P no variation	Increase
	增加磷、氮不变时	下降
	P increase N no variation	Decrease
当 $X_1 > 0.55$ $X_2 > 0.27$	增加氮、磷不变时	提高
	N increase N no variation	Increase
	增加磷、氮不变时	降低
	K increases N no variation	Decrease

2.3 不同营养液最佳配比寻优

根据方程(1)在计算机上进行选优,枸杞芽菜最高产量 $y=51.96$ g/株。最高产量时4个因子的取值,即营养液的最优配方: $\text{NO}_3\text{-N}$ 、P、K、Ca 4种元素在营养液中的浓度分别是 9.0、5.3、0.2、0 mmol/L。

由于农业生产不可避免地受到自然等其它因素的影响,为获取一定的产量,各因子应有一定的取值范围,进一步经过频数分析得出,供试条件下,当 X_1 的投入水

平为 0.416 ~ 0.795 X_2 的投入水平为 - 0.086 ~ 0.393 X_3 的投入水平为 0.093 ~ 0.442 X_4 的投入水平为 0.034 ~ 0.502 时,有 95% 的把握使枸杞芽菜产量达到 51.96 g/株。

2.4 枸杞芽菜营养液优选配方校验

为了验证营养液优选配方的准确性和可靠性,以日本园式的 1/2 单位为 CK,按照表 4 的试验设计对 2 个最优组合(A、B)和 2 个最差组合(C、D)进行了田间校验,不同处理组合对枸杞芽菜生长发育及产量品质的影响见表 6 ~ 8。由表 6 可看出,最优组合 A、B 处理的叶片数、最大叶叶长、最大叶叶宽、地上部干鲜重、地下部干鲜重、根体积等各项形态指标显著高于其它处理。各项形态指标的高低顺序依次是: A > B > CK > C > D。优于日本园式配方,表明该研究在银川地区水质基础上所确定的营养液配方适宜于枸杞芽菜的生长发育。

由表 7 看出,与 CK 比,优化营养液配方处理组合 A 与 B 有促进枸杞芽菜叶绿素增加的趋势,可显著促进根系活力,并显著提高产量。

由表 8 看出,优选配方处理 A 可以显著提高枸杞芽菜全氮、全磷、全钾及 VC 的含量,并有降低枸杞芽菜体内硝酸盐含量的趋势。说明筛选出的配方优于 CK,能够促进枸杞芽的生长发育,增加产量,提高其产品品质。

表 6 不同处理对枸杞芽菜生长势的影响

Table 6 Effects of different treatment on the growth of <i>Lycium chinense</i> Mill								
处理 Treatment	叶片数 Number of leaves/片	最大叶叶长 Length of largest leaf/cm	最大叶叶宽 Width of largest leaf/cm	地上部鲜重 Fresh weight of shoot/g	地上部干重 Dry weight of shoots/g	地下部鲜重 Fresh weight of roots/g	地下部干重 Dry weight of roots/g	根体积 Volume of roots / cm ³
A	6.8aA	1.2aA	10.0aA	1.2aA	12.4aA	1.3aA	13.3aA	43.5aA
B	6.5aA	1.1aA	8.3bB	0.9bAB	11.6abA	1.1abA	13.3aA	42.6aA
CK	6.1aA	1.0aAB	7.2cB	0.8bBC	10.2bA	1.0bA	10.0bAB	42.1aA
C	3.3bB	0.8bB	4.6dC	0.5cCD	6.6cB	0.7cB	4.4cC	23.6bB
D	2.1cB	0.4cC	1.5eD	0.2dD	3.5dC	0.4dD	2.8cC	32.5bB

表 7 不同处理对枸杞芽菜生理指标及产量的影响

Table 7 Effects of different on physiologic index and yield of <i>Lycium chinense</i> Mill			
处理 Treatment	叶绿素含量 Chlorophyll content/ $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$	根系活力 Root activity/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	产量 Yield/ $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$
A	0.314aA	0.223aA	10.57aA
B	0.248bB	0.159bB	8.50bB
CK	0.194cC	0.107cC	7.84bB
C	0.167cC	0.080dC	4.61cC
D	0.087dD	0.059dC	1.21dD

表 8 不同处理对枸杞芽菜品质及全氮、磷、钾含量的影响

Table 8 Effects of different treatment on the content of total N, P, K of <i>Lycium chinense</i> Mill					
处理 Treatment	硝酸盐含量 Content of nitrate/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	VC 含量 VC content / $\text{mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$ (FW)	全氮 Total nitrogen / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全磷 Total phosphorus / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全钾 Total kalium / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
A	132.5dC	272.2aA	10.17aA	2.43aA	55.97aA
B	142.0cdC	234.1abAB	11.02aA	2.16bA	53.08aAB
CK	162.8bcdBC	200.5bB	10.44aA	2.11bA	49.31bB
C	237.4aA	124.4cC	6.08bB	1.19dB	15.79dD
D	184.5bB	83.5dC	5.7bB	0.11dC	31.49cC

3 小结

基于银川平原地下水水质的枸杞芽菜水培营养液中, N、P、K、Ca 4 种元素对其产量影响的顺序为: 氮>钾>磷>钙。

4 种营养元素浓度对枸杞芽菜生长的影响变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, 枸杞芽菜产量增加; 而过高的浓度则造成枸杞芽菜减产。单施 4 种营养元素浓度分别达到 N 7.50 mmol/L、P 0.52 mmol/L、K 3.45 mmol/L、Ca 2.3 mmol/L, 枸杞芽菜单株最大产量分别可达到 53.41、52.23、53.01、52.23 g。

供试条件下氮与磷对枸杞芽产生正交互效应。营养元素配合作用下, 营养液 4 个因子 NO₃-N、P、K、Ca 的浓度分别为 9.0、0.5、3.0、2.0 mmol/L 时, 枸杞芽单株产量达到最高的 51.96 g。由于配制营养液的原水中已有 2 mmol/L 的 Ca, 因此, 其 NO₃-N、P、K、Ca 4 种元素在营养液中的最佳配方应调整为: 9.0、0.5、3.0、4.0 mmol/L。

经过田间试验校验证明, 基于试验结果的最优组合

(NO₃-N、P、K、Ca 的浓度分别为 9.0、0.5、3.0、4.0 mmol/L) 不仅显著促进枸杞芽菜的生长发育, 而且显著增加枸杞芽菜产量, 且改善产品品质。

参考文献

[1] 蒋卫杰, 郑光华. 无钙镁营养液配方在 NFT 栽培中的应用效果[J]. 中国蔬菜, 1996(6): 28.

[2] 孟会生. 蔬菜液培营养液研制与应用的研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2005.

[3] 孟会生, 洪坚平. 蔬菜液培营养液研制与应用的研究[J]. 山东农业大学学报, 2005 10(2): 14-16.

[4] 马耀华, 雷玉慧, 肖俊璋. 回归分析在莴笋无土栽培营养液配方中的应用[J]. 西北农业大学学报, 1998, 26(5): 10-15.

[5] 牟咏花, 张德威. 利用地下水进行生菜无土栽培的营养液配方研究[D]. 杭州: 浙江省农业科学院, 1995: 132-135.

[6] 郑光华, 蒋卫杰, 刘伟. 我国北方地区水质与无土栽培系统的选择[J]. 中国蔬菜, 1996(3): 31-34.

[7] 王忠全. 运用回归最优设计确定夏白菜营养液配方[J]. 江西农业大学学报(自然科学版), 2002, 24(6): 12-16.

[8] 杨世民, 朱国利. 生菜无土栽培营养液配方的优选[J]. 四川农业大学学报, 1996, 14(4): 501-504, 540.

Optimum Nutritional Ration for *Lycium chinense* Mill.
Growth Based on the Water Quality in Yinchuan

GAO Yan-ming, LI Jian-sha, LIU Ju-lian
(College of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: The comprehensive effects of N, P, K and Ca concentrations on *Lycium chinense* Mill. were studied by means of quadratic general rotational design based on deep flow technique(DFT) under secondary designed energy saving greenhouse. The results calculated from regression equation between yield factor and four element concentrations factors of N, P, K, Ca showed that: Firstly, the effects sequence of four nutrients on the yield of *Lycium chinense* Mill. was nitric-N (NO₃-N) > potassium(K) > phosphorus(P) > calcium(Ca). Secondly, the interaction effects of N and Ca on *Lycium chinense* Mill. was significant. Yet, there was significant positive interaction between them in lower level and significant negative interaction between them in higher level. Thirdly, by simulation with computer, the optimal ration of N, P, K and Ca to achieve highest yield of individual *Lycium chinense* Mill. (51.96 g) was 9.0, 0.5, 3.0 and 4.0 mmol/L respectively. This ration was verified because the growing trend, root vigor, yield, quality and total N, P, K of *Lycium chinense* Mill. were superior to CK.

Key words: *Lycium chinense* Mill.; DFT; nutrient solution formula; model