

# 菠菜有机生态型无土栽培技术研究

曾长立<sup>a,b</sup>, 陈禅友<sup>a,b</sup>

(江汉大学 a.生命科学学院; b.湖北省豆类(蔬菜)植物工程技术研究中心, 湖北 武汉 430056)

**摘要:**以菇渣、锯木屑、珍珠岩作为有机生态型栽培基质,采用单纯形-格子设计方法,研究这3种基质对菠菜产量和品质的影响。结果表明,菇渣在提高产量及维生素C含量、降低硝酸盐含量上影响最大,锯木屑在降低可溶性草酸含量上效果最好。通过综合选优后,得到菠菜高产优质的适宜基质配比为菇渣:锯木屑:珍珠岩=0.27:0.5:0.23。

**关键词:**菠菜;有机基质;无土栽培;产量;品质

**中图分类号:**S636.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-0143(2012)06-0083-04

菠菜(*Spinacia oleracea* L.)属于藜科菠菜属,在我国城乡春、秋、冬3季广泛种植,是我国一种重要的绿叶蔬菜和出口蔬菜<sup>[1]</sup>。菠菜营养价值极高,富含维生素B<sub>1</sub>、维生素B<sub>2</sub>、维生素C、胡萝卜素、蛋白质、叶酸,以及铁、钙、磷等矿物质,被阿拉伯人誉为“蔬中之王”<sup>[2]</sup>。但菠菜作为一种叶菜类蔬菜,极易积累硝酸盐<sup>[3]</sup>,氮肥的大量施入使得菠菜中硝酸盐含量严重超标。而采用有机生态型无土栽培技术,能有效减少化肥,尤其是氮肥的施用量,因而能显著降低蔬菜的硝酸盐含量,同时提高蔬菜其他品质指标<sup>[4-5]</sup>。本研究采用菇渣、锯木屑、珍珠岩3种基质为材料,通过单纯形-格子设计方法进行设计,建立菠菜高产优质的有机生态型无土栽培基质配比模型,对模型寻优求解得到适宜的基质配比,为菠菜的有机生态型无土栽培提供技术基础和理论指导。

## 1 材料与方法

试验在江汉大学生命科学学院进行,供试品种为日本春秋大叶菠菜。选择大小一致的菠菜种子,经5%次氯酸钠溶液进行10 min表面消毒后,用穴盘进行育苗,待幼苗长到2片真叶时,选择长势一致的幼苗定植于加有有机基质的塑料盆(直径为28 cm,高度为20 cm,装有基质体积均为0.01 m<sup>3</sup>)中,每盆定植菠菜幼苗5株。基质选用锯木屑、菇渣和珍珠岩进行配合,同时加入

150 g的消毒鸡粪和8 g的三元复合肥料。采用单纯形-格子设计方法(见表1)。每个处理重复3次。待菠菜生长30 d后取样,植株迅速用自来水冲洗干净,然后用蒸馏水冲洗,擦净水分,称量地上部的鲜重,并进行各品质指标的测定。可溶态草酸含量的测定参照Baker的方法进行<sup>[6]</sup>,硝酸盐含量测定采用水杨酸法进行。

表1 单纯形-格子设计

编号	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$z_1$ (菇渣)	$z_2$ (锯木屑)	$z_3$ (珍珠岩)
1	1	0	0	0.4	0.4	0.2
2	0	1	0	0.2	0.6	0.2
3	0	0	1	0.2	0.4	0.4
4	1/2	1/2	0	0.3	0.5	0.2
5	1/2	0	1/2	0.3	0.4	0.3
6	0	1/2	1/2	0.2	0.5	0.3

## 2 结果与分析

### 2.1 不同栽培基质对比对菠菜产量的影响

通过运用单纯形-格子设计计算程序进行统计处理,应用{3, 2}设计模型参数估计的一般计算公式,对试验的商品产量结果(见表2)进行参数计算,可得到菠菜商品产量 $y$ 与3因子的码值数值方程:

$$\hat{y} = 293x_1 + 286x_2 + 291x_3 + 38x_1x_2 + 96x_1x_3 - 44x_2x_3 \quad (1)$$

收稿日期: 2012-09-29

基金项目: 武汉市科技攻关计划项目(200950199019-05)

作者简介: 曾长立(1972—),男,副教授,博士,研究方向:植物营养与生理、植物细胞学与分子生物学。

表2 试验产量实收结果(换算为 kg/667 m<sup>2</sup>)

处理号	I		II		III		平均数		收获指数
	生物量	商品量	生物量	商品量	生物量	商品量	生物量	商品量	
1(1, 0, 0)	383	293	374	291	391	295	383	293	0.77
2(0, 1, 0)	364	273	372	287	374	298	370	286	0.77
3(0, 0, 1)	364	288	371	292	382	294	372	291	0.78
4(1/2, 1/2, 0)	369	285	373	297	389	311	377	298	0.79
5(1/2, 0, 1/2)	387	311	391	315	401	321	393	316	0.80
6(0, 1/2, 1/2)	361	273	376	283	362	277	366	278	0.76

注: \*试验中每个处理15株, 算出菠菜每株重量, 然后按25 000株/667 m<sup>2</sup>换算成产量。

用6个处理组合码值( $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ )分别代入上述数学模型(1), 求出的商品产量 $y$ 与实收平均产量十分吻合。经过方差分析可知,  $F$ (失拟) = 1.24( $F_{0.05} = 2.84$ ), 表明未知因素对试验结果影响很小, 可以忽略, 而 $F$ (拟合) = 7.98\*(表示差异有统计学意义), 复相关系数 $R = 0.9765$ , 说明回归方程与实际情况拟合很好。试验设计为饱和设计, 理论值与实际值非常吻合, 回归式完全可以反映实际情况。

从(1)式可知, 一次项系数分别是菇渣 > 珍珠岩 > 锯木屑, 说明菇渣对菠菜产量起了重要作用。3种基质之间存在交互作用, 其中, 菇渣与锯木屑之间、菇渣与珍珠岩之间存在正向交互作用, 而锯木屑与珍珠岩之间则存在负向交互作用。

## 2.2 不同栽培基质比对菠菜安全品质的影响

### 2.2.1 对可溶性草酸含量的影响

通过对各处理菠菜中可溶性草酸含量进行测定(见表3), 可得出草酸含量与3因子编码之间的数学模型, 经统计检验后得到多项式

$$\hat{y} = 3.57x_1 + 3.1x_2 + 3.67x_3 - 0.42x_1x_2 - 14.16x_1x_3 - 0.86x_2x_3 \quad (2)$$

用6个处理组合码值( $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ )分别代入上述数学模型(2), 求出的可溶性草酸含量 $y$ 与实测平均值相吻合。经过方差分析可知,  $F$ (失拟) = 1.64( $F_{0.05} = 3.14$ ), 表明未知因素对试验结果影响很小, 可以忽略, 而 $F$ (拟合) = 3.62\*(表示差异有统计学意义), 复相关系数 $R = 0.8642$ , 说明回归方程与实际情况拟合很好。

从多项式(2)可知, 一次项系数由高到低排列分别为: 珍珠岩 > 菇渣 > 锯木屑, 说明锯木屑可以降低菠菜体内可溶性草酸的累积, 而珍珠岩则有利于提高菠菜体内可溶性草酸的累积。另外, 从交互项系数来看, 三者均表现为负向交互

作用, 其中菇渣与珍珠岩之间的负向交互作用更明显。

表3 菠菜各品质指标测定结果

处理号	可溶性草酸含量/ 硝酸盐含量/ 维生素C含量/		
	(g·kg <sup>-1</sup> FW)	(g·kg <sup>-1</sup> FW)	(mg·kg <sup>-1</sup> FW)
1(1, 0, 0)	3.57	0.35	557.65
2(0, 1, 0)	3.10	0.38	498.39
3(0, 0, 1)	3.67	0.31	485.41
4(1/2, 1/2, 0)	3.23	0.28	526.47
5(1/2, 0, 1/2)	3.70	0.32	536.47
6(0, 1/2, 1/2)	3.17	0.41	498.14

### 2.2.2 对硝酸盐含量的影响

通过运用单纯形-格子设计计算程序进行统计处理, 应用 $\{3, 2\}$ 设计模型参数估计的一般计算公式, 对菠菜硝酸盐含量结果(见表3)进行参数计算, 可得到菠菜硝酸盐含量 $y$ 与3因子的码值数值方程:

$$\hat{y} = 0.35x_1 + 0.38x_2 + 0.31x_3 + 0.36x_1x_2 - 0.04x_1x_3 + 0.26x_2x_3 \quad (3)$$

用6个处理组合码值( $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ )分别代入上述数学模型(3), 所得到的硝酸盐含量 $y$ 与实测平均值相吻合。方差分析结果表明, 未知因素对试验结果影响很小, 可以忽略, 回归方程与实际情况拟合很好, 可以用于指导生产。从上述模型(3)可知, 一次项系数中锯木屑最大, 其次是菇渣, 而珍珠岩最小, 说明锯木屑对菠菜硝酸盐影响最大, 可以增加其累积; 而珍珠岩对菠菜体内硝酸盐的影响较小。另外, 从交互项系数来看, 菇渣与锯木屑间、锯木屑与珍珠岩间均表现为正向交互作用, 而菇渣与珍珠岩之间则具有负向交互作用。

### 2.2.3 对维生素C含量的影响

通过对各处理菠菜中维生素C含量进行测定(见表3), 可得出其含量与3因子编码之间的数学模型, 经统计检验后得到如下多项式:

$$\hat{y} = 557.65x_1 + 498.39x_2 + 485.41x_3 + 6.2x_1x_2 + 59.76x_1x_3 + 24.96x_2x_3 \quad (4)$$

用6个处理组合码值( $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ )分别代入上述数学模型(4),所得维生素C含量 $y$ 与实测平均值完全吻合。方差分析结果表明,未知因素对试验结果影响很小,可以忽略,回归方程与实际情况拟合很好,可以用于指导生产。从上述数学模型(4)可知,一次项系数大小排列为菇渣>锯木屑>珍珠岩,说明菇渣对菠菜维生素C影响最大。另外,从交互项系数来看,3种基质间均表现为正向交互作用,其中,菇渣与珍珠岩

之间的交互作用最大,而菇渣与锯木屑之间的交互作用最小。

### 2.3 菠菜适宜栽培基质配比的优化筛选

2.3.1 菠菜高产方案的确定 采用步长分析法,步长设置为0.2,在 $0 \leq x_j \leq 1$ 区间内,经过运转得到729套全部组合方案,其中,产量大于295 kg/667 m<sup>2</sup>的组合统计数为238套,占32.6%,其配比方案的计算结果见表4。可得到产量332.52 kg/667 m<sup>2</sup>,其优化的栽培基质配比(码值)为:菇渣( $x_1$ )0.3367~0.3829;锯木屑( $x_2$ )0.4622~0.5063;珍珠岩( $x_3$ )0.2051~0.2348。

表4 菠菜产量大于295 kg/667 m<sup>2</sup>时各变量的计算结果

变量	组合数	平均值	标准差	最小值	最大值	95%置信区间
$x_1$	729	0.3643	0.0261	0.0000	1.0000	0.3367~0.3829
$x_2$	729	0.4926	0.0362	0.0000	1.0000	0.4622~0.5063
$x_3$	729	0.2178	0.0188	0.0000	1.0000	0.2051~0.2348
$y$	729	332.52	1.1623	295.18	487.35	326.87~342.96

2.3.2 综合优化栽培基质配比的确定 由于本研究考虑的指标中品质指标较多,因此采用频率分析方法很难获得各指标均达到最佳时的组合,故采用首抓重点指标产量,然后再顾及其余各品质指标的权重系数综合函数法。根据表4得出的结果,可以取 $x_1$ 为0.3~0.4, $x_2$ 为0.4~0.5, $x_3$ 为

0.2~0.3。在此范围内,设 $x_1 \sim x_3$ 的计算步长均为0.02,分别代入到产量、可溶性草酸含量和硝酸盐含量的回归方程中,计算各指标的均值、标准差、最小值、最大值、95%置信区间,其计算结果见表5。

表5 菠菜产量和各品质指标的计算结果

变量	组合数	平均值	标准差	最小值	最大值	95%置信区间
$y$ (产量)	729	389.64	1.0573	369.78	402.15	389.16~389.83
$y_1$ (草酸)	729	3.0415	0.0246	2.9457	3.7842	3.7805~3.7874
$y_2$ (硝酸盐)	729	0.2638	0.0011	0.2549	0.4136	0.2612~0.2668
$y_3$ (维生素C)	729	543.42	2.4823	483.25	564.71	543.16~543.64

将各函数的值进行归一化处理,即(函数值-最小值)/(最大值-最小值)得到的值均处于0~1之间,其变换公式如下:

$$z = (y - 369.78) / (402.15 - 369.78),$$

$$z_1 = (y_1 - 2.9457) / (3.7842 - 2.9457),$$

$$z_2 = (y_2 - 0.2549) / (0.4136 - 0.2549),$$

$$z_3 = (y_3 - 483.25) / (564.71 - 483.25).$$

再根据事先确定的各指标的权重系数构成一个综合评价函数,即: $zz = 0.45 \times z + 0.15 \times z_1 + 0.25 \times z_2 + 0.15 \times z_3$ 。只要求得 $zz$ 最大的组合即为各指标的适宜组合。最后通过计算,得到优化栽培基质码值为:菇渣0.34,锯木屑0.49,珍珠岩0.17,换算为实际配比为,菇渣:锯木屑:珍珠岩=0.27:0.5:0.23。

## 3 讨论

菠菜是一种硝酸盐和草酸高累积的蔬菜,硝酸盐摄入人体后可使人患高铁血红蛋白症。同时,硝酸盐是致癌物亚硝酸胺的前体,易诱发人体消化系统癌变<sup>[7]</sup>。而草酸是一种抗营养因子,不仅能影响矿质元素钙、镁和锌等的有效性,而且易导致草酸钙肾结石<sup>[8]</sup>;因此,降低菠菜体内硝酸盐及草酸含量对于提高其安全品质至关重要<sup>[3]</sup>。研究表明,氮素营养是影响菠菜生长以及硝酸盐和草酸累积的一个重要因素,传统的菠菜栽培技术中,单一氮肥的大量使用致使菠菜中硝酸盐及草酸含量大量累积。而目前发展迅猛的有机生态型无土栽培技术是指用基质取代天然土壤,而使

用有机固态肥并直接用清水来浇灌作物,而不是用传统的营养液灌溉植物根系的一种栽培技术<sup>[9]</sup>。尽管该技术在很多蔬菜上已经加以应用,但是在科学合理地选择栽培基质配比方面的研究还比较缺乏。本研究采用单纯形-格子设计方法进行设计,该设计方法具有试验处理少、试验效率高的优点,同时结合频率分析和权重系数综合函数法。以菠菜产量、品质因素(主要是硝酸盐和草酸含量)作为重点进行分析,筛选出了菠菜高产优质的基质配比,即当菇渣:锯木屑:珍珠岩之比为0.27:0.5:0.23时,菠菜产量较高、品质较好。

#### 参考文献:

- [1] 王丰. 菠菜的营养及其草酸含量的调控方法分析[J]. 广西轻工业, 2009(4): 16-17.
- [2] 宋曙辉, 王文琪. 谈菠菜的营养与药用[J]. 蔬菜, 2003(3): 35.
- [3] 张英鹏, 林成永, 章永松, 等. 氮素形态对菠菜硝酸盐及草酸含量的影响[J]. 园艺学报, 2005, 32(4): 648-652.
- [4] 曾长立. 有机生态栽培基质比对辣椒产量及品质的影响[J]. 江西农业大学学报, 2010, 32(2): 308-311.
- [5] 曾长立, 陈禅友, 董元火. 乌塌菜有机基质无土栽培技术研究[J]. 中国园艺文摘, 2011(6): 1-2.
- [6] Baker C J L. The determination of oxalates in fresh plant materials[J]. Analyst, 1954, 77: 340-344.
- [7] 沈明珠, 翟宝杰, 东惠茹, 等. 蔬菜硝酸盐累积的研究 I·不同蔬菜硝酸盐、亚硝酸盐含量评价[J]. 园艺学报, 1982, 9(4): 41-48.
- [8] Libert B, Francechi V R. Oxalate in crop plants[J]. Agric Food Chem, 1987, 35: 926-938.
- [9] 蒋卫杰, 刘伟, 余宏军, 等. 有机生态型无土栽培的现状与展望[J]. 中国农业科技导报, 2000, 2(2): 71-75.

## Cultivation Technology of *Spinacia oleracea* L. in Organic Stroma Soilless Culture

ZENG Chang-li<sup>a,b</sup>, CHEN Chan-you<sup>a,b</sup>

(a.School of Life Science; b.Hubei Province Engineering Research Center for Legume Plants, Jiangnan University, Wuhan 430056, Hubei, China)

**Abstract:** Scrap of woods, mushroom-grown cotton seed coat (MCSC) and perlite were used to act as ecological organic stroma, and simplex-lattice design method was applied to study the effects of the three stromas on yield and quality of *Spinacia oleracea* L. The results showed that MCSC had maximum impact on increasing the yield and Vit C content and decreasing nitrate content. However, the effect of scrap of woods on decreasing oxalate content was the best. Through a comprehensive selection, the suitable proportion of stroma of high yield and quality was MCSC:scrap of woods:perlite equalling to 0.27:0.5:0.23.

**Key words:** *Spinacia oleracea* L.; organic stroma; soilless culture; yield; quality

(责任编辑: 陈 旷)