

Effect of NPK on Growth of “Pink Lemonade” Blueberry

Tao He¹, Li Zhang¹, Qingfeng Li^{1*}, Guimei Tang¹, Yang Liu¹, Zhilong Yi¹, Heying Zhu², Juan Liu¹

¹Hunan Horticultural Research Institute, Changsha Hunan

²Hunan Xingcheng Mingyue Ecological Agriculture Technology Development Co., Ltd., Changsha Hunan
Email: *lqf16888@126.com

Received: Sep. 24th, 2019; accepted: Oct. 9th, 2019; published: Oct. 16th, 2019

Abstract

The effects of nitrogen, phosphorus and potassium on the growth and development traits of blueberry were studied by substrate and fertilizer, in order to develop a more fertilizer-saving and efficient matrix nutrition formula. Path analysis showed that there was a significant positive path relationship between matrix phosphorus, fertilizer phosphorus and survival rate. Regression analysis showed that the optimum nitrogen application rate, phosphorus application rate and potassium application rate were 4.0871 g, 4.5587 g and 5.0499 g, respectively.

Keywords

Blueberry, Matrix, Nitrogen, Phosphorus, Potassium

氮磷钾对蓝莓“红粉佳人”生长的影响

何涛¹, 张力¹, 李青峰^{1*}, 唐桂梅¹, 刘洋¹, 易志龙¹, 朱和英², 刘娟¹

¹湖南省园艺研究所, 湖南 长沙

²湖南省星城明月生态农业科技发展有限公司, 湖南 长沙

Email: *lqf16888@126.com

收稿日期: 2019年9月24日; 录用日期: 2019年10月9日; 发布日期: 2019年10月16日

摘要

采用基质与肥料进行蓝莓栽培试验, 研究氮磷钾对蓝莓生长发育性状的影响, 以研发出更加节肥、高效的基质营养配方。通径分析表明, 基质磷(通径系数0.344)、肥料磷(通径系数0.529)与成活率呈极显著

*通讯作者。

文章引用: 何涛, 张力, 李青峰, 唐桂梅, 刘洋, 易志龙, 朱和英, 刘娟. 氮磷钾对蓝莓“红粉佳人”生长的影响[J]. 农业科学, 2019, 9(10): 853-862. DOI: 10.12677/hjas.2019.910121

正的通径关系。回归分析表明,影响单株叶片数的最佳施氮量为4.0871 g,最佳施磷量为4.5587 g,最佳施钾量为5.0499 g。

关键词

蓝莓, 基质, 氮, 磷, 钾

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

蓝莓(Blueberry)又称越桔或蓝浆果,是杜鹃花科(Ericaceae)越桔属(Vaccinium)多年生小浆果,常绿灌木,是世界五大健康食品之一,被称为“黄金浆果”、“超级水果”、“世界第三代水果”等[1] [2] [3]。施肥是保障果树增产稳产最重要的农艺措施之一。土壤有机质可以改善土壤环境,增强土壤透气性,促进植物根系伸长发育,防止水土流失是决定蓝莓植株长势的一个重要因素[4]。土壤有机质含量不能低于3% [5],否则会使土壤的透气性降低,影响蓝莓植株对矿质元素的吸收,生长发育不良。土壤中施加肥料可以促进蓝莓生长使果实饱满丰产果实含糖量升高,明显促进蓝莓叶片的光合作用[6]。

蓝莓栽培技术研究得到科研和生产人员的高度重视[7],史苏湘[8]经过多年试验研究,从苗床准备、插条剪取、基质、生根促进物质、扦插时间、扦插后管理等方面总结了蓝莓“红粉佳人”绿枝扦插高效生产育苗技术,张妍妍[9]经过育苗容器、光照强度和空气湿度等工厂化育苗配套关键技术的优化,筛选出最佳育苗容器、最佳光照、最佳空气湿度。深入研究蓝莓的栽培条件,如何更好地栽培蓝莓是现阶段蓝莓种植产业所关注的问题。因此,为了系统研究蓝莓“红粉佳人”营养特征,本试验进行了氮、磷、钾对蓝莓“红粉佳人”生长的影响研究,以研发出更加节肥、高效的基质营养配方,为蓝莓的高效栽培提供依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

试验材料选取蓝莓品种“红粉佳人”,基质与肥料营养成份见表1。试验容器:为防止水肥流失,试验采用作者发明的六边形第二代黄金水位栽培容器进行,专利授权号:ZL201420541865.4,其主要特征就是以黄金水位栽培理论为指导,将试验容器植物的灌排水孔设计在花盆高度从上往下的0.618位置[10],并在该平面位置设有打孔隔板。

Table 1. Nutrient composition of matrix and fertilizer

表1. 基质与肥料营养成份表

基质与肥料		总氮(%)	总磷(%)	总钾(%)	总养分(%)	pH	水分%
基质	育苗基质	0.84	0.25	1.18	2.27	5.74	26.86
	松树皮	0.42	0.01	0.63	1.06	6.47	50.49
肥料	生物肥	2.08	2.32	2.63	7.03	6.80	2.15
	牛粪	1.29	1.24	1.92	4.45	7.60	33.85

注:育苗基质:自配,由珍珠岩、菌渣、谷壳等废弃物组成;松树皮来自湖南省张家界市;生物有机肥来自湖南浩博生物科技有限公司生产;牛粪来自湖南省畜牧兽医研究所。

2.2. 试验方法

蓝莓移植前牛粪和生物有机肥(肥料氮磷钾)放入花盆隔板上,育苗基质和松树皮(基质氮磷钾)放入牛粪和生物有机肥上面。试验在湖南省园艺研究所大棚中进行。所有样品肥料和基质 pH、基质水分、氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁检测化验由湖南省土壤肥料研究所根据相关项目国家标准进行。用意大利 HANNAHI99121 便携式土壤酸度计测试基质 pH 值。用便携式 EC 测定计直接测试花盆基质下部储水层溶液 EC 和 PPM 值。

试验数据根据徐向宏何明珠主编《试验设计与 Design Expert Spss 应用》[11]和张琪等“通径分析在 Excel 和 SPSS 中的实现[12]”一文中介绍的方法采用 SPSS15.0 软件和 Excel 进行。

3. 结果与分析

3.1. 氮磷钾对蓝莓生长发育检测指标的通径分析

3.1.1. 氮磷钾对蓝莓单株叶片 Y_1 的影响

通径分析表明(表 2): 本试验基质氮和肥料氮与单株叶片数呈极显著负的通径关系。基质氮增加 1 g, 单株叶片数增加 0.222 片, 肥料氮增加 1 g, 单株叶片数减少 0.622 片。肥料磷与单株叶片呈极显著负的通径关系。肥料磷增加 1 g, 单株叶片减少 0.625 片。基质磷与单株叶片呈正的通径关系, 基质磷增加 1 g, 单株叶片增加 0.234 片。说明磷肥在蓝莓“红粉佳人”栽培中应该作为基肥与基质一起混合使用。基质钾与单株叶片呈极显著正的通径关系。基质钾增加 1 g, 单株叶片增加 0.234 片。肥料钾与单株叶片呈极显著负的通径关系。肥料钾增加 1 g, 单株叶片减少 0.625 片。

Table 2. Path analysis of influence of N, P, K on the number of leaves per plant ($R^2 = 0.443$)

表 2. 氮磷钾对单株叶片数影响的通径分析($R^2 = 0.443$)

Variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	185.721	20.270		9.162	0.000	
氮	基质氮	5.712E-03	0.002	0.222	2.863	0.005
	肥料氮	-51.678	6.449	-0.622	-8.013	0.000
(Constant)	192.845	18.782		10.268	0.000	
磷	基质磷	6.074	2.005	0.234	3.030	0.003
	肥料磷	-46.345	5.740	-0.625	-8.074	0.000
(Constant)	176.460	21.954		8.038	0.000	
钾	基质钾	1.651	0.545	0.234	3.030	0.003
	肥料钾	-40.883	5.063	-0.625	-8.074	0.000

3.1.2. 氮磷钾对蓝莓苗高的影响

通径分析表明(表 3): 本试验肥料氮与苗高呈极显著负的通径关系。肥料氮增加 1 g, 苗高减少 0.505 cm。基质氮与苗高通径关系不显著。基质磷与苗高通径关系不显著。肥料磷与苗高呈极显著负的通径关系。肥料磷增加 1 g, 苗高减少 0.505 cm。基质钾与苗高通径关系不显著。肥料钾与苗高呈极显著负的通径关系。肥料钾增加 1 g, 苗高减少 0.505 cm。

Table 3. Path analysis of influence of N, P, K on seedling height of blueberry ($R^2 = 0.277$)**表 3.** 氮磷钾对蓝莓“红粉佳人”苗高影响的通径分析($R^2 = 0.277$)

Variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	77.123	6.561		11.755	0.000	
氮	基质氮	0.386	0.228	0.150	1.695	0.093
	肥料氮	-11.117	1.941	-0.505	-5.729	0.000
(Constant)	79.662	5.693		13.993	0.000	
磷	基质磷	1.030	0.608	0.150	1.695	0.093
	肥料磷	-9.967	1.740	-0.505	-5.729	0.000
(Constant)	76.883	6.654		11.554	0.000	
钾	基质钾	0.280	0.165	0.150	1.695	0.093
	肥料钾	-8.793	1.535	-0.505	-5.729	0.000

3.1.3. 氮磷钾对蓝莓叶长的影响

通径分析表明(表 4): 本试验肥料氮与叶长呈极显著负的通径关系。肥料氮增加 1 g, 叶长减少 0.603 cm。基质氮与叶长负的通径关系不显著。基质磷与叶长关系不显著。肥料磷与叶长呈极显著负的通径关系。肥料磷增加 1 g, 叶长减少 0.603 cm。基质钾与叶长通径关系不显著。肥料钾与叶长呈极显著负的通径关系。肥料钾增加 1 g, 叶长减少 0.603 cm。

3.1.4. 氮磷钾对蓝莓叶宽的影响

通径分析表明(表 5): 本试验肥料氮与叶宽呈极显著负的通径关系。肥料氮增加 1 g, 叶宽减少 0.573 cm。基质氮与叶宽负的通径关系不显著。基质磷与叶宽关系不显著。肥料磷与叶宽呈极显著负的通径关系。肥料磷增加 1 g, 叶宽减少 0.573 cm。基质钾与叶宽通径关系不显著。肥料钾与叶宽呈极显著负的通径关系。肥料钾增加 1 g, 叶宽减少 0.573 cm。

Table 4. Path analysis of the influence of N, P, K on the leaf length of blueberry ($R^2 = 0.277$)**表 4.** 氮磷钾对蓝莓“红粉佳人”叶长影响的通径分析($R^2 = 0.379$)

Variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	7.429	0.578		12.859	0.000	
氮	基质氮	-2.844E-02	0.020	-0.116	-1.420	0.159
	肥料氮	-1.261	0.171	-0.603	-7.380	0.000
(Constant)	7.242	0.501		14.446	0.000	
磷	基质磷	-7.596E-02	0.054	-0.116	-1.420	0.159
	肥料磷	-1.131	0.153	-0.603	-7.380	0.000
(Constant)	7.447	0.586		12.709	0.000	
钾	基质钾	-2.064E-02	0.015	-0.116	-1.420	0.159
	肥料钾	-0.997	0.135	-0.603	-7.380	0.000

Table 5. Path analysis of influence of NPK on blade width ($R^2 = 0.345$)**表 5.** 氮磷钾对叶宽影响的途径分析($R^2 = 0.345$)

Variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	3.037	0.251		12.093	0.000	
氮	基质氮	-1.303E-02	0.009	-0.126	-1.496	0.138
	肥料氮	-0.507	0.074	-0.573	-6.829	0.000
(Constant)	2.951	0.218		13.542	0.000	
磷	基质磷	-3.480E-02	0.023	-0.126	-1.496	0.138
	肥料磷	-0.455	0.067	-0.573	-6.829	0.000
(Constant)	3.045	0.255		11.955	0.000	
钾	基质钾	-9.457E-03	0.006	-0.126	-1.496	0.138
	肥料钾	-0.401	0.059	-0.573	-6.829	0.000

3.1.5. 氮磷钾对蓝莓分枝数的影响

途径分析表明(表 6): 本试验肥料氮与分枝数呈极显著负的途径关系。肥料氮增加 1 g, 分枝数减少 0.335 个。基质氮与分枝数负的途径关系不显著。基质磷与分枝数关系不显著。肥料磷与分枝数呈极显著负的途径关系。肥料磷增加 1 g, 分枝数减少 0.335 个。基质钾与分枝数途径关系不显著。肥料钾与分枝数呈极显著负的途径关系。肥料钾增加 1 g, 分枝数减少 0.335 个。

Table 6. Path analysis of influence of N, P, K on branch number of blueberry ($R^2 = 0.124$)**表 6.** 氮磷钾对分枝数影响的途径分析($R^2 = 0.124$)

Variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	6.815	0.692		9.850	0.000	
氮	基质氮	-2.615E-02	0.024	-0.106	-1.090	0.279
	肥料氮	-0.707	0.205	-0.335	-3.456	0.001
(Constant)	6.643	0.600		11.064	0.000	
磷	基质磷	-6.984E-02	0.064	-0.106	-1.090	0.279
	肥料磷	-0.634	0.183	-0.335	-3.456	0.001
(Constant)	6.831	0.702		9.734	0.000	
钾	基质钾	-1.898E-02	0.017	-0.106	-1.090	0.279
	肥料钾	-0.559	0.162	-0.335	-3.456	0.001

3.1.6. 氮磷钾对蓝莓新梢数的影响

途径分析表明(表 7): 本试验肥料氮与新梢数呈极显著负的途径关系。肥料氮增加 1 g, 新梢数减少

4.959 个。基质氮与新梢数负的途径关系不显著。基质磷与新梢数关系不显著。肥料磷与新梢数呈极显著负的途径关系。肥料磷增加 1 g, 新梢数减少 0.455 个。基质钾与新梢数途径关系不显著。肥料钾与新梢数呈极显著负的途径关系。肥料钾增加 1 g, 新梢数减少 0.455 个。

Table 7. Path analysis of the influence of N, P, K on the number of new shoots of blueberry ($R^2 = 0.216$)

表 7. 氮磷钾对新梢数影响的途径分析($R^2 = 0.216$)

Variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	22.854	2.402		9.514	0.000	
氮	基质氮	-8.030E-02	0.083	-0.089	-0.964	0.338
	肥料氮	-3.524	0.711	-0.455	-4.959	0.000
(Constant)	22.325	2.084		10.710	0.000	
磷	基质磷	-0.214	0.222	-0.089	-0.964	0.338
	肥料磷	-3.159	0.637	-0.455	-4.959	0.000
(Constant)	22.904	2.436		9.401	0.000	
钾	基质钾	-5.827E-02	0.060	-0.089	-0.964	0.338
	肥料钾	-2.787	0.562	-0.455	-4.959	0.000

3.1.7. 氮磷钾对蓝莓新梢长的影响

途径分析表明(表 8): 本试验基质氮和肥料氮与新梢长呈极显著负的途径关系。基质氮增加 1 g, 新梢长减少 0.275 cm, 肥料氮增加 1 g, 新梢长减少 0.439 cm。基质磷、肥料磷与新梢长呈极显著负的途径关系。肥料磷增加 1 g, 新梢长降低 0.439 cm, 其基质磷增加 1 g, 新梢长降低 0.275 cm。基质钾、肥料钾与新梢长呈极显著负的途径关系。基质钾增加 1 g, 新梢长减少 0.275 cm。肥料钾增加 1 g, 新梢长减少 0.439 cm。

Table 8. Path analysis of the influence of N, P, K on the new shoot length of blueberry ($R^2 = 0.270$)

表 8. 氮磷钾对新梢长影响的途径分析($R^2 = 0.270$)

Variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	36.043	3.310		10.889	0.000	
氮	基质氮	-0.357	0.115	-0.275	-3.109	0.002
	肥料氮	-4.853	0.979	-0.439	-4.957	0.000
(Constant)	33.694	2.872		11.731	0.000	
磷	基质磷	-0.953	0.307	-0.275	-3.109	0.002
	肥料磷	-4.351	0.878	-0.439	-4.957	0.000
(Constant)	36.265	3.357		10.802	0.000	
钾	基质钾	-0.259	0.083	-0.275	-3.109	0.002
	肥料钾	-3.838	0.774	-0.439	-4.957	0.000

3.1.8. 氮磷钾对蓝莓茎粗的影响

通径分析表明(表 9): 本试验肥料氮与茎粗呈极显著负的通径关系。肥料氮增加 1 g, 茎粗减少 6.963 mm。基质氮与新梢数负的通径关系不显著。基质磷与茎粗关系不显著。肥料磷与新梢数呈极显著负的通径关系。肥料磷增加 1 g, 茎粗减少 0.585 cm。基质钾与茎粗通径关系不显著。肥料钾与茎粗呈极显著负的通径关系。基质钾增加 1 g, 新梢长减少 0.585 mm。

Table 9. Diameter analysis of influence of N, P, K on stem diameter of blueberry ($R^2 = 0.343$)

表 9. 氮磷钾对蓝莓“红粉佳人”茎粗影响的通径分析($R^2 = 0.343$)

Variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	0.623	0.042		14.767	0.000	
氮	基质氮	3.686E-05	0.001	0.002	0.025	0.980
	肥料氮	-8.694E-02	0.012	-0.585	-6.963	0.000
(Constant)	0.624	0.037		17.025	0.000	
磷	基质磷	9.843E-05	0.004	0.002	0.025	0.980
	肥料磷	-7.795E-02	0.011	-0.585	-6.963	0.000
(Constant)	0.623	0.043		14.559	0.000	
钾	基质钾	2.675E-05	0.001	0.002	0.025	0.980
	肥料钾	-6.876E-02	0.010	-0.585	-6.963	0.000

3.1.9. 氮磷钾对蓝莓成活率的影响

通径分析表明(表 10): 本试验肥料氮和基质氮均与成活率呈极显著负的通径关系。肥料氮增加 1 g, 成活率减少 0.529%。基质氮增加 1 g, 成活率减少 0.344%。基质磷、肥料磷与成活率呈极显著正的通径关系。肥料磷增加 1 g, 成活率增加 0.529%。基质磷增加 1 g, 成活率增加 0.344%。基质钾、肥料钾与成活率呈极显著负的通径关系。基质钾增加 1 g, 成活率减少 0.344%。肥料钾增加 1 g, 成活率减少 0.529%。

Table 10. Path analysis of influence of N, P, K on survival rate of blueberry ($R^2 = 0.401$)

表 10. 氮磷钾对蓝莓“红粉佳人”成活率影响的通径分析($R^2 = 0.401$)

Variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	128.861	8.410		15.322	0.000	
氮	基质氮	-1.249	0.292	-0.344	-4.283	0.000
	肥料氮	-16.385	2.488	-0.529	-6.587	0.000
(Constant)	-0.206	0.073		-2.828	0.006	
磷	基质磷	3.336E-02	0.008	0.344	4.283	0.000
	肥料磷	0.147	0.022	0.529	6.587	0.000
(Constant)	129.638	8.530		15.198	0.000	
钾	基质钾	-0.906	0.212	-0.344	-4.283	0.000
	肥料钾	-12.958	1.967	-0.529	-6.587	0.000

3.2. 氮磷钾对蓝莓生长发育检测指标的回归分析

3.2.1. 总氮、总磷、总钾对蓝莓生长发育检测指标的回归分析

回归分析表明(表 11), 单株叶片数 Y_1 、苗高 Y_2 、叶长 Y_3 、叶宽 Y_4 、分枝数 Y_5 、新梢数 Y_6 、新梢长 Y_7 、茎粗 Y_8 、成活率 Y_9 与总氮 X_1 、总磷 X_2 、总钾 X_3 有极显著回归关系。

对方程求导, 令一阶导数等于 0, 得到 Y 最大时的极值 X : ①影响单株叶片数 Y_1 的最佳总氮临界点为 $X_1 = 22.1766$, 最佳总磷临界点 $X_2 = 7.2066$ g, 最佳总钾临界点 $X_3 = 31.1469$ g。②影响苗高 Y_2 最佳总氮临界点 $X_1 = 21.8846$ g, 最佳总磷临界点 $X_2 = 7.0705$ g, 最佳总钾临界点 $X_3 = 30.7539$ g。③影响叶长 Y_3 最佳总氮临界点 $X_1 = 20.8372$ g, 最佳总磷临界点 $X_2 = 5.7533$ g, 最佳总钾临界点 $X_3 = 37.2043$ g。④影响叶宽 Y_4 最佳总氮临界点 $X_1 = 20.8511$ g, 最佳总磷临界点 $X_2 = 4.4610$ g, 最佳总钾临界点 $X_3 = 29.6067$ g。⑤影响分枝数 Y_5 最佳总氮临界点 $X_1 = 21.0928$ g, 最佳总磷临界点 $X_2 = 6.3012$ g, 最佳总钾临界点 $X_3 = 40.8120$ g。⑥影响新梢数 Y_6 最佳总氮临界点 $X_1 = 21.1204$ g, 最佳总磷临界点 $X_2 = 6.2378$ g, 最佳总钾临界点 $X_3 = 29.7891$ g。⑦影响新梢长 Y_7 最佳总氮临界点 $X_1 = 19.7165$ g, 最佳总磷临界点 $X_2 = 4.4661$ g, 最佳总钾临界点 $X_3 = 28.0791$ g。⑧影响茎粗 Y_8 最佳总氮临界点 $X_1 = 21.5000$ g, 最佳总磷临界点 $X_2 = 6.4848$ g, 最佳总钾临界点 $X_3 = 30.4375$ g。⑨影响成活率 Y_9 最佳总氮临界点 $X_1 = 20.0444$ g, 最佳总磷临界点 $X_2 = 4.9811$ g, 最佳总钾临界点 $X_3 = 28.3915$ g。

Table 11. Regression analysis of total nitrogen, total phosphorus and total potassium on growth and development indicators of blueberry (Sig. $f < 0.001$)

表 11. 总氮、总磷、总钾对蓝莓生长发育检测指标的回归分析(Sig. $f < 0.001$)

生长发育检测指标	影响因子		
	总氮 X_1	总磷 X_2	总钾 X_3
单株叶片 Y_1	$-342.04 + 60.8437X_1 - 1.3718X_1^2$	$29.5226 + 44.3569X_2 - 3.0775X_2^2$	$49.1623X_3 - 413.31 - 0.7892X_3^2$
苗高 Y_2	$-82.160 + 19.6609X_1 - 0.4494X_1^2$	$35.4118 + 14.4550X_2 - 1.0222X_2^2$	$-105.13 + 15.8936X_3 - 0.2584X_3^2$
叶长 Y_3	$-4.0546 + 1.2544X_1 - 0.0301X_1^2$	$3.7819 + 0.7882X_2 - 0.0685X_2^2$	$-5.5735 + 1.0194X_3 - 0.0137X_3^2$
叶宽 Y_4	$-1.8887 + 0.5463X_1 - 0.0131X_1^2$	$3.0767 - 0.9484X_2 + 0.1063X_2^2$	$-2.5507 + 0.4441X_3 - 0.0075X_3^2$
分枝数 Y_5	$-4.2320 + 1.3415X_1 - 0.0318X_1^2$	$3.7172 + 0.9729X_2 - 0.0772X_2^2$	$-5.8016 + 1.0856X_3 - 0.0183X_3^2$
新梢数 Y_6	$-6.5713 + 4.4244X_1 - 0.1122X_1^2$	$9.9742 + 3.6516X_2 - 0.2927X_2^2$	$-28.451 + 4.3075X_3 - 0.0723X_3^2$
新梢长 Y_7	$-6.5713 + 4.4244X_1 - 0.1122X_1^2$	$21.8603 + 2.2018X_2 - 0.2465X_2^2$	$-12.164 + 3.6222X_3 - 0.0645X_3^2$
茎粗 Y_8	$-0.3996 + 0.1204X_1 - 0.0028X_1^2$	$0.3276 + 0.0856X_2 - 0.0066X_2^2$	$-0.5413 + 0.0974X_3 - 0.0016X_3^2$
成活率 Y_9	$-37.357 - 18.0360X_1 + 0.4508X_1^2$	$0.2511 - 0.1056X_2 + 0.0106X_2^2$	$-59.481 + 14.7011X_3 - 0.2589X_3^2$

3.2.2. 肥料氮、肥料磷、肥料钾对蓝莓生长发育检测指标的回归分析

回归分析表明(表 12), 单株叶片数 Y_1 、苗高 Y_2 、叶长 Y_3 、叶宽 Y_4 、分枝数 Y_5 、新梢数 Y_6 、新梢长 Y_7 、茎粗 Y_8 、成活率 Y_9 与肥料氮 X_4 、肥料磷 X_5 、肥料钾 X_6 有极显著回归关系。

Table 12. Regression analysis of fertilizer nitrogen, fertilizer phosphorus and fertilizer potassium on growth and development indicators of blueberry (Sig. $f < 0.001$)

表 12. 肥料氮、肥料磷、肥料钾对蓝莓生长发育检测指标的回归分析(Sig. $f < 0.001$)

生长发育检测指标	影响因子		
	肥料氮 X_4	肥料磷 X_5	肥料钾 X_6
单株叶片 Y_1	$248.582 - 104.82X_4 + 12.8234X_4^2$	$248.582 - 93.977X_5 + 10.3075X_5^2$	$248.582 - 82.899X_6 + 8.0208X_6^2$

Continued

苗高 Y_2	$91.0611 - 23.865X_4 + 3.0744X_4^2$	$248.582 - 93.977X_5 + 10.3075X_5^2$	$91.0611 - 18.874X_6 + 1.9230X_6^2$
叶长 Y_3	$7.4366 - 2.3096X_4 + 0.2519X_4^2$	$7.4366 - 2.0707X_5 + 0.2025X_5^2$	$7.4366 - 1.8266X_6 + 0.1576X_6^2$
叶宽 Y_4	$3.0767 - 1.0578X_4 + 0.1323X_4^2$	$1.5123 + 0.3422X_5 - 0.0296X_5^2$	$3.0767 - 0.8366X_6 + 0.0828X_6^2$
分枝数 Y_5	$5.9623 - 0.0200X_4 - 0.1658X_4^2$	$5.9623 - 0.0180X_5 - 0.0133X_5^2$	$5.9623 - 0.0158X_6 - 0.1037X_6^2$
新梢数 Y_6	$22.2907 - 5.3609X_4 + 0.4409X_4^2$	$22.2907 - 4.8063X_5 + 0.3544X_5^2$	$22.2907 - 4.2398X_6 + 0.2758X_6^2$
新梢长 Y_7	$33.4170 - 12.783X_4 + 1.9032X_4^2$	$33.4170 - 11.461X_5 + 1.5298X_5^2$	$33.4107 - 10.1100X_6 + 1.1904X_6^2$
茎粗 Y_8	$0.6354 - 0.1088X_4 + 0.0053X_4^2$	$0.6354 - 0.0976X_5 + 0.0042X_5^2$	$0.6354 - 0.0861X_6 + 0.0033X_6^2$
成活率 Y_9	$-8.66 + 23.00X_4 - 1.57X_4^2$	$0.0866 + 0.2062X_5 - 0.0126X_5^2$	$108.663 - 18.188X_6 + 0.9831X_6^2$

对方程求导, 令一阶导数等于 0, 得到 Y 最大时的极值 X: ①影响单株叶片数 Y_1 的最佳肥料氮临界点 $X_4 = 4.0871$ g。

最佳肥料磷临界点 $X_5 = 4.5587$ g, 最佳肥料钾临界点 $X_6 = 5.0499$ g。②影响苗高 Y_2 最佳肥料氮临界点 $X_4 = 3.8812$ g, 最佳肥料磷临界点 $X_5 = 4.5587$ g, 最佳肥料钾临界点 $X_6 = 4.9074$ g。③影响叶长 Y_3 最佳肥料氮临界点 $X_4 = 4.5844$ g, 最佳肥料磷临界点 $X_5 = 5.1128$ g, 最佳肥料钾临界点 $X_6 = 5.8321$ g。④影响叶宽 Y_4 最佳肥料氮临界点 $X_4 = 3.9977$ g, 最佳肥料磷临界点 $X_5 = 5.7804$ g, 最佳肥料钾临界点 $X_6 = 5.0519$ g。⑤影响分枝数 Y_5 最佳肥料氮临界点 $X_4 = 0.0603$ g, 最佳肥料磷临界点 $X_5 = 0.6767$ g, 最佳肥料钾临界点 $X_6 = 0.0762$ g。⑥影响新梢数 Y_6 最佳肥料氮临界点 $X_4 = 6.0795$ g, 最佳肥料磷临界点 $X_5 = 6.7809$ g, 最佳肥料钾临界点 $X_6 = 7.6864$ g。⑦影响新梢长 Y_7 最佳肥料氮临界点 $X_4 = 3.3583$ g, 最佳肥料磷临界点 $X_5 = 3.7459$ g, 最佳肥料钾临界点 $X_6 = 4.2465$ g。

⑧茎粗 Y_8 最佳肥料氮临界点 $X_4 = 10.2642$ g, 最佳肥料磷临界点 $X_5 = 11.6190$ g, 最佳肥料钾临界点 $X_6 = 13.0455$ g。⑨影响成活率 Y_9 最佳肥料氮临界点 $X_4 = 7.3248$ g, 最佳肥料磷临界点 $X_5 = 8.1825$ g, 最佳肥料钾临界点 $X_6 = 9.2503$ g。

4. 结论

基质氮、基质磷、基质钾与苗高、叶长、叶宽、分枝数、新梢数、茎粗通径关系不显著, 与新梢长呈极显著负的通径关系; 基质氮与单株叶片呈极显著负的通径关系; 基质磷、基质钾与单株叶片呈极显著正的通径关系; 基质磷与成活率呈极显著正的通径关系; 基质氮、基质钾与成活率呈极显著负的通径关系。肥料氮、肥料磷、肥料钾与单株叶片、苗高、叶长、叶宽、分枝数、新梢数、茎粗、新梢长呈极显著负的通径关系, 肥料氮、肥料钾与成活率呈极显著负的通径关系, 肥料磷与成活率呈极显著正的通径关系。

基金项目

2017LM03-10 湖南农业科技创新资金创新联盟项目: 农业废弃物资源利用研究与示范; 2018 湖南省农业委一化四体系三产联合项目: 高档小水果蓝莓新品种引进与示范。

参考文献

- [1] 杨红澎. 蓝莓的活性成分, 吸收代谢及其神经保护作用研究进展[J]. 卫生研究, 2010, 39(4): 525-528.
- [2] 周荧, 武玉祥, 李永霞. 液相色谱测定蓝莓叶片内源激素的方法研究[J]. 中国果树, 2018(3): 88-91.
- [3] 徐青, 周元敬, 黄筑, 等. 蓝莓花青素的提取及分离研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2016(9): 897-906.
- [4] 周晓梅, 汤珍妮, 白鹤, 等. 土壤环境对蓝莓植株生长发育的研究现状与展望[J]. 吉林师范大学学报(自然科学)

版), 2019, 2(40): 100-105.

- [5] 郝瑞. 长白山区笃斯越桔资源调查[J]. 园艺学报 1979, 6(2): 87-93.
- [6] 肖军, 杨涛, 杨镇, 等. 蓝莓菌根菌的分离与回接试验[J]. 辽宁农业科学, 2012(5): 13-16.
- [7] 张贤萍. 蓝莓组培分化苗瓶外架空生根育苗关键技术研究[J]. 安徽农学通报, 2013, 19(3): 26-28.
- [8] 史苏湘. 蓝莓绿枝扦插高效生产育苗技术[J]. 现代农业技, 2016(16): 93-94.
- [9] 张妍妍, 曹焱. 野生蓝莓工厂化育苗配套技术优化试验[J]. 农业工程, 2015, 5(4): 150-151.
- [10] 李青峰, 吴同斌, 李丽辉, 等. 植物黄金水位栽培法的特点与应用[J]. 科技成果管理与研究, 2011(10): 71-73.
- [11] 徐向宏, 何明珠. 试验设计与 Design Expert SPSS 应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [12] 张琪, 丛鹏, 彭励. 通径分析在 Excel 和 SPSS 中的实现[J]. 农业网络信息, 2007(3): 109-110, 91.