

赵方华,姜 波. 加工番茄的施肥模型[J]. 江苏农业科学,2015,43(6):147-149.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.06.048

# 加工番茄的施肥模型

赵方华,姜 波

(新疆大学电气工程学院,新疆乌鲁木齐 830047)

**摘要:**在土壤条件一定的情况下,获得加工番茄最大产量下的合理施肥量,为加工番茄种植提供施肥模型和施肥量确定方法,采用传统的肥料效应函数法模型和本研究提出的基于 BP 神经网络的施肥模型 2 种方法,对氮磷钾施肥配比和最大产量下的关系进行分析与研究。结果表明,BP 神经网络施肥模型下的施肥方案优于传统的肥料效应函数施肥模型方案。由此可见,BP 神经网络方法建立的施肥模型,在解决土壤养分含量、施肥量、最终产量三者之间复杂非线性关系上具有优势,同时由于它考虑了土壤养分含量,所得的施肥方案更加准确、合理。

**关键词:**加工番茄;“3414”;肥料效应函数;BP 神经网络;施肥模型

**中图分类号:**S641.206 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2015)06-0147-03

全球种植加工番茄的区域主要集中在地中海沿岸、美国加州河谷和以新疆为代表的中国西部地区。新疆已成为世界重要的加工番茄种植与加工基地之一,其番茄产量位居世界前三,番茄酱出口量约占全球贸易总量的 1/4<sup>[1]</sup>。然而,在加工番茄产业链发展过程中,要做到现代化栽培管理、均衡生产、提高产业整体效益水平,建立科学的平衡施肥体系是关键要素之一<sup>[2]</sup>。王新等提出了最佳施氮量对加工番茄作物的影响<sup>[3]</sup>;张国红等提出了不同施肥水平下对番茄品质的影响<sup>[4]</sup>;何传龙等提出了减量施肥对番茄产量的影响<sup>[5]</sup>。目前,针对加工番茄在最大产量下最佳氮磷钾施肥配比关系研究未见报道;而对于传统的肥料效应函数施肥模型,由于没有考虑土壤养分含量因素,并且它的三元二次多项式进行施肥量拟合时经常遭到失败而表现出较明显的局限性。以新疆天山北坡的 T9 种质加工番茄为研究对象,提出了一种基于 BP

神经网络的施肥模型建模方法,以氮磷钾 3 种元素的土壤养分含量、施用量共 6 项指标作为输入层,加工番茄产量作为输出层进行训练,得到氮磷钾施肥配比和最大产量的关系,以期能在土壤条件一定的情况下对加工番茄施肥进行有效指导。

## 1 材料与与方法

### 1.1 试验材料

为确定施肥量对加工番茄产量的影响,应先进行土壤固有养分含量对产量影响的试验,试验于 2012 年在新疆天山北坡某加工番茄主产区试验田中进行。番茄品种采用新疆某加工番茄生产企业旗下种业公司提供的 T9 种质材料。试验地块土质为地势平坦、排水良好、土层深厚的壤土土质。

### 1.2 试验方法

2011 年 11 月联合整地机整地后 3 d 深松起垄,2012 年 4 月初扶垄。试验采用双行铺膜栽种模式,沟心距 150 cm,沟深 20 cm,垄背宽 100~110 cm。2012 年 4 月 13 日开始人工移栽,移栽深度 10 cm 左右,以掩埋下端子叶节为准,深栽后及时补水,提高成活率,株距 22 cm,保苗 30 180 株/hm<sup>2</sup>,灌溉方式为河水滴灌,水泵功率 45 kW,扬程 50 m,额定流量 306 m<sup>3</sup>/h。试验前为保证科学严谨性,充分证明土壤养分含量对产量的作业,应先得出不同试验点的土壤养分含量及基

收稿日期:2014-06-25

基金项目:国家自然科学基金(编号:61064005)。

作者简介:赵方华(1988—),男,河南商丘人,硕士研究生,研究方向为智能控制与系统开发。Tel:(0991)8592280;E-mail:258994041@qq.com。

通信作者:姜 波,教授,研究方向为智能控制与系统开发。E-mail:jiangbo@xju.edu.cn。

[13] Long S P, Baker N R, Rains C A. Analyzing the responses of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation to long-term elevation of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration[J]. *Vegetatio*, 1993, 104: 33-45.

[14] Farquhar G D, von Caemmerer S, Berry J A. Models of photosynthesis[J]. *Plant Physiology*, 2001, 125: 42-45.

[15] Long S P, Bernacchi C J. Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2003, 392(54): 2393-2402.

[16] 何秀丽. 大田牡丹光合特性的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2005.

[17] 石颜通, 张秀新, 薛璟祺, 等. 四个催花牡丹品种复壮栽培后光合特性比较[J]. 华北农学报, 2013, 28(增刊1): 172-176.

[18] 刘晓青, 苏家乐, 李 畅. 高山杜鹃品种光合特性比较[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(5): 1132-1136.

[19] 蒋高明, 常 杰, 高玉葆, 等. 植物生理生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 65-66.

[20] Ichikawa K, Miyake C, Iwano M, et al. Ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit translation is regulated in a small subunit-independent manner in the expanded leaves of tobacco[J]. *Plant and Cell Physiology*, 2008, 49(2): 214-225.

[21] Figueroa M E, Fernández-Baco L, Luque T, et al. Chlorophyll fluorescence, stress and survival in populations of mediterranean grassland species[J]. *Journal of Vegetation Science*, 1997, 8(6): 881-888.

[22] Maxwell K, Johnson G N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2000, 51(345): 659-668.

基础地力产量(表 1),并对其进行分析。

表 1 加工番茄各试验点的土壤养分含量及对应的空白区产量				
地块编号	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	空白区产量 (t/hm <sup>2</sup> )
1	44.0	10.4	120.0	40.65
2	63.0	12.6	210.5	60.45
3	74.9	5.8	281.0	46.20
4	45.4	6.1	174.0	39.00
5	55.0	3.0	197.0	43.05
6	42.0	4.2	241.0	47.10
平均值	54.05	7.02	203.92	46.08

试验采用“3414”方案(表 2)。“3414”是指 3 个因素(氮、磷、钾)4 个水平(2 水平为当地最佳施肥量,0 水平为不施肥情况,1 水平=2 水平×0.5,3 水平=2 水平×1.5)、14 个处理<sup>[6]</sup>。根据该番茄产区种植经验,当氮、磷、钾肥具体用量分别为 300、105、75 kg/hm<sup>2</sup> 时最适合加工番茄生长。

表 2 加工番茄各试验点的“3414”肥料试验					
处理编号	水平 (氮、磷、钾)	施氮量 (kg/hm <sup>2</sup> )	施磷量 (kg/hm <sup>2</sup> )	施钾量 (kg/hm <sup>2</sup> )	产量 (t/hm <sup>2</sup> )
1	0,0,0	0	0	0	40.65
2	0,2,2	0	105.0	75.0	51.60
3	1,2,2	150	105.0	75.0	58.20
4	2,0,2	300	0	75.0	48.15
5	2,1,2	300	52.5	75.0	56.40
6	2,2,2	300	105.0	75.0	62.55
7	2,3,2	300	157.5	75.0	60.15
8	2,2,0	300	105.0	0	51.45
9	2,2,1	300	105.0	37.5	59.40
10	2,2,3	300	105.0	112.5	59.25
11	3,2,2	450	105.0	75.0	59.10
12	1,1,2	150	52.5	75.0	52.80
13	2,1,1	300	52.5	37.5	53.10
14	1,2,1	150	105.0	37.5	54.90

1.3 统计分析

通过统计软件对土壤氮、磷、钾含量分别与空白区产量进行相关性分析,并对“3414”试验数据进行三元二次回归分析,建立肥料的三元二次效应方程。

2 结果与分析

2.1 基础地力产量分析

通过统计软件对土壤养分含量与空白区产量进行相关性分析<sup>[7-8]</sup>,氮、磷、钾含量与产量相关系数分别为 0.465 3、0.542 6、0.390 6,说明加工番茄产量和土壤氮、磷、钾养分含量具有一定程度的相关性。

2.2 肥料效应函数法模型分析

肥料效应函数法模型<sup>[9]</sup>即依据氮、磷、钾 3 因素效应通过“3414 田间试验设计与数据分析管理系统”进行三元二次回归分析,建立肥料的三元二次效应方程,其原方程为:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_1^2 + b_3x_2 + b_4x_2^2 + b_5x_3 + b_6x_3^2 + b_7x_1x_2 + b_8x_1x_3 + b_9x_2x_3 \quad (1)$$

式中:y 为加工番茄产量; $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  为相应的氮磷钾肥施用量; $b_0 \sim b_9$  为所求的待定系数。

分别将表 2 中的氮磷钾施用量及相应产量通过测土配方数据管理系统进行三元二次肥料效应模型拟合,通过对数据的拟合可求得模拟施用量和产量之间数量关系的数学模型,即施肥效应函数模型。该数学模型为:

$$y = 40.4715 + 0.7245x_1 - 0.021x_1^2 + 0.7425x_2 - 0.078x_2^2 + 1.896x_3 - 0.3405x_3^2 + 0.024x_1x_2 \quad (2)$$

方差分析结果表明, $F = 21.242186 > F_{0.05} = 0.004973516$ ,说明加工番茄产量与施肥量之间有显著的回归关系;回归统计结果表明,复相关系数为 0.988 2,标准误差值为 0.099 531,说明试验的氮磷钾施用量与产量高度相关,模型拟合效果好。然而,基础地力产量分析结果表明,土壤氮、磷、钾含量与产量具有一定的相关性,该模型中的三元二次多项式并未包含土壤养分含量,因此与实际情况相比可能会产生一定的误差,况且传统的三元二次多项式进行施肥量拟合时会经常遭到失败。

2.3 基于 BP 神经网络的施肥模型分析

2.3.1 BP 神经网络 误差反向传播法即 BP 算法(error back propagaton)最初由 Paul 在他的博士论文中提出,但是没有引起注意,Rumelhart 等再次提出了 BP 算法,对长期低迷的人工神经网络增加了极大的活力,BP 算法从此得到广泛应用,由于 BP 算法影响巨大,人们习惯上把采用 BP 算法训练的前馈神经网络称作 BP 神经网络。BP 神经网络包括输入层、中间层(隐含层)、输出层。相邻的 2 层神经元之间完全连接,即其中一层的每个神经元与另一层的每个神经元之间都存在连接权,但是隔层之间不存在直接连接。1 个单个隐含层的 BP 神经网络能够逼近任何的非线性映射,可以在不了解输入或输出变量间关系的前提下完成非线性建模,所以应用十分广泛。

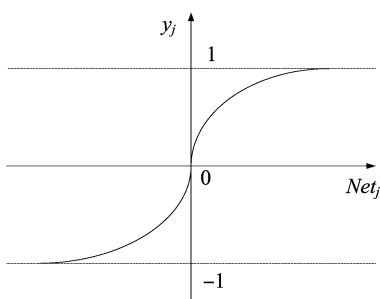
2.3.2 BP 神经网络施肥模型训练过程 在 BP 神经网络施肥模型中,隐含层神经元的传递函数为 S 形正切函数  $\text{tansig}(Net_j) = 1 - 2 / 1 + e^{-Net_j}$  (图 1-a),输出层神经元的传递函数为线性函数  $\text{purelin}(Net_j) = Net_j$  (图 1-b)。其中, $Net_j = \sum_{i=1}^n w_{ij}x_i - \theta_i$ 。为尽量减少训练集和测试集样本的相关性,随机抽取 1、2、4、5 号试验点的数据作为训练集(共 56 个样本),3、6 号的数据作为测试集(共 28 个样本)。神经网络模型训练前须要对原始数据进行归一化处理,即统一变换到 [0,1] 范围内。在归一化前还须要采用特征提取技术完成对原始数据的预处理,以剔除可能存在的异常点。

2.3.3 BP 神经网络施肥模型预测 根据 BP 神经网络结构,提出了基于 BP 神经网络的施肥模型结构图(图 2-a)。

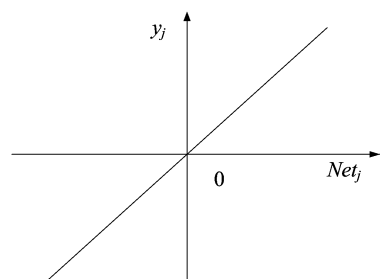
在施肥模型中,BP 神经网络的输入层有 6 个神经元,分别为土壤氮、磷、钾养分含量  $S_N$ 、 $S_P$ 、 $S_K$  和氮、磷、钾肥料施用量  $F_N$ 、 $F_P$ 、 $F_K$ ;输出层有 1 个神经元,为加工番茄实际产量 Y;隐含层有 11 个神经元。拟合残差图(图 1-b)和试验点 1 在肥料效应函数模型和神经网络模型下的施肥量、产量(表 3)数据表明,基于 BP 神经网络的施肥模型可行性较高。

3 结论与讨论

肥料效应函数法由三元二次方程进行描述,使用简单,但是该方程仅考虑了施氮量、施磷量、施钾量和产量的关系,未

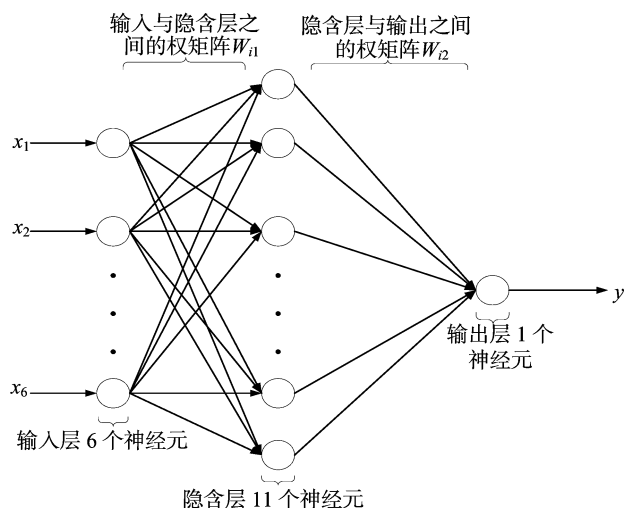


$y_j = \text{tansig}(Net_j)$   
a. S 形正切函数曲线

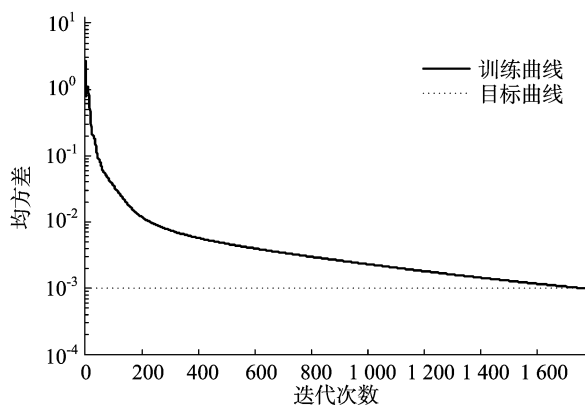


$y_j = \text{purelin}(Net_j)$   
b. purelin 函数曲线

图1 加工番茄的人工神经网络激励函数



a. 施肥模型网络结构



最佳迭代数为 1 769 次  
b. 施肥模型训练拟合残差

图2 加工番茄的 BP 神经网络施肥模型及其训练拟合残差情况

表 3 加工番茄不同模型下的施肥量、产量

施肥方案	施氮量 (kg/hm <sup>2</sup> )	施磷量 (kg/hm <sup>2</sup> )	施钾量 (kg/hm <sup>2</sup> )	最大产量 (t/hm <sup>2</sup> )
肥料效应函数法模型	390	144.75	97.35	60.30
神经网络模型	292.35	108.00	70.65	62.70

考虑土壤养分的固有含量。由于番茄产量和土壤养分含量、施肥量以及其他影响因素存在复杂的非线性关系,而神经网络可以很好地解决非线性问题,结果也更接近实际情况,因此神经网络可以很好地用于施肥决策中。考虑到以上问题,提出了以土壤养分含量、施肥量作为输入层,产量作为输出层的 BP 神经网络的施肥模型。

采用 BP 神经网络方法建立施肥模型,一方面它考虑了土壤养分含量,另一方面又可很好地解决非线性问题。通过表 3 可知,与传统的土壤养分函数法模型进行效果比较,由神经网络模型方法获得的最大产量及相应的施肥量与“3414”试验中的处理 6 更接近,可以以较少的施肥量收获较大的产量。而肥料效应函数法模型与神经网络模型相比,施肥量较多,然而产量却不理想。可见,基于 BP 神经网络施肥模型可以作为一种优于肥料效应函数法模型与“3414”试验的施肥指导方法应用到加工番茄施肥中。当然,影响番茄产量的因素诸多。本研究所建立的模型尚未考虑其他因素(如灌水、气温等)对施肥方案的影响。为得到更精准的施肥方案,寻求多影响因素下的施肥模型建立方法还有待于进一步研究。本研究结果表明,在土壤养分含量一定的情况下,基于 BP 神经网络的施肥模型优于传统的肥料效应函数法模型,更具有可行性,可以对加工番茄种植提供指导。

#### 参考文献:

- [1] 陈 兵. 中国新疆番茄产业发展现状分析[J]. 新疆财经大学学报, 2011(48): 16-20.
- [2] 韩泽群, 姜 波. 加工番茄产量组合预测模型研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(3): 161-165.
- [3] 王 新, 马富裕, 刁 明, 等. 滴灌番茄临界氮浓度、氮素吸收和氮营养指数模拟[J]. 农业工程学报, 2013, 29(18): 99-108.
- [4] 张国红, 袁丽萍, 郭英华, 等. 不同施肥水平对日光温室番茄生长发育的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(增刊 2): 151-154.
- [5] 何传龙, 马友华, 于红梅, 等. 减量施肥对保护地土壤养分淋失及番茄产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 846-851.
- [6] 戴 林, 张锡洲, 李廷轩. 基于“3414”试验的川中丘陵区水稻测土配方施肥指标体系构建[J]. 中国农业科学, 2011, 44(1): 84-92.
- [7] 黄玉碧, 明道荣, 荣廷昭. 三因素随机区组试验结果的二次回归分析法[J]. 四川农业大学学报, 1997, 15(4): 6-12.
- [8] 龚 江, 石培春, 李春燕. 巧用 Excel 解决多元非线性回归分析[J]. 农业网络信息, 2011(1): 46-48.
- [9] 何 琳, 姜翼来, 戴继光, 等. 肥料效应函数法获得测土配方施肥参数的研究[J]. 农业科技与装备, 2009(6): 11-13.
- [10] 金妙光. 基于精准农业预测中若干问题的研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.