河南农业科学,2020,49(1):44-51
Journal of Henan Agricultural Sciences
doi:10.15933/j.cnki.1004-3268.2020.01.006

不同肥料配比对马铃薯品质和产量的影响

李梦露[1],陈彦云[1,2],夏皖豫[1]
(1.宁夏大学/西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地/西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室,宁夏 银川 750021;2.宁夏大学 生命科学学院,宁夏 银川 750021)

摘要:采用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计,研究不同肥料 N、P、K、B 配比对马铃薯渗透调节物质、品质、干质量和产量的影响,以期筛选出适合宁夏回族自治区马铃薯获得较高产量和品质的最佳肥料配比组合。结果表明,$N_{3(375)}P_{3(225)}K_{2(60)}B_{1(0)}$ 和 $N_{3(375)}P_{3(225)}K_{3(120)}B_{3(0.90)}$ 配比组合马铃薯块茎中的脯氨酸和可溶性糖含量最高,有利于马铃薯生长发育;$N_{2(187.5)}P_{3(225)}K_{1(0)}B_{1(0)}$、$N_{2(187.5)}P_{2(112.5)}K_{2(60)}B_{2(0.45)}$、$N_{2(187.5)}P_{1(0)}K_{2(60)}B_{3(0.90)}$ 配比组合有利于提高马铃薯的品质;$N_{2(187.5)}P_{1(0)}K_{2(60)}B_{3(0.90)}$ 配比组合最有利于马铃薯块茎干质量的累积;$N_{3(375)}P_{3(225)}K_{1(0)}B_{3(0.90)}$ 配比组合最有利于提高马铃薯产量,其中,N 对产量具有极显著影响,P 对产量具有显著影响。综合正交试验及方差分析结果,宁夏回族自治区马铃薯主产区产量、品质俱佳的最佳肥料配比组合为 $N_3P_3K_2B_3$,即 N、P、K、B 肥施用量分别为 375、225、60、0.90 kg/hm^2。

关键词:马铃薯;肥料配比;N;P;K;硼;渗透调节物质;品质;产量
中图分类号:S532;S147.3　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1004-3268(2020)01-0044-08

Effects of Different Fertilizer Ratio on Potato Quality and Yield

LI Menglu[1], CHEN Yanyun[1,2], XIA Wanyu[1]
(1. Ningxia University/Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration in Northwest China/Key Lab for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in North-Western China of Ministry of Education, Yinchuan 750021, China; 2. School of Life Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The effects of different fertilizers (N, P, K, B) ratio on potato osmotic adjustment substances contents, dry weight, quality and yield were studied by $L_9(3^4)$ orthogonal design, so as to select the fertilizer ratio to improve yield and quality of potato in Ningxia. The results showed that the combinations of $N_{3(375)}P_{3(225)}K_{2(60)}B_{1(0)}$ and $N_{3(375)}P_{3(225)}K_{3(120)}B_{3(0.90)}$ had the highest proline and soluble sugar contents in potato, which were conducive to potato growth and development; the combinations of $N_{2(187.5)}P_{3(225)}K_{1(0)}B_{1(0)}$, $N_{2(187.5)}P_{2(112.5)}K_{2(60)}B_{2(0.45)}$, $N_{2(187.5)}P_{1(0)}K_{2(60)}B_{3(0.90)}$ were beneficial to improve the quality of potato; the combination of $N_{2(187.5)}P_{1(0)}K_{2(60)}B_{3(0.90)}$ was conducive to the accumulation of dry weight; the combination of $N_{3(375)}P_{3(225)}K_{1(0)}B_{3(0.90)}$ had the highest potato yield, N had the extremely significant effect on the yield, and P had the significant effect on the yield. By comprehensive analysis, the optimal combination of fertilizer ratio was $N_3P_3K_2B_3$, namely application rates of N, P, K, B were 375, 225, 60, 0.90 kg/ha, respectively.

Key words: Potato; Fertilizer ratio; N; P; K; Boron; Osmotic adjustment substances; Quality; Yield

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)为茄科(Solanaceae)茄属(*Solanum*)1 年生草本植物,其块茎既

收稿日期:2019-08-17
基金项目:国家重点研发项目(2016YFD0401300)
作者简介:李梦露(1994-),女,宁夏吴忠人,在读硕士研究生,研究方向:干旱地区农业与植物生理。
E-mail:342960916@qq.com
通信作者:陈彦云(1965-),男,宁夏平罗人,研究员,主要从事植物资源利用与马铃薯贮藏保鲜研究。
E-mail:nxchenyy@163.com

可作为粮食又可作为蔬菜食用。我国西北地区是马铃薯的主产区之一[1],其中,宁夏回族自治区固原市西吉县素有“中国马铃薯之乡”之称,该地区利用当地得天独厚的气候条件所产马铃薯品质较优,畅销海外市场[2]。马铃薯品质的高低除受本身遗传和生理特性的影响外,还受栽培地区气候、土壤肥力等因素影响[3-6]。人们通常通过施肥用以增加土壤肥力,肥料中的大量元素 N、P、K 是马铃薯生长发育的重要元素。N 影响马铃薯从土壤中吸收养分的能力,进而影响养分的转运和马铃薯的品质;P 可增加块茎中干物质和淀粉的累积;K 可促进植物内蛋白质的合成,增加植株抗寒性。另外,微量元素对马铃薯产量和品质也有影响。研究表明,镁(Mg)肥可以提高马铃薯的产量[7-8];适量锰(Mn)肥可促进马铃薯的生长发育与抗逆性,提高产量和品质[9];适量的锌(Zn)肥可使马铃薯产量和质量有所提高,过量反而使其产质量下降[10];硼(B)肥可提高马铃薯产量和品质[11-13]。目前,关于 N、P、K 肥配比对马铃薯块茎产量、光合特性和肥料利用效率的影响研究较多[6,14-16],而不同用量 B 肥与不同用量 N、P、K 肥配施对马铃薯渗透调节物质含量和产质量的影响研究较少[17-20]。马旭凤[17]在 N、P、K 大量元素按照当地测土配方施肥建议卡进行统一施肥的基础上基施不同用量 B 肥,发现 B 肥施用量 7.5 kg/hm^2 效果最好,显著提高马铃薯产量,比不施 B 肥处理增产 22.9%;李光鹏等[18]将含 N 46.0%的尿素、含 K_2O 51.0%的硫酸钾、含 P_2O_5 14.0%的过磷酸钙混掺不同用量的 B 肥后作为底肥施入,发现 B 肥基施 19.79 kg/hm^2 可以显著提高马铃薯产量;刘福等[19]在马铃薯施用配方肥的基础上添加不同用量的 B 肥进行单因子肥效试验,发现最佳施肥量为农家肥 37 500 kg/hm^2、N 597.2 kg/hm^2、P_2O_5 239.4 kg/hm^2、K_2O 539.4 kg/hm^2、B 3.3 kg/hm^2,此时马铃薯产量较对照(B 0 kg/hm^2)提高 13.62%;王泽义等[20]采用单独追施 K 肥、单独追施 B 肥、同时追施 K 肥和 B 肥 3 种施肥方法研究其对马铃薯的增产提质效果,发现施用 K 肥 195 kg/hm^2、叶面喷施 B 肥 750 kg/hm^2 可以提高马铃薯产量和淀粉含量。综上,前人研究基本以同一水平的大量元素混掺不同水平的 B 肥研究其对马铃薯产质量的影响,关于不同配比 N、P、K、B 肥对马铃薯产质量的影响尚缺乏系统深入的研究。为此,采用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计,探讨了不同配比 N、P、K、B 肥对马铃薯渗透调节物质含量、干质量和产质量的影响,为生产中马铃薯的合理施肥提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料及试验地概况

供试马铃薯为脱毒青薯 9 号原原种,种植于宁夏回族自治区固原市西吉县吉强镇万崖村的西吉县马铃薯产业服务中心试验示范基地。该区年均气温 6.5 ℃,年均降雨量约 365 mm,是典型的雨养农业区。土壤为黄壤土,耕层土壤含有机质 13.57 g/kg、全 N 0.93 g/kg、碱解 N 56.00 mg/kg、有效 P 12.49 mg/kg、速效 K 229.65 mg/kg,pH 值 8.5。

供试仪器:UV1000 紫外分光光度计(上海天美科仪器有限公司)、DHG-9101-3S 电热恒温鼓风干燥箱(上海鸿都电子科技有限公司)、AL204 型电子天平(梅特勒-托利多仪器有限公司)、HH-4 数显恒温水浴锅(常州润华电器有限公司)、TGL-16G 高速台式离心机(上海安亭科学仪器厂)、KA-1000 低速台式离心机(上海安亭科学仪器厂)。

1.2 试验设计

播种前以 N、P、K、B 为 4 个因素,设置 3 个水平,采用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计不同肥料配比组合(表 1)。小区面积为 40.0 m^2(5 m×8 m),每小区 5 垄,于 2018 年 4 月 25 日人工挖穴点播,每垄种植 2 行马铃薯,株距 0.4 m,行距 0.5 m。采用春季覆黑膜种植。6 月中旬中耕 1 次,7 月 15 日人工拔草 1 次,7 月 28 日锄草 1 次, 10 月 14—15 日测产、收获,并将收获后的马铃薯放入贮藏窖内,温度 4 ℃,相对湿度 55%。于 2018 年 10 月 20 日随机挑选各处理马铃薯运送至实验室,保存在冷藏柜(温度 4 ℃,相对湿度 55%~65%)中,用于马铃薯相关指标的测定,以 $N_{1(0)}P_{1(0)}K_{1(0)}B_{1(0)}$ 处理为对照(CK)。

表 1 马铃薯不同肥料配比的 $L_9(3^4)$ 正交试验设计

Tab. 1 $L_9(3^4)$ orthogonal test design for different fertilizer ratio of potato kg/hm^2

水平 Level	因素 Factor			
	N 施用量 N application rate	P 施用量 P application rate	K 施用量 K application rate	B 施用量 B application rate
1	0	0	0	0
2	187.5	112.5	60	0.45
3	375	225	120	0.90

1.3 测定项目及方法

1.3.1 渗透调节物质含量 脯氨酸(Proline,Pro)含量采用酸性茚三酮法测定[21];可溶性糖(Soluble sugar,SS)含量采用硫酸-蒽酮比色法测定[21]。

1.3.2 品质指标 还原糖(Reducing sugar,RS)含量采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定[21];维生素 C

(Vitamin C,Vc)含量采用 2,6-二氯酚靛滴定法测定[21];淀粉(Starch)含量采用硫酸-蒽酮比色法测定[21];可溶性蛋白(Soluble protein,SP)含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定[21]。

1.3.3 产量及干质量 于 2018 年 10 月 14 日,选取小区中间的 2 垄马铃薯,全部挖出后称质量计产。于 2018 年 10 月 21 日,采用烘干法测定马铃薯干质量[22]。

1.4 数据处理

采用 Excel 2013 进行数据整理;采用 SPSS 24.0 统计软件进行方差分析;采用 *LSD* 法进行不同处理之间的差异显著性比较;采用 Pearson 相关系数分析各指标间的相关性;采用 Origin 9.1 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同肥料配比对马铃薯渗透调节物质含量的影响

由表 2 可知,N、P、K 和 B 对马铃薯块茎中 Pro 含量和 SS 含量均具有极显著影响。4 种因素对 Pro 含量的影响表现为 P>K>N>B;由 *R* 分析可知,可提高 Pro 含量的最佳肥料配比组合为 $N_3P_3K_2B_1$,与试验号 9 组合一致,Pro 含量为 0.081%,较 CK 显著提高 4.4 倍。4 种因素对 SS 含量的影响表现为 B>N>K>P;由 *R* 分析可知,最佳肥料配比组合为 $N_3P_3K_3B_3$。

表 2 不同肥料配比对马铃薯渗透调节物质含量的影响

Tab.2 Effect of different fertilizer ratios on contents of osmotic adjustment substances of potato

试验号 Test number	N	P	K	B	Pro 含量/% Pro content	SS 含量/% SS content
1(CK)	1	1	1	1	0.015±0.001d	5.887±0.057ef
2	1	2	2	2	0.020±0.000cd	6.330±0.060d
3	1	3	3	3	0.028±0.004bc	7.576±0.130bc
4	2	1	2	3	0.021±0.000cd	5.569±0.042f
5	2	2	3	1	0.012±0.000d	7.334±0.071c
6	2	3	1	2	0.031±0.000b	6.649±0.165d
7	3	1	3	2	0.017±0.000d	5.897±0.196e
8	3	2	1	3	0.024±0.001c	8.132±0.030a
9	3	3	2	1	0.081±0.002a	7.800±0.092b
x_{Pro1}	0.021	0.021	0.023	0.036		
x_{Pro2}	0.021	0.021	0.041	0.023		
x_{Pro3}	0.041	0.041	0.019	0.024		
R_{Pro}	0.020	0.029	0.022	0.013		
P_{Pro}	0.000	0.000	0.000	0.000		
x_{SS1}	6.598	5.785	6.890	7.008		
x_{SS2}	6.518	7.266	6.567	6.292		
x_{SS3}	7.277	7.342	6.936	7.093		
R_{SS}	0.759	0.076	0.369	0.801		
P_{SS}	0.000	0.000	0.001	0.000		

注:同列中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different small letters within a column indicate significant difference ($P<0.05$), the same below.

2.2 不同肥料配比对马铃薯品质的影响

由表 3 可知,N、P、K 和 B 对马铃薯块茎中 RS 含量的影响顺序为 B>P>N>K,其中 K 和 B 对 RS 含量具有极显著影响;由 *R* 分析可知,最佳肥料配比组合为 $N_2P_3K_1B_1$。4 种因素中的 N、P 和 B 对 Vc 含量均具有显著影响,表现为 P>N>B>K;由 *R* 分析可知,最佳肥料配比组合为 $N_2P_2K_2B_3$。N、P、K 和 B 对马铃薯块茎中 SP 含量均具有极显著影响,表现为 N>B>K>P;由 *R* 分析可知,最佳肥料配比组合为 $N_2P_1K_2B_3$,其结果与试验号 4 组合一致,SP 含量为 13.074%,较 CK 显著提高 5.96 倍。N、P、K 和 B 对马铃薯块茎中淀粉含量的影响表现为 P>N>K>B;由 *R* 分析可知,最佳肥料配比组合为 $N_2P_3K_{1,3}B_1$。

2.3 不同肥料配比对马铃薯产量和干质量的影响

由表 4 可知,N、P、K 和 B 对马铃薯产量的影响表现为 N>P>K>B,最佳肥料配比组合为 $N_3P_3K_1B_3$;由方差分析可知,N 对产量具有极显著影响,P 对产量具有显著影响(表 5)。由 *R* 分析可知,N、P、K 和 B 对马铃薯块茎干质量的影响表现为 K>N>B>P,其最佳肥料配比组合为 $N_2P_1K_2B_3$,与试验号 4 组合一致,干质量为 22.318 g/kg,与 CK 相比显著提高了 4.07%;方差分析结果表明,N 和 K 对干质量均具有极显著影响。

表 3　不同肥料配比对马铃薯品质的影响

Tab. 3　Effect of different fertilizer ratios on potato quality

试验号 Test number	N	P	K	B	RS 含量/% RS content	Vc 含量/(mg/g) Vc content	SP 含量/% SP content	淀粉含量/% Starch content
1(CK)	1	1	1	1	0.092±0.000ab	0.103±0.008d	1.878±0.075f	11.612±0.007a
2	1	2	2	2	0.069±0.007bc	0.148±0.004ab	4.917±0.060e	10.124±0.002a
3	1	3	3	3	0.062±0.000c	0.125±0.004bc	4.772±0.061e	12.316±0.001a
4	2	1	2	3	0.070±0.009bc	0.149±0.002ab	13.074±0.033a	11.180±0.006a
5	2	2	3	1	0.082±0.003b	0.157±0.003a	6.951±0.126c	13.003±0.005a
6	2	3	1	2	0.095±0.002ab	0.139±0.007b	9.525±0.123b	13.523±0.030a
7	3	1	3	2	0.087±0.003ab	0.121±0.008c	6.401±0.044d	11.204±0.008a
8	3	2	1	3	0.055±0.002c	0.162±0.002a	6.831±0.140d	11.406±0.013a
9	3	3	2	1	0.098±0.004a	0.137±0.005bc	6.033±0.490d	12.101±0.016a
x_{RS1}	0.074	0.083	0.081	0.091				
x_{RS2}	0.082	0.069	0.079	0.084				
x_{RS3}	0.080	0.085	0.077	0.062				
R_{RS}	0.008	0.016	0.004	0.028				
P_{RS}	0.134	0.671	0.001	0.000				
x_{Vc1}	0.125	0.124	0.135	0.132				
x_{Vc2}	0.148	0.156	0.145	0.136				
x_{Vc3}	0.140	0.134	0.134	0.145				
R_{Vc}	0.023	0.031	0.010	0.013				
P_{Vc}	0.000	0.000	0.065	0.022				
x_{SP1}	3.856	7.118	6.078	4.954				
x_{SP2}	9.850	6.233	8.008	6.948				
x_{SP3}	6.421	6.777	6.041	8.226				
R_{SP}	5.994	0.885	1.967	3.272				
P_{SP}	0.000	0.000	0.000	0.000				
$x_{淀粉1}$ $x_{Starch1}$	0.114	0.113	0.122	0.122				
$x_{淀粉2}$ $x_{Starch2}$	0.126	0.115	0.111	0.116				
$x_{淀粉3}$ $x_{Starch3}$	0.116	0.126	0.122	0.116				
$R_{淀粉}$ R_{Starch}	0.012	0.013	0.010	0.006				
$P_{淀粉}$ P_{Starch}	0.522	0.718	0.584	0.779				

表 4　不同肥料配比对马铃薯产量和干质量的影响

Tab. 4　Effect of different fertilizer ratios on potato yield and dry weight

试验号 Test number	N	P	K	B	产量/(kg/m^2) Yield	干质量/(g/kg) Dry weight
1(CK)	1	1	1	1	3.693±0.095e	21.446±0.012b
2	1	2	2	2	3.796±0.260de	21.575±0.141b
3	1	3	3	3	4.162±0.128d	20.570±0.060c
4	2	1	2	3	4.863±0.208c	22.318±0.145a
5	2	2	3	1	5.240±0.115bc	20.655±0.112c
6	2	3	1	2	5.328±0.087b	21.588±0.132b
7	3	1	3	2	6.051±0.146a	20.691±0.173c
8	3	2	1	3	6.460±0.116a	21.612±0.152b
9	3	3	2	1	6.235±0.162a	22.197±0.083a
$x_{产量1}$ x_{Yield1}	3.883	4.869	5.160	5.056		
$x_{产量2}$ x_{Yield2}	5.143	5.165	4.964	5.058		
$x_{产量3}$ x_{Yield3}	6.249	5.241	5.151	5.161		
$R_{产量}$ R_{Yield}	2.365	0.373	0.196	0.106		
$x_{干质量1}$ $x_{Dry\ weight1}$	21.197	21.485	21.549	21.432		
$x_{干质量2}$ $x_{Dry\ weight2}$	21.520	21.281	22.030	21.285		
$x_{干质量3}$ $x_{Dry\ weight3}$	21.500	21.452	20.639	21.500		
$R_{干质量}$ $R_{Dry\ weight}$	0.323	0.204	1.391	0.215		

表 5 不同肥料配比对马铃薯产量和干质量影响的方差分析

Tab. 5 Variance analysis of the effects of different fertilizer ratios on potato yield and dry quality

指标 Index	肥料 Fertilizer	Ⅲ类平方和 Class Ⅲ square sum	*DF*	*MS*	*F*	显著性 Significant
产量 Yield	N	40 337.722	2	20 168.861	173.502	**
	P	1 116.696	2	558.348	4.803	*
	K	350.249	2	175.124	1.506	
	B	105.047	2	52.523	0.452	
	误差 Error	2 092.427	18	116.246		
干质量 Dry weight	N	0.590	2	0.295	6.575	**
	P	0.216	2	0.108	2.411	
	K	8.987	2	4.493	100.214	**
	B	0.218	2	0.109	2.429	
	误差 Error	0.807	18	0.045		

注：**、* 分别表示在 0.01、0.05 水平影响极显著、显著。

Note: **, * indicate significant effects at the 0.01, 0.05 levels respectively.

2.4 马铃薯渗透调节物质含量、产量、品质指标间的相关性分析

由表 6 可知，马铃薯中的 Pro 含量与 SS 含量、干质量、产量均呈显著正相关，SS 含量与 Vc 含量、产量均呈显著正相关；Vc 含量与 SP 含量呈极显著正相关，与产量呈显著正相关，SP 含量与干质量呈显著正相关，其他指标之间均无显著相关性。

表 6 马铃薯渗透调节物质含量、产量、品质指标间的相关性分析

Tab. 6 Correlation analysis between osmotic adjustment substances content, quality and yield of potato

指标 Index	Pro 含量 Pro content	SS 含量 SS content	RS 含量 RS content	Vc 含量 Vc content	SP 含量 SP content	淀粉含量 Starch content	产量 Yield	干质量 Dry weight
Pro 含量 Pro content	1							
SS 含量 SS content	0.440*	1						
RS 含量 RS content	0.337	−0.247	1					
Vc 含量 Vc content	0.004	0.415*	−0.356	1				
SP 含量 SP content	−0.001	−0.193	−0.100	0.495**	1			
淀粉含量 Starch content	0.104	0.208	0.292	0.137	0.051	1		
产量 Yield	0.403*	0.446*	0.066	0.393*	0.335	0.143	1	
干质量 Dry weight	0.477*	−0.110	0.166	0.196	0.405*	−0.016	0.120	1

注：**、* 分别表示在 0.01、0.05 水平相关性极显著、显著。

Note: **, * indicate significant correlations at the 0.01, 0.05 levels respectively.

3 结论与讨论

3.1 N、P、K 和 B 对马铃薯渗透调节物质含量的影响

在逆境条件下，马铃薯会主动积累各种渗透调节物质来降低渗透势，用以适应胁迫环境，提高马铃薯的抗逆性，其中 SS 和 Pro 是常见的渗透调节物质。适量的 N、P、K 和 B 配施有利于马铃薯渗透调节物质的积累，从而有利于马铃薯应对外界环境变化。通常情况下，植物体内游离 Pro 并不多，但是在低温条件下游离 Pro 含量迅速提高[23]。植物中 Pro 合成有 2 条途径：以谷氨酸为底物和以鸟氨酸为底物，在 N 充足条件下，植物会通过鸟氨酸合成 Pro，从而提高植物的抗旱性[24]。综合不同因素分析，本研究提高 Pro 含量的最佳肥料配比组合为 $N_3P_3K_2B_1$。SS 参与渗透调节，在维持植物蛋白质稳定方面起到重要作用[25]，适量的 B 肥可以提升马铃薯块茎蔗糖合成酶活性，继而促进块茎中 SS 的合成和积累[14]。本研究结果表明，提高 SS 含量的最佳肥料配比组合为 $N_3P_3K_3B_3$，这与张涛等[26]的研究结果类似。赵永厚等[27]研究表明，甘蓝喷施 Zn+B 肥后，Vc 和 SS 含量明显提高。

3.2 N、P、K 和 B 对马铃薯品质指标的影响

RS、淀粉、Vc 和 SP 是衡量马铃薯品质好坏的常用指标[28]。RS 为马铃薯提供能量，淀粉为马铃薯储存能量，Vc 可以保护马铃薯块茎免受自由基伤害且参与多种新陈代谢过程，SP 含量的增加则可提高细胞的保水性，对马铃薯块茎中的生命物质和生物膜起到保护作用，这些指标相互影响、共同作用以提高马铃薯品质。本研究结果表明，N、P、K 和 B 能够显著提高马铃薯品质，在 $N_2P_3K_1B_1$、$N_2P_2K_2B_3$ 和 $N_2P_1K_2B_3$ 配比组合条件下，马铃薯具有较好的品

质。此外,N、P 显著影响 Vc 含量; K 显著影响 RS 含量;B 显著影响 RS 和 Vc 含量,这与前人[29-33]的研究结果类似。

3.3 N、P、K 和 B 对马铃薯产量和干质量的影响

干质量是作物产量形成的物质基础,干质量积累是物质生产的主要表现途径[34]。前人研究表明,合理的 N、P、K 和有机肥配合施用可以促进马铃薯干质量的积累,有效增加产量,最终达到增产的目的[35-36]。本研究结果表明,合理的 N、P、K 和 B 肥配比可以提高马铃薯产量和干质量,其中 $N_2P_1K_2B_3$ 是提高马铃薯块茎干质量的最优肥料配比组合,$N_3P_3K_1B_3$ 是提高马铃薯产量的最佳肥料配比组合。

3.4 马铃薯各项指标相关性分析

本研究结果表明,SS 含量与 Pro 含量具有显著正相关性,说明这 2 种渗透调节物质在维持植物体内细胞的水势平衡中均起到关键作用。干质量与 SP 含量呈显著正相关,表明干质量的积累离不开 SP 的累积,SP 的积累可以提高马铃薯的保水能力,维持细胞内的水平衡,使得干质量累积增加。产量与 SS、Vc 和 Pro 含量均呈显著正相关,表明马铃薯产量同时也受到 SS、Vc 和 Pro 含量的影响,这与石铭福[37]的研究结果类似。

综合分析,宁夏回族自治区马铃薯品质、产量提高的最佳肥料配比组合为 $N_3P_3K_2B_3$,即 N、P、K、B 肥分别为 375、225、60、0.90 kg/hm^2。

参考文献:

[1] 达存莹,岳云,贾秀苹. 甘肃省马铃薯产业发展现状及主粮化发展分析[J]. 中国农业资源与区划,2016,37(3):38-42.
DA C Y,YUE Y,JIA X P. Analysis of the development of potato production area layout and the staple food of Gansu[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning,2016,37(3):38-42.

[2] 吴迪,李晓林. 西吉马铃薯[J]. 中国民族,2012(6):117-119.
WU D,LI X L. Xiji potato[J]. Chinese Nation Journal,2012(6):117-119.

[3] 段志龙. 马铃薯高产高效施肥技术[J]. 作物杂志,2009(4):100-102.
DUAN Z L. High yield and efficient fertilization technology for potato[J]. Crops,2009(4):100-102.

[4] 段玉,妥德宝,赵沛义,等. 马铃薯施肥肥效及养分利用率的研究[J]. 中国马铃薯,2008,22(4):197-200.
DUAN Y,TUO D B,ZHAO P Y,*et al*. Study on fertilization efficiency and nutrient utilization ratio of potato[J]. Chinese Potato Journal,2008,22(4):197-200.

[5] 穆俊祥,曹兴明,弓建国,等. 氮磷钾和有机肥配合施用对马铃薯淀粉含量和产量的影响[J]. 土壤,2009,41(5):844-848.
MU J X,CAO X M,GONG J G,*et al*. Effects of combined application of N, P, K and organic fertilizers on starch content and yield of potatoes[J]. Soils,2009,41(5):844-848.

[6] 王涛,何进智,何文寿,等. 不同施肥处理对马铃薯产量和营养品质的影响[J]. 西南农业学报,2016,29(10):2416-2421.
WANG T,HE J Z,HE W S,*et al*. Effects of different fertilization treatments on yield and nutritional quality of potato[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences,2016,29(10):2416-2421.

[7] 刘林敏,徐火忠,宁建美,等. 镁对马铃薯产量和经济性状的影响[J]. 中国马铃薯,2005,19(1):28-29.
LIU L M,XU H Z,NING J M,*et al*. Effect of magnesium on potato yield and economic traits[J]. Chinese Potato Journal,2005,19(1):28-29.

[8] 闻章辉. 苏北地区马铃薯施用镁肥的效果试验[J]. 中国马铃薯,2005,19(6):350-351.
WEN Z H. Effect test of applying magnesium fertilizer to potato in northern Jiangsu[J]. Chinese Potato Journal,2005,19(6):350-351.

[9] 宋志荣. 施锰对马铃薯产量和品质的影响[J]. 中国农学通报,2005,21(3):222-223.
SONG Z R. Effects of manganese fertilizer on growth, output and quality of potatoes[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2005,21(3):222-223.

[10] 李华. 施锌对马铃薯产量和品质的影响[J]. 山西农业大学学报,1997,17(3):270-272.
LI H. Effect of zinc on the yield and quality in potato[J]. Journal of Shanxi Agricultural University,1997,17(3):270-272.

[11] 马光恕,廉华,王彦宏,等. 硼素对马铃薯淀粉合成和积累的影响[J]. 核农学报,2013,27(3):384-390.
MA G S,LIAN H,WANG Y H,*et al*. The effect of element boron on potato starch synthesis and accumulation[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences,2013,27(3):384-390.

[12] 贾景丽,周芳,赵娜,等. 硼对马铃薯生长发育及产量品质的影响[J]. 湖北农业科学,2009,48(5):1081-1083.

JIA J L,ZHOU F,ZHAO N,*et al*. Effects of boron nutrition on growth and development,yield and quality of potato[J]. Hubei Agricultural Sciences,2009,48(5):1081-1083.

[13] 李军,李玉儒,金明. 螯合稀土:硼对马铃薯块茎品质和产量作用效果[J]. 中国马铃薯,1999,13(2):22-23.
LI J,LI Y R,JING M. Chelating rare earth:The effect of boron on potato tuber quality and yield[J]. Chinese Potato Journal,1999,13(2):22-23.

[14] 刁敏,杜祥备,张胜,等. 施肥对马铃薯锰素吸收及养分利用效率的影响[J]. 江苏农业科学,2011,39(6):159-162.
DIAO M,DU X B,ZHANG S,*et al*. Effects of fertilization on manganese absorption and nutrient utilization efficiency of potato[J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2011,39(6):159-162.

[15] 于亚军,李军,贾志宽,等. 宁南半干旱区不同施肥量下马铃薯光合特性研究[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(5):68-71.
YU Y J,LI J,JIA Z K,*et al*. Photosynthetic characters of potato under different fertilizer levels in the semiarid areas of southern Ningxia[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2005,23(5):68-71.

[16] 余文畅,余贵先,陈振华,等. 不同施肥种类和水平对稻田免耕稻草全程覆盖秋马铃薯的效果[J]. 湖北农业科学,2011,50(6):1114-1116.
YU W C,YU G X,CHEN Z H,*et al*. Effects of different fertilization types and levels on rice covered rice straw in the whole process of covering autumn potatoes[J]. Hubei Agricultural Sciences,2011,50(6):1114-1116.

[17] 马旭凤. 硼肥对马铃薯产量及品质的影响[J]. 现代农业科技,2015(24):94,96.
MA X F. Effect of boron fertilizer on yield and quality of potato[J]. Modern Agricultural Sciences and Technology,2015(24):94,96.

[18] 李光鹏,程瑶. 硼肥对马铃薯产量的影响[J]. 江西农业,2016(5):13-14.
LI G P,CHENG Y. Effect of boron fertilizer on potato yield[J]. Jiangxi Agriculture,2016(5):13-14.

[19] 刘福,宋正刚,周峰,等. 硼肥在马铃薯生产上的应用效果[J]. 云南农业,2016(8):48-49.
LIU F,SONG Z G,ZHOU F,*et al*. Application effect of boron fertilizer on potato production[J]. Yunnan Agriculture,2016(8):48-49.

[20] 王泽义,卢芙玲. 钾肥、硼肥在马铃薯生产中的增产提质效应[J]. 中国农学通报,2005,21(9):294-295,317.
WANG Z Y,LU F L. Effect of using potassium fertilizer and boron fertilizer on the increase of production and heightening of qualities of potatoes[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2005,21(9):294-295,317.

[21] 高俊凤,孙群,曹翠玲,等. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
GAO J F,SUN Q,CAO C L,*et al*. Experimental guidance for plant physiology[M]. Beijing:Higher Education Press,2006.

[22] 国家标准化管理委员会. 烘干恒重法:GB/T 8858—1988[S]. 北京:中国标准出版社,1988.
Standardization Administration of the People's Republic of China. Drying method:GB/T 8858—1988[S]. Beijing:Standards Press of China,1988.

[23] 龚明,刘友良,朱培仁. 低温下稻苗叶片中蛋白质及游离氨基酸的变化[J]. 植物生理学通讯,1989(4):18-22.
GONG M,LIU Y L,ZHU P R. Changes of proteins and free amino acids in leaves of rice seedlings during chilling stress[J]. Plant Physiology Journal,1989(4):18-22.

[24] 杨虎臣. 干旱胁迫对幼苗期甜菜脯氨酸(Pro)代谢通路的影响[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
YANG H C. The effect of drought stress influence in the proline metabolism pathways of seedling period of sugar beet[D]. Harbin:Harbin Institute of Technology,2016.

[25] 赵江涛,李晓峰,李航,等. 可溶性糖在高等植物代谢调节中的生理作用[J]. 安徽农业科学,2006,34(24):6423-6425,6427.
ZHAO J T,LI X F,LI H,*et al*. Research on the role of the soluble sugar in the regulation of physiological metabolism in higher plant[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2006,34(24):6423-6425,6427.

[26] 张涛,刘世琦,孙齐,等. 硼对大蒜光合特性、产量及品质的影响[J]. 中国蔬菜,2012(2):36-40.
ZHANG T,LIU S Q,SUN Q,*et al*. Effects of boron content in nutrient solution on photosynthetic characteristics,yield and quality of garlic[J]. China Vegetables,2012(2):36-40.

[27] 赵永厚,王莲,曹培顺,等. 锌硼微肥对甘蓝产量和品质的影响[J]. 安徽农业科学,2006,34(16):4049-4050.

ZHAO Y H, WANG L, CAO P S, *et al*. Effects of zinc and boron microelement fertilizer on yield and quality of cabbage[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2006,34(16):4049-4050.

[28] 王秀康,杜常亮,邢金金,等. 基于施肥量对马铃薯块茎品质影响的主成分分析[J]. 分子植物育种,2017,15(5):2003-2008.
WANG X K, DU C L, XIN J J, *et al*. Based on potato tuber quality response to fertilizer rates: Principal component analysis [J]. Molecular Plant Breeding, 2017, 15(5):2003-2008.

[29] 王秀康,邢英英,张富仓. 膜下滴灌施肥番茄水肥供应量的优化研究[J]. 农业机械学报,2016,47(1):141-150.
WANG X K, XING Y Y, ZHANG F C. Optimal amount of irrigation and fertilization under drip fertigation for tomato[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016,47(1):141-150.

[30] 王秀康,杜常亮,邢金金,等. 基于水肥供应条件下温室番茄品质性状的主成分分析[J]. 分子植物育种,2017,15(2):698-704.
WANG X K, DU C L, XIN J J, *et al*. Effects of irrigation and fertilization on fruit quality of greenhouse tomatoes: Principal component analysis[J]. Molecular Plant Breeding,2017,15(2):698-704.

[31] 苏小娟,王平,刘淑英,等. 施肥对定西地区马铃薯养分吸收动态、产量和品质的影响[J]. 西北农业学报,2010,19(1):86-91.
SU X J, WANG P, LIU S Y, *et al*. Effect of fertilization on the nutrient uptake dynamic, yield and quality of potato in Dingxi region[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica,2010,19(1):86-91.

[32] 田种存,张洋. 微量元素硼、锌对马铃薯产量和品质的影响[J]. 广东农业科学,2013,40(7):12-13,21.
TIAN Z C, ZHANG Y. Effects of trace element boron, zinc on yield and quality of potato[J]. Guangdong Agricultural Sciences,2013,40(7):12-13,21.

[33] 杨德桦. 不同施肥量和不同施肥方式对襄阳地区马铃薯产量、养分积累规律和品质的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2012.
YANG D H. Effect of different fertilizer rates and fertilization methods on yield, nutrients accumulation and tuber quality of potato in Xiangyang[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University,2012.

[34] 焦峰,王鹏,翟瑞常. 氮肥形态对马铃薯氮素积累与分配的影响[J]. 中国土壤与肥料,2012(2):39-44.
JIAO F, WANG P, ZHAI R C. Effects of forms of nitrogen fertilizer on N accumulation and distribution of potato[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China,2012(2):39-44.

[35] 张书华,李士敏,周开芳,等. 旱地周年间套作物大面积高产、超高产集成技术应用与可持续发展技术研究[J]. 贵州农业科学,2003,31(S):3-20.
ZHANG S H, LI S M, ZHOU K F, *et al*. Study on the application of large-area high-yield, super-high-yield integrated technology and sustainable development technology for annual intercropping in the dryland[J]. Guizhou Agricultural Sciences,2003,31(S):3-20.

[36] 王国兴,徐福利,王渭玲,等. 氮磷钾及有机肥对马铃薯生长发育和干物质积累的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(3):106-111.
WANG G X, XU F L, WANG W L, *et al*. Effects of N-P-K and organic fertilizers on growth and dry matter accumulation of potato[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2013,31(3):106-111.

[37] 石铭福. 不同类型肥料追施对马铃薯生长特征、产量构成及品质的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2018.
SHI M F. Effects of topdressing different types of fertilizers on growth characteristics, yield components and quality of potato[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University,2018.