

优质花生莆花 1 号选育及高产优化栽培数学模型

黄金堂¹, 陈海玲¹, 郑国栋¹, 李清华¹, 邱国清², 李淑萍¹, 谢志琼¹

(1. 福建省莆田市农业科学研究所, 福建 莆田 351144; 2. 福建省莆田市种子管理站, 福建 莆田 351100)

摘要: 莆花 1 号系以闽花 2 号为母本、汕油 71-61 为父本有性杂交经系谱法选育而成的花生新品种。该品种表现优质、丰产、稳产、适应性广。采用五因素二次通用旋转组合设计试验方法, 研究了基本苗及氮、磷、钾、钙施用量五项主要栽培措施对产量的影响, 建立了花生高产优化栽培数学模型。结果表明, 在 5 个因素中, 对花生产量的影响为: $\text{CaO} > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{基本苗} > \text{纯 N} > \text{K}_2\text{O}$; 要获得 $4500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上产量, 其最佳栽培措施组合为: 保持基本苗 $29.850 \text{ 万} \sim 30.360 \text{ 万} \cdot \text{hm}^{-2}$, 施纯 N: $147.660 \sim 152.340 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, P_2O_5 : $78.750 \sim 83.280 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, K_2O : $173.370 \sim 192.150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, CaO : $47.325 \sim 49.980 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

关键词: 花生; 选育; 莆花 1 号; 产量; 栽培; 数学模型

中图分类号: S 565.2

文献标识码: A

Breeding and Optimized Cultivation of High-yield Peanuts, Puhua 1

HUANG Jin-tang¹, CHENG Hai-ling¹, ZHENG Guo-dong¹, LI Qing-hua¹, QIU Guo-qing²,
LI Shu-ping¹, XIE Zhi-qiong²

(1. Putian Institute of Agricultural Sciences, Putian, Fujian 351144, China;

2. Seed Station of Putian, Putian, Fujian 351100, China)

Abstract: Puhua 1 was a new, spring peanut variety bred by crossing between Minghua 2 and Sanyou 71-61. The variety showed the characteristics of high quality, high and stable yield, and broad adaptability. The relationship between its yield and various agronomic practices (e. g., seeding, N, P, K, Ca applications) for Puhua 1 was studied using a quadratic universal rotation combination design. The results showed that the optimal conditions to achieve a yield greater than $4500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ were: $(29.850 \sim 30.360) \times 10^4 \text{ plants} \cdot \text{hm}^{-2}$, N $147.660 \sim 152.340 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, P_2O_5 $78.750 \sim 83.280 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, K_2O $173.370 \sim 192.150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and CaO $47.325 \sim 49.980 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$.

Key words: peanut; breeding; Puhua 1; yield; cultivation; mathematical model

花生是福建省最主要的油料作物, 面积在大田作物中居第 3 位, 仅次于水稻和甘薯。年种植面积在 11 万 hm^2 左右, 约占福建省油料作物总面积的 85%, 总产约 25 万 t, 占福建省油料作物总产量的 90% 以上。花生油是福建居民主要食用植物油^[1-3]。近年来, 福建省花生生产水平有了较大提高, 种植效益一直处于较高水平, 发展花生生产已成为农业增效、农民增收的重要途径之一。但也应看到, 花生生产还存在栽培管理较粗放、不重视施肥技术等问题, 加上花生主要分布在丘陵旱地, 土壤为红黄壤, 酸、瘠、粘、旱, 因而使花生产量低而不稳。以前关于花生高产栽培综合农艺措施和优化栽培的定量研究报道甚少。因此, 培育适合旱地

红黄壤种植的优质、高产的花生新品种, 并进行高产优化栽培技术研究, 实现良种良法配套, 成为福建省花生育种工作的当务之急。立足于市场和生产需求, 莆田市农业科学研究所 2002 年春以闽花 2 号为母本、汕油 71-61 为父本, 有性杂交育成高油亚比优质花生新品种莆花 1 号, 2009 年 2 月通过福建省农作物品种认定 (闽油认 2009002)。

1 品种选育

1.1 选育经过

莆花 1 号系福建省莆田市农业科学研究所以闽花 2 号为母本、汕油 71-61 为父本有性杂交经系谱法选育而成。2002 年春配制杂交组合, 秋季加代。

收稿日期: 2011-05-21 初稿; 2011-06-20 修改稿

作者简介: 黄金堂 (1964—), 男, 副研究员, 从事花生遗传育种研究 (E-mail: pthjt@126.com)

基金项目: 福建省科技计划项目 (2010S0018); 福建省莆田市重点科技计划项目 (2008N07)

2003 年春 F_2 代，秋季加代。2004 年春选择优良单株，秋季种成 F_5 代，收获优良株系。2005 年春参加本所品鉴和品比试验，2006~2007 年春以“莆系 2 号”参加省区域试验，2008 年进入省生产试验，2009 年通过福建省品种认定，定名为莆花 1 号。

1.2 产量表现

1.2.1 区域试验 莆花 1 号参加 2006 年福建省春花生区域试验结果，在全省 8 个区试点平均荚果产量 $3\ 599.4\ kg \cdot hm^{-2}$ ，比对照泉花 10 号增产 2.79%；平均籽仁产量 $2\ 504.7\ kg \cdot hm^{-2}$ ，增产 4.01%，达显著水平。2007 年继续参加福建省区域试验，在全省 9 个点平均荚果产量 $4\ 323.9\ kg \cdot hm^{-2}$ ，比对照泉花 10 号增产 7.06%，达极显著水平；平均粒仁产量 $2\ 819.0\ kg \cdot hm^{-2}$ ，比对照泉花 10 号增产 6.75%，达极显著水平。2 年平均荚果产量 $3\ 924.2\ kg \cdot hm^{-2}$ ，比对照泉花 10 号增产 5.07%，平均粒仁产量 $2\ 661.9\ kg \cdot hm^{-2}$ ，比对照泉花 10 号增产 5.38%。

1.2.2 生产试验 莆花 1 号 2008 年进入福建省花生生产试验，在龙岩、同安、福清和莆田同时进行试验示范。在莆田经专家现场测产，该品种折干产荚果产量 $4\ 809.0\ kg \cdot hm^{-2}$ ，比对照泉花 10 号增产 14.46%；福清点折干产荚果产量 $4\ 383.5$

$kg \cdot hm^{-2}$ ，比对照泉花 10 号增产 19.75%。

1.2.3 试种示范 从 2005 年开始，在莆田市秀屿区的笏石、东峤、平海等地进行试种，均比对照增产。如 2005 年东峤镇渚林村林金銮种植 $0.067\ hm^2$ ，单产 $4\ 182.0\ kg \cdot hm^{-2}$ ，比对照泉花 10 号增产 23.39%；平海镇江堤村秦秀华种植 $0.133\ hm^2$ ，单产 $3\ 600.0\ kg \cdot hm^{-2}$ ，增产 17.1%。2006 年东峤镇田炳村一农户种植 $0.67\ m^2$ ，单产 $3\ 862.5\ kg \cdot hm^{-2}$ ，比对照泉花 10 号增产 9.1%；平海镇江堤村秦秀华种植 $0.133\ hm^2$ ，单产 $3\ 000.0\ kg \cdot hm^{-2}$ ；秀屿区现代农业示范场种植 $0.133\ hm^2$ ，单产 $4\ 200.0\ kg \cdot hm^{-2}$ 。2007 年 8 月 1 日，莆田市科技局组织专家进行现场测产结果，在莆田市农业科学研究所水田该品种单产高达 $5\ 156.3\ kg \cdot hm^{-2}$ ，比对照泉花 10 号增产 36.13%；在东峤旱地单产 $5\ 115.0\ kg \cdot hm^{-2}$ ，比对照泉花 10 号增产 8.77%。

1.3 稳产性表现

福建省区试结果表明，莆花 1 号 2006 年荚果产量变异系数 CV 在 10 个参试品种中最小，回归系数 0.98，表现稳产性好。2007 年变异数 CV 在 10 个参试品种中较小，回归系数 0.9495，表现稳产性好（表 1）。

表 1 2006、2007 年福建省春花生区试参试品种荚果产量丰产性、稳产性分析

Table 1 Analysis of high and stable pod yield of Puhua 1 in regional trial in Fujian, 2006 and 2007

年份	品种	平均产量 ($kg \cdot hm^{-2}$)	效应	方差	CV (%)	回归系数	综合评价
2006	莆花 1 号	3599.4	-0.01	0.02	2.76	0.98	较好
	泉花 10 号(CK)	3501.6	-0.14	0.11	6.97	1.02	一般
2007	莆花 1 号	4248.9	0.06	0.07	4.60	0.95	较好
	泉花 10 号(CK)	3968.6	-0.32	0.05	4.27	1.06	较差

1.4 抗性表现

2006 年和 2007 年经福建省农业科学院植物保护研究所人工接种抗青枯病鉴定，莆花 1 号分别表现中感和中抗青枯病，综合表现中感青枯病。2 年省区域试验综合表现，该品种抗叶斑病（2.5 级），抗锈病（2.1 级）。抗旱性较强，抗倒性中上，耐涝性中等。

1.5 品质表现

据福建省粮油中心检验站和福建省农业科学院中心实验室检测，莆花 1 号粗脂肪含量 51.01%，蛋白质 27.8%，油酸含量 45.7%，亚油酸含量

34.3%，O/L 值为 1.31，油亚比高，耐储性好。

1.6 特征特性

对莆花 1 号整个生育期的追踪观察及生理性状指标测定表明^[4]，该品种具有较强的种子活力，田间出苗率高；开花较集中，且花量多集中在前期，有效花率高，成针率、成果率、饱果率高；田间植株长势较旺，其株高、分枝数、根瘤数、主茎叶片数等均明显高于泉花 10 号；光合性能强，各生育阶段的叶面积指数（LAI）和净同化率（NAR）值均较高，干物质积累多等高产特征特性。

该品种属珍珠豆型，株型直立紧凑，植株适

中, 主茎高46~53 cm, 侧枝长51~57 cm, 总分枝数6~8条, 结果枝数5~8条, 叶片宽椭圆型、浓绿色、中大。结荚性强, 单株结荚14~18个, 饱果率80%左右, 百果重159~169 g, 百仁重60~69 g, 出仁率70%左右。春植全生育期120~130 d, 秋植105~115 d。

2 高产优化栽培数学模型建立

为寻求莆花1号新品种高产优化栽培技术, 根据目前福建省花生生产上存在的种植密度过大、氮肥量难以控制、忽视施用钾钙肥等突出问题, 在莆田市秀屿区现代农业示范场旱地进行了花生栽培试验。通过莆花1号种植密度与氮、磷、钾、钙施用量对产量的影响及其优化栽培的研究, 建立旱地花生高产优化栽培数学模型, 旨在为该优良品种大面积推广应用, 充分挖掘其产量潜能提供参考数据。

2.1 试验设计与实施

供试品种为莆花1号。2007、2008年3~8月

表2 试验因子水平及编码
Table 2 Levels and codes of experimental factors

因素	Δi	-2	-1	0	1	2
X_1 基本苗($\times 10^4 \cdot hm^{-2}$)	3.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0
X_2 纯N($kg \cdot hm^{-2}$)	30.0	90.0	120.0	150.0	180.0	210.0
$X_3P_2O_5$ ($kg \cdot hm^{-2}$)	30.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0
X_4K_2O ($kg \cdot hm^{-2}$)	30.0	120.0	150.0	180.0	210.0	240.0
X_5CaO ($kg \cdot hm^{-2}$)	15.0	30.0	45.0	60.0	75.0	90.0

2.2 模型的建立与检验

试验结构矩阵及荚果产量列于表3, 应用DPS(Dada Processing System)数据处理软件进行微机统计^[6], 得出莆花1号产量(Y)与基本苗(X_1)、纯氮量(X_2)、 P_2O_5 量(X_3)、 K_2O 量(X_4)和 CaO 量(X_5)5因素间的回归模型为:

$$Y = 5207.030130 - 57.68130X_1 + 50.73120X_2 - 65.69370X_3 - 26.19375X_4 - 158.05620X_5 - 151.41135X_1^2 - 145.78635X_2^2 - 164.66760X_3^2 - 122.85510X_4^2 - 70.80510X_5^2 + 43.15320X_1X_2 + 76.02195X_1X_3 + 112.69695X_1X_4 - 67.17195X_1X_5 + 68.72820X_2X_3 - 5.44695X_2X_4 - 9.74070X_2X_5 - 75.14070X_3X_4 + 10.49070X_3X_5 - 107.03445X_4X_5$$

对此回归方程进行方差分析与显著性检验结果, 失拟检验结果 $F_1 = 4.93 < F_{0.05} = 4.95$, 不显

著, 说明所建模型与实际情况拟合较好, 无失拟因子存在。回归方程检验结果, $F_2 = 10.22 > F_{0.01} = 9.55$, 达显著水平, 说明此方程有效。由于方程与实际拟合较好, 直接用该方程进行优化分析。

采用二次通用旋转组合设计^[5], 即以基本苗(X_1)、纯氮量(X_2)、 P_2O_5 量(X_3)、 K_2O 量(X_4)和 CaO 量(X_5)5因素为决策变量, 以荚果产量为目标函数, 因子设计水平见表2。氮肥为含N46%的尿素, 磷肥为含15%的磷酸二胺(含N42%), 钾肥为含 K_2O 60%的氯化钾, 钙肥为含 CaO 35%的石膏。设计参数为 $N = 32$, $M_c = 16$, $M_r = 10$, $M_o = 10$, $r = 2$, 试验共设32个小区, 小区面积 $13.34 m^2$, 2次重复。

2.3 数学模型的解析

2.3.1 因子的主效应分析 回归设计中各因素处理均经无量纲线性编码代换, 偏回归系数已经标准化, 其绝对值大小直接反映变量(X)对产量(Y)作用的程度。从回归模型中的一次项偏回归系数 b 绝对值大小判断, $b_5(-158.56) > b_3(-65.69) > b_1(-57.68) > b_2(50.73) > b_4(-26.19)$, 即 $CaO > P_2O_5 > 基本苗 > 纯N > K_2O$ 。可见, 钙和磷是决定莆花1号品种产量的主要因素。因此, 生产中应特别注意钙肥和磷肥的施用, 提高结实率, 增加饱满度, 才能取得高产(图1)。

表3 试验结构矩阵及产量结果
Table 3 Experimental matrix and peanut yield

编号	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	编号	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
1	1	1	1	1	1	4210.7	17	2	0	0	0	0	5082.9
2	1	1	1	-1	-1	4633.8	18	-2	0	0	0	0	4498.4
3	1	1	-1	1	-1	4626.0	19	0	2	0	0	0	5017.2
4	1	1	-1	-1	1	4096.1	20	0	-2	0	0	0	4582.7
5	1	-1	1	1	-1	4627.4	21	0	0	2	0	0	4373.4
6	1	-1	1	-1	1	4276.5	22	0	0	-2	0	0	5016.0
7	1	-1	-1	1	1	4139.7	23	0	0	0	2	0	4893.5
8	1	-1	-1	-1	-1	4169.1	24	0	0	0	-2	0	4685.6
9	-1	1	1	1	-1	4420.4	25	0	0	0	0	2	4362.3
10	-1	1	1	-1	1	4982.4	26	0	0	0	0	-2	5260.5
11	-1	1	-1	1	1	4664.7	27	0	0	0	0	0	4955.6
12	-1	1	-1	-1	-1	4674.5	28	0	0	0	0	0	4954.7
13	-1	-1	1	1	1	4421.6	29	0	0	0	0	0	5110.2
14	-1	-1	1	-1	-1	4642.5	30	0	0	0	0	0	5218.5
15	-1	-1	-1	1	-1	4829.1	31	0	0	0	0	0	5181.3
16	-1	-1	-1	-1	1	5065.8	32	0	0	0	0	0	5102.0

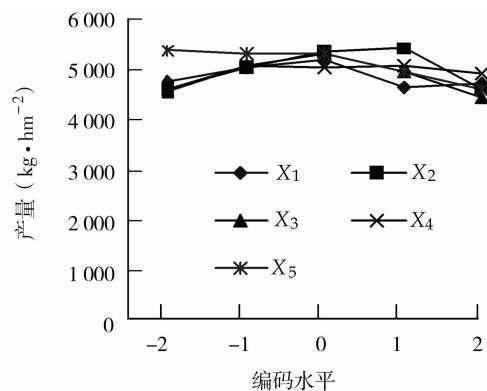


图1 单项栽培因子效应比较
Fig. 1 Effects of 5 culture factors

2.3.2 双因子效应分析 产量函数模型还表明, $X_1 X_3$ 、 $X_1 X_4$ 、 $X_3 X_4$ 、 $X_4 X_5$ 间存在显著的互作效应, 可见, 菊花1号栽培中应关注基本苗与磷、钾肥用量及钾肥与磷、钙肥的比例关系。

(1) 基本苗与施磷量对产量的互作效应 基本苗(X_1)与施磷量(X_3)交互作用子模型为:

$$Y = 5207.030130 - 57.68130X_1 - 65.69370X_3 + 76.02195X_1X_3 - 151.41135X_1^2 - 164.66760X_3^2$$

在 $-2 \leq X \leq 2$ 水平范围内, 低密度(X_1)、低施磷量(X_3)时, 随着两因素水平的增加, 产量也逐渐增加; 当施磷量少时, 只有适当增加基本苗数, 才能获较高的产量; 施磷量较多时($X_3 > 0$),

可适当减少基本苗数, 适当争取增加分枝数、荚果数和百果重, 也能达到较高的产量。

(2) 基本苗与施钾量对产量的互作效应 基本苗(X_1)与施钾量(X_4)交互作用子模型为:

$$Y = 5207.030130 - 57.68130X_1 - 26.19375X_4 + 112.69695X_1X_4 - 151.41135X_1^2 - 122.85510X_4^2$$

当施钾量较少($X_4 < 0$)时, 随着基本苗增加, 施钾量的增加, 产量逐渐提高; 随着施钾量增加($X_4 > 0$), 基本苗增加, 产量反而呈下降趋势。可见, 在花生高产栽培中, 在一定范围内, 增加基本苗, 必须相应地增加钾肥施入量, 使花生生长健壮, 荚果饱满, 才能获得高额的产量。

(3) 施磷量与施钾量对产量的交互效应 施磷量(X_3)与施钾量(X_4)交互作用子模型为:

$$Y = 5207.030130 - 65.69370X_3 - 26.19375X_4 - 75.14070X_3X_4 - 164.66760X_3^2 - 122.85510X_4^2$$

当施钾量较少($X_4 < 0$)时, 随着施磷量、施钾量的增加, 产量逐渐提高; 随着施钾量增加($X_4 > 0$), 增加施磷量, 产量反而呈下降趋势。说明在旱地花生高产栽培中, 在一定范围内, 增加施磷量必须相应地增加钾肥施入量, 才能获得高产。

(4) 施钾量与施钙量对产量交互效应 施钾量(X_4)与施钙量(X_5)交互作用子模型为:

$$Y = 5207.030130 - 26.19375X_4 - 158.05620X_5$$

$$-107.03445X_4X_5 - 22.85510X_4^2 - 70.80510X_5^2$$

在 $-2 \leq X \leq 2$ 水平范围内, 在施钾量、施钙量都较少 ($X_4, X_5 < 0$) 时, 随着施钾量、施钙量的增加, 产量逐渐增加; 当施钾量、施钙量较多 ($X_4, X_5 > 0$) 时, 随着施钾量、施钙量的增多, 产量反而逐渐下降。可见, 只有在一定施钾量条件下, 增加施钙量, 才有明显的增产作用。

2.4 莆花1号的产量潜力

在 $-2 \leq X \leq 2$ 水平范围内, 在微机上应用所建的模型对本试验共575个方案进行理论寻优, 得出最高产量为 $5487.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 农艺措施决策变量为 $X_1=0, X_2=0, X_3=0, X_4=1, X_5=-2$, 即基本苗30.0万株·hm⁻²、纯氮150.0 kg·hm⁻²、磷90.0 kg·hm⁻²、钾210.0 kg·hm⁻²、钙30.0 kg·hm⁻²。目前莆花1号在旱地红黄壤生产上, 春季一般产量为 $3750 \sim 4500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 如在肥力、灌溉条件较好的情况下, 该品种产量还可明显提高, 至今已出现过小区测算产量高达 $5460.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的产量纪录(福建明溪, 2007年)。因

此, 莆花1号品种产量潜力还很大, 通过改进栽培措施, 如增施磷肥和钙肥、合理密植、适施氮肥等可有效地提高该品种产量。

2.5 模型的优化

在实际生产中, 优化的因素组合如固定在某一个具体取值时, 田间操作较难, 可行性不强, 需要研究出一定的农艺措施优化区间, 以便灵活处理, 以达到期望的产量目标。因此, 只有在一定变化范围内可能获得某一目标产量的栽培措施组合, 更具有实用价值。通过微机上模拟寻优(表4), 求得莆花1号荚果产量达 $4500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上, 其决策变量的农艺措施是: 基本苗 $29.850 \sim 30.360$ 万·hm⁻², 适宜施氮量 $147.660 \sim 152.340$ kg·hm⁻², 适宜施磷量 $78.750 \sim 83.280$ kg·hm⁻², 适宜施钾量 $173.370 \sim 192.150$ kg·hm⁻², 适宜施钙量 $47.325 \sim 49.980$ kg·hm⁻²。因此, 在花生生产上要因地制宜, 根据莆花1号品种特性, 采取综合的农艺措施, 方能发挥该品种的增产潜力。

表4 莆花1号产量在 $4500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的综合农艺措施

Table 4 Agronomic measures for Phuahua 1 to yield more than $4500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$

编码值	X_1 (基本苗)		X_2 (N)		X_3 (P ₂ O ₅)		X_4 (K ₂ O)		X_5 (CaO)	
	次数	频率	次数	频率	次数	频率	次数	频率	次数	频率
-2	37	0.0609	28	0.0460	58	0.1003	26	0.0487	182	0.3043
-1	150	0.2743	155	0.2583	177	0.3060	119	0.2002	183	0.3228
0	198	0.3309	213	0.3670	201	0.3809	166	0.2991	141	0.2365
1	138	0.2491	155	0.2737	108	0.2026	157	0.2730	70	0.1217
2	48	0.0784	27	0.0470	3	0.0052	90	0.1892	12	0.0217
平均值 X	0.0350		0.0000		-0.3044		0.3130		-0.7961	
标准差 SD	0.0410		0.0410		0.0390		0.0470		0.0409	
95%置信区间	-0.050~0.120		-0.078~0.078		-0.375~-0.224		-0.221~0.405		-0.845~-0.668	
农艺措施	29.850~30.360 万·hm ⁻²		147.660~152.340 kg·hm ⁻²		78.750~83.280 kg·hm ⁻²		173.370~192.150 kg·hm ⁻²		47.325~49.980 kg·hm ⁻²	

2.6 模型验证

2010年在莆田市秀屿区现代农业示范场旱地进行模型验证试验。7月26日, 莆田市科技局组织有关专家进行现场测产结果, 莆花1号“优化栽培”荚果湿产 $9333.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 比“传统习惯栽培”增产26.2%。说明花生高产优化栽培措施与产量关系模型具有先进性和可行性。

3 讨论与结论

许多学者把花生油的亚油酸含量或油酸/亚油

酸(O/L比率)看做油质稳定性及花生制品耐贮藏性的指标, O/L比率低是制约我国花生出口和国际贸易竞争力的主要因素^[7-8]。随着食品加工业的发展和花生消费结构的改变, 花生大多用作食品, 耐贮性问题越来越显得突出。花生食品的货架寿命短, 不耐贮藏, 影响了商业价值。因此, 国内对花生耐贮性亦提出较高的要求。研究表明, 花生的品质除了品种本身特性以外, 还与栽培条件紧密相关^[9-23]。

我国南方花生因缺钙导致空荚是生产上的普遍

现象^[7]。花生是喜钙作物，需钙量大，仅次于氮、钾，居第3位。与同等产量水平的其他作物相比，约为大豆的2倍，玉米的3倍，水稻的5倍，小麦的7倍。钙促进花生对N、P、Mg的吸收，而抑制K的吸收。花生发育所需要的钙素营养，主要依靠荚果本身自土壤和肥料中吸收。花生不同生育期对钙的吸收量以结荚期最多，开花期次之，幼苗期和饱果期较少^[21]。钙对花生荚果和种子发育十分重要，荚果缺钙时，果小仁秕，种子发育受阻，果壳肥厚，种子败育或形成秕瘦的“空果”；有时种子虽然外观正常，但胚芽坏死，成为“黑胚芽”；缺钙还会导致果壳组织疏松，容易造成“烂果”^[7-22]。施钙可明显增加花生荚果和籽仁产量，其增产原因主要是增加了单株结果数和出仁率、提高了果重。花生施用钙肥不仅可以提高蛋白质和脂肪含量，而且可以改善花生蛋白质和脂肪组分，提高花生营养品质和延长花生制品的货架寿命^[22]。

合理施肥是提高作物产量和改善品质的有效途径^[21]。在莆田旱地种植花生，各项栽培措施对产量影响大小依次是施钙量、施磷量、基本苗、施氮量和施钾量。因此，在莆花1号推广应用中应特别重视钙肥的施用，并配合施好磷量和氮量，同时做到合理密植。本研究结果与孙中瑞、稻永醇二^[14-18]等的报道相吻合。磷充足时，可以促进花生根系发育，有利于幼苗健壮和新生器官的形成。适量增施磷肥提高了花生总生物产量，并通过提高单株有效结果数和荚果饱满度提高单产^[23]。

参考文献：

- [1] 陈永水. 福建花生育种现状与技术路线探讨 [J]. 福建农业科技, 2001, (S): 30-32.
- [2] 黄金堂, 陈海玲, 李清华, 等. 莆田市花生生产优势及发展对策 [J]. 江西农业学报, 2007, 19 (9): 134-135.
- [3] 赵朝武. 福建省花生产业现状及发展思路研究 [D]. 福建农林大学, 2007.
- [4] 陈海玲, 黄金堂, 李清华, 等. 花生新品种莆花1号生育特性研究 [J]. 花生学报, 2009, (2): 25-29.
- [5] 丁希泉. 农业应用回归设计 [M]. 长春: 吉林科技出版社, 1986.
- [6] 唐启义, 冯明光. DPS数据处理系统—实验设计、统计分析及数据挖掘 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [7] 郑奕雄. 南方花生生产技术学 [M]. 广州: 中山大学出版社, 2009.
- [8] 万书波. 花生优质安全增效栽培理论与技术 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.
- [9] 黄金堂, 陈海玲, 李清华, 等. 栽培措施对南方水田花生产量及效益的影响 [J]. 中国油料作物学报, 2010, 32 (2): 295-299.
- [10] 姚君平, 梁裕元, 杨新道. 高产花生氮磷钾配比及适宜用量的研究 [J]. 山东农业科学, 1990, (1): 11-14.
- [11] 梁茂东. 花生平衡施用氮磷钾肥试验初报 [J]. 福建农业科技, 2007, (6): 67-68.
- [12] 程惠娟. 赤沙土花生平衡施肥技术研究 [J]. 福建农业科技, 2000, (1): 7-8.
- [13] 李玉鉴. 花生氮肥用量和钾镁交互作用试验初报 [J]. 泉州农业科技, 1997, 23 (3): 23-24.
- [14] 孙中瑞. 钙在花生施肥中的地位 [J]. 花生科技, 1980, (2): 33-36.
- [15] 稻永醇二. 钙素对花生种子成熟的影响-I 荚果发育及其成分 [J]. 油料作物, 1984, (4): 39-41.
- [16] 王玲芳. 花生施用钙肥经济效益分析 [J]. 福建农业科技, 2007, (3): 53-54.
- [17] 周恩生. 不同施钙水平对花生空秕率及产量影响的研究 [J]. 福建农业科技, 2001, (增刊): 105-106.
- [18] 吴运晶, 周恩生. 钙镁硫配方肥防治花生空秕试验初报 [J]. 福建农业科技, 2007, (4): 60-61.
- [19] 李娟. 植物钾、钙、镁素营养的研究进展 [J]. 福建农业科技, 2007, 25 (1): 39-41.
- [20] 周录英, 李向东, 王丽丽. 氮、磷、钾、钙肥不同用量对花生光合性能及产量影响品质的影响 [J]. 花生学报, 2006, 35 (2): 11-16.
- [21] 万书波. 中国花生栽培学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003.
- [22] 李向东, 周录英, 王丽丽, 等. 钙肥不同用量对花生生理特性及产量品质的影响 [C] //第五届全国花生学术研讨会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [23] 徐亮, 王月福, 程曦, 等. 施磷对花生根系生长发育和产量的影响 [J]. 花生学报, 2009, 38 (2): 32-35.

(责任编辑: 柯文辉)