

小白菜平衡施肥数学模型模拟研究*

柯庆明 林文雄**

(福建农林大学生命科学学院 福州 350002)

黄珍发 方加龙

黄梅卿

(福建省莆田市农业局 莆田 351100) (福建省莆田市荔城区土肥站 莆田 351100)

摘要 试验研究建立了小白菜平衡施肥数学模型,并模拟出小白菜 N、P、K 肥施用量与产量及利润的回归方程,应用边际分析法获得小白菜最高产量施 N 肥量为 137.12 kg/hm², N:P₂O₅:K₂O=1:0.77:0.98;最佳利润施 N 肥量为 123.74 kg/hm², N:P₂O₅:K₂O=1:0.85:1。

关键词 小白菜 平衡施肥 数学模型

Simulation on the mathematical model of balanced fertilization in Pak-chio vegetable crop. KE Qing-Ming, LIN Wen-Xiong(College of Life Sciences, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou 350002), HUANG Zhen-Fa, FANG Jia-Long(Putian Agricultural Bureau, Fujian Province, Putian 351100), HUANG Mei-Qing(Soil and Fertilizer Station of Licheng District, Putian City, Fujian Province, Putian 351100), *CJEA*, 2005, 13(1):119~121

Abstract The mathematical model of balanced fertilization in Pak-chio vegetable crop is established, and the regression equations in the relationships among the fertilization and yield as well as its profit have been simulated. The marginal analysis indicates that the most suitable fertilization for the highest yield of Pak-chio is 137.12kg/hm² N, and the ratio of N, P₂O₅ and K₂O is 1:0.77:0.98; the most suitable fertilization for the highest profit of Pak-chio is 123.74kg/hm² N, and the ratio of N, P₂O₅ and K₂O is 1:0.85:1.

Key words Pak-chio, Balanced fertilization, Mathematical model

小白菜为我国主要蔬菜种植品种之一,市场需求量大。本试验研究了不同 N、P、K 肥施用量对小白菜产量、利润及硝酸盐、亚硝酸盐含量的影响,并建立了小白菜平衡施肥数学模型,为小白菜科学施肥提供理论依据。

1 试验材料与方法

试验在福建省莆田市涵江区显应现代生态农业基地进行,供试土壤为灰垆土,土壤 pH 值 5.5,有机质 16.30g/kg,碱解氮 126mg/kg,速效磷 12.1mg/kg,速效钾 87mg/kg。供试小白菜品种为“青江白菜(18号)”,供试肥料为尿素(含 N 46%,1.5元/kg)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%,0.42元/kg)和氯化钾(含 K₂O 60%,1.2元/kg)。试验采用 311-A 拟饱和最优回归设计^[1],设 N、P、K 3 个因素、12 个不同水平组合处

表 1 试验设计编码与施肥量

Tab.1 The coding and the amount of fertilizer application

处 理 Treatments	编 码 Coding			施 肥 量 /kg·hm ⁻² The amount of fertilizer application		
	x ₁	x ₂	x ₃	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
I	0	0	2	150.00	80.00	260.00
II	0	0	-2	150.00	80.00	0.00
III	-1.414	-1.414	1	43.95	23.44	195.00
IV	1.414	-1.414	1	256.05	23.44	195.00
V	-1.414	1.414	1	43.95	136.56	195.00
VI	1.414	1.414	1	256.05	136.56	195.00
VII	2	0	-1	300.00	80.00	65.00
VIII	-2	0	-1	0.00	80.00	65.00
IX	0	2	-1	150.00	160.00	65.00
X	0	-2	-1	150.00	0.00	65.00
XI	0	0	0	150.00	80.00	130.00
CK	-2	-2	-2	0.00	0.00	0.00

* 福建省重点科技攻关项目(2002N054)资助

** 通讯作者

收稿日期:2004-01-03 改回日期:2004-02-09

理(含对照 CK 处理),2 次重复,随机排列,共 24 个小区,小区面积 1.7m×9m。其试验设计编码值与施肥方案见表 1。试验于 2003 年 9 月 1 日播种(直播)。基肥 N、P、K 分别占 30%、100% 和 30%;9 月 11 日第 1 次追肥,N、K 各占 10%;9 月 18 日第 2 次追肥,N、K 分别占 30% 和 40%;9 月 26 日第 3 次追肥,N、K 分别占 30% 和 20%。9 月 29 日第 1 次取小白菜样化验其硝酸盐、亚硝酸盐含量,10 月 4 日采收并测产,同时进行第 2 次取样分析其硝酸盐、亚硝酸盐含量。测定方法参照 GB/T15401-94 进行。处理 I、IV、VI、VIII 和 X 小白菜售价为 900 元/t,对照处理小白菜售价为 850 元/t,其他处理小白菜售价为 1000 元/t。

2 结果与分析

实收小白菜产量及利润结果见表 2。应用计算机 DPS 数据处理系统进行数据统计分析,建立小白菜产量(y)、利润(π)与 N、P、K 肥施用量编码值(x_1 、 x_2 、 x_3)间效应方程为:

$$\hat{y} = 37.4826 - 0.0491x_1 + 1.0269x_2 - 0.0996x_3 - 1.0385x_1^2 - 0.9210x_2^2 - 1.2279x_3^2 - 0.5440x_1x_2 + 0.5426x_1x_3 + 0.5486x_2x_3 \quad (1)$$

$$\hat{\pi} = 36239.3 - 850.9x_1 + 846.01x_2 - 661.1x_3 - 1706.8x_1^2 + 767.8x_2^2 - 1584.5x_3^2 - 541.7x_1x_2 - 30.2x_1x_3 + 560.1x_2x_3 \quad (2)$$

表 2 小白菜产量及经济收益

Tab.2 The yields and economical benefit of Pak-chio vegetable crop

处 理 Treatments	产量/t·hm ⁻² Yield			肥料成本/元·hm ⁻² The cost of fertilizer	利润/元·hm ⁻² Profit		
	I	II	平均 Average		I	II	平均 Average
I	34.14	32.82	33.48	1289	29437	28249	28843
II	30.49	33.12	31.81	769	29721	32351	31036
III	27.25	28.24	27.75	615	26635	27625	27130
IV	30.49	31.76	31.13	1307	26134	27277	26706
V	34.84	33.53	34.19	1011	33829	32519	33174
VI	34.49	33.12	33.81	1703	29338	28105	28722
VII	32.67	30.24	31.46	1388	28015	25828	26922
VIII	33.25	35.29	34.27	410	29515	31351	30433
IX	33.61	34.53	34.07	1179	32431	33351	32891
X	31.37	33.82	32.60	619	30751	33201	31976
XI	38.73	35.35	37.04	1029	37701	34321	36011
CK	24.67	25.06	24.87	0	20970	21301	21136

经检验方程(1) $F = 12.21^{**} > F_{0.01}(9, 14) = 4.03^{[1,2]}$,方程(1)成立,即小白菜产量与 N、P、K 肥施用量编码值间回归关系极显著;其复相关系数 $R = 0.942$,大于高度相关的下限值,表明小白菜产量与 N、P、K 肥施用量编码值间存在高度相关。对方程(1)进行极值判别 $|A_1| = -2.077 < 0$, $|A_2| = 3.530 > 0$, $|A_3| = -7.825 < 0$,矩阵 A 为负定,方程(1)为典型方程,可采用边际分析法求得小白菜最高产量施肥量,其驻点($x_1 = -0.1717$, $x_2 = 0.6265$, $x_3 = 0.0615$)对应 y 值为最大值,即施 N 肥量为 137.12 kg/hm²、P 肥(P₂O₅)为 105.06

kg/hm²、K 肥(K₂O)为 134.00kg/hm²,其 N:P₂O₅:K₂O=1:0.77:0.98 时小白菜可获最高产量 37.81t/hm²。对方程(2)进行检验 $F = 24.67^{**} > F_{0.01}(9, 14) = 4.03$,复相关系数 $R = 0.970$,表明小白菜利润与 N、P、K 肥施用量编码值间回归关系极显著并存在高度相关关系。对方程(2)进行极值判别 $|A_1| = -3413.6 < 0$, $|A_2| = 4948485 > 0$, $|A_3| = -14591136242 < 0$,矩阵 A 为负定,方程(2)亦为典型方程,可采用边际分析法求得小白菜最佳利润施肥量,其驻点($x_1 = -0.3501$, $x_2 = 0.6408$, $x_3 = -0.0920$)对应 π 值为最大值,即施 N 肥量为 123.74kg/hm²、P 肥(P₂O₅)105.63kg/hm²、K 肥(K₂O)124.02kg/hm²,其 N:P₂O₅:K₂O=1:0.85:1 时小白菜可获最高利润 3.669 万元/hm²。小白菜生育期短,自播种至收获仅 30 多 d,试验分 9 月 29 日(最后 1 次追肥后 3d)和 10 月 4 日(最后 1 次追肥后 8d)2 个不同时间取样,分析施肥对小白菜体内硝酸盐、亚硝酸盐含量的影响,其测定结果见表 3。根据 NY5003-2001 和 GB18406.1-2001 无公害白菜类蔬菜卫生指标要求亚硝酸盐含量应≤4mg/kg,叶菜类硝酸盐含量应≤3000mg/kg。由表 3 可知 12 个处理小白菜亚硝酸盐含量均符合标准。施 N 肥量高的 I、II、IV、VI、VII、IX、X 和 XI 处理其小白菜硝酸盐含量略有超标且 2 次不同时间取样硝酸盐含量差异较小;施 N 量低的 III、V、VIII 和对照处理其小白菜硝酸盐含量均 < 2800mg/kg,第 2 次取样比第 1 次仅迟 5d,而硝酸盐含量下降 16.9%~57.0%,降幅较大。在 N、P 充足条件下推迟 5d 收获小白菜硝酸盐含量不降反升,这可能是因 P 素充足时既能促进硝酸盐的还原同化,也能增强作物对 NO₃⁻-N 的吸收,故有提高 NO₃⁻-N 的可能^[3]。这与段咏新等^[4]报道的 N、P、K 单因素对硝酸盐含量影响为

$P > N > K$, 而其交互作用中 N、P 最显著的结论相吻合。由所得最高产量施 N 量 ($137.12 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 和最佳利润施 N 量 $123.74 \text{ kg}/\text{hm}^2$) 看, 其施 N 量均小于本试验施 N 量高的处理, 故该施 N 量下小白菜亚硝酸盐和硝酸盐含量可控制在规定范围内, 生育期短的蔬菜应尽量早施 N 肥。

3 小 结

小白菜最高产量施 N 肥量为 $137.12 \text{ kg}/\text{hm}^2$, P 肥 (P_2O_5) 为 $105.06 \text{ kg}/\text{hm}^2$, K 肥 (K_2O) 为 $134.00 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 其 $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O} = 1:0.77:0.98$, 其最高产量为 $37.81 \text{ t}/\text{hm}^2$; 小白菜最佳利润施 N 肥量为 $123.74 \text{ kg}/\text{hm}^2$, P 肥 (P_2O_5) 为 $105.63 \text{ kg}/\text{hm}^2$, K 肥 (K_2O) 为 $124.02 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 其 $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O} = 1:0.85:1$,

其最佳利润为 $3.669 \text{ 万元}/\text{hm}^2$ 。从最高产量和最佳利润施 N 肥量看, 应尽量早施 N 肥, 使小白菜亚硝酸盐和硝酸盐含量控制在规定范围内, 保证产品的卫生品质。

参 考 文 献

- 1 王兴仕, 张福锁, 杨靖一等. 现代肥料试验设计. 北京: 中国农业出版社, 1996. 85~95, 176~179
- 2 李昌伟, 连兆煌, 毛达如等. 农业化学研究法. 北京: 中国农业出版社, 1988. 137~159
- 3 刘启东, 李会合, 王正银. 平衡施肥对 3 种叶菜硝酸盐含量的影响. 长江蔬菜, 2003 (2): 41
- 4 段咏新, 付庭治. 氮磷钾肥施用对蔬菜中硝酸盐积累的数学模型. 生态学杂志, 1993, 12(6): 34~36

表 3 小白菜硝酸盐与亚硝酸盐含量比较

Tab. 3 Nitrate and nitrite contents in Pak-chio vegetable crop

处 理 Treatments	含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Contents			
	日期(月-日) Date(month-day)			
	09-29	10-04	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$
I	3121.84	痕量	2953.55	痕量
II	3079.40	痕量	2721.75	痕量
III	2372.72	痕量	1462.66	痕量
IV	2920.71	痕量	2914.40	痕量
V	2796.59	痕量	2324.05	痕量
VI	3218.24	痕量	3608.42	痕量
VII	3119.61	痕量	3447.45	痕量
VIII	2050.24	痕量	881.33	痕量
IX	2911.73	痕量	3440.52	痕量
X	3107.02	痕量	3066.72	痕量
XI	3276.01	0.91	3233.33	痕量
CK	1436.68	1.10	799.83	痕量

欢迎订阅 2005 年《中国农学通报》

《中国农学通报》是由中国科学院院士、中国工程院院士石元春先生任主编、中国农学会主办的农业综合性学术期刊, 系全国农业核心期刊、中国科协优秀学术期刊和全国优秀农业期刊, 主要报道国内外农牧业各学科的研究报告、研究进展、学术探讨、学术争鸣、试验简报、专题综述以及农业社科栏目(院士论坛、省部长论坛、农业论坛和基层论坛), 并刊登种植业(农药、农膜、农机、土壤、肥料、种子、栽培、病虫害防治)、养殖业(种畜、种禽、畜牧、水产、饲料、添加剂、兽药、疫病防治)、农产品贮藏加工业(保鲜技术、保鲜剂、食品开发、加工机械)等方面的实用高效新品种、新技术、新方法、新动态, 适于各级农牧科技人员、农技推广人员、农牧行政管理干部、农业大中专院校师生和广大农村养殖及种植专业户等阅读。《中国农学通报》为月刊, 大 16 开本, 320 页, 逢月初日出版, 国内外公开发行, 国内统一刊号: CN11-1984/S, 每期定价 25.00 元, 全年 300.00 元, 邮发代号: 2-772, 全国各地邮局均可订阅, 漏订者可直接汇款至本刊补订, 地址: (100026) 北京市朝阳区麦子店街农业部北区工作区 20 号楼中国农学会编辑出版部, 电话: (010)64194480。