

武子茜,袁 婧,曹国璠,等.“3414”配方施肥对太子参叶片生理指标和产量的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(5):238-243.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.05.079

“3414”配方施肥对太子参叶片生理指标和产量的影响

武子茜,袁 婧,曹国璠,刘宇鹏

[贵州大学农学院/贵州省药用植物繁育与种植重点(工程)实验室,贵州贵阳 550025]

摘要:采用“3414”施肥方案,开展配方施肥对太子参不同生长期叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、硝酸还原酶的活性,叶绿素、丙二醛(MDA)、脯氨酸的含量以及产量影响的试验研究。结果表明:在3—5月中,太子参叶绿素含量、脯氨酸含量先增加后减少;SOD、CAT、硝酸还原酶的活性逐渐减弱;POD活性先减弱后增强;MDA含量逐渐增加。施用不同水平的氮磷钾对太子参的4种抗氧化酶活性(含量)的影响有的持续减弱(少),有的先减弱(少)后增强(加),须要进一步研究调整施肥水平。抗氧化酶活性只是植物适应一个方面的原因,想更加深入研究太子参,必须从多方面去考虑,例如植物的外在因素土壤、温度、湿度等都会影响太子参的氧化酶活性,植物的抗氧化酶活性和叶绿素含量是相关的。

关键词:太子参;配方施肥;叶片;生理指标;抗氧化酶;叶绿素;产量;营养调控;高产栽培

中图分类号:S567.5+30.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2015)05-0238-06

太子参为常用中药,是石竹科植物太子参[*Pseudostellaria heterophylla* (Miq.) Pax ex Pax et Hoffm.]的干燥块根。太子参是在江苏首先开始使用的新兴药材品种,为常用中药,味甘

收稿日期:2014-05-27

基金项目:国家自然科学基金(编号:31260305);贵州省科技厅中药现代化项目施中药科合专项[编号:(2010)03号];贵州省科技厅重点实验室计划(编号:黔科合计Z字[2010]4015);贵州省发展和改革委员会高技术产业化示范工程项目(编号:黔发改高技[2009]2805);贵州省科技厅创新人才团队建设项目(编号:黔科合人才团队[2010]4006)。

作者简介:武子茜(1989—),女,吉林辉南人,硕士研究生,从事作物学研究。E-mail:396778998@qq.com。

通信作者:曹国璠(1965—),男,教授,硕士生导师,从事作物栽培学和生态农业研究。E-mail:cgg8933@126.com。

子参生长及产量有较大影响^[16]。

参考文献:

- [1]陈家从.太子参食用开发研究与展望[J].中国食物与营养,2011,17(3):72-74.
- [2]陈家从.太子参食用开发的初步论证研究[J].中国医药指南,2011,9(9):7-8.
- [3]王文凯,贾 静,丁仁伟,等.太子参近年研究概况[J].中国实验方剂学杂志,2011,17(12):264-267.
- [4]左 群,李琳琪,郑桂云,等.微生物菌肥对贵州黔东南连作太子参产量的影响[J].安徽农业科学,2013,41(19):8145,8222.
- [5]马雪梅,吴朝峰,林彦铨.药用植物太子参茎尖培养及快速繁殖技术研究[J].中国农学通报,2008,24(8):126-130.
- [6]晏春耕.药用植物太子参的研究及其应用[J].现代中药研究与实践,2008,22(2):61-65.
- [7]宋丽莎,黎娇凌,肖国学,等.太子参组织培养与快繁技术[J].广东农业科学,2010,37(6):55-57.
- [8]张辰露,孙 群,叶 青.连作对丹参生长的障碍效应[J].西北

微苦,性平,具益气健脾、生津润肺之功效,用于治疗脾虚体倦、食欲不振、病后虚弱、盗汗口干等症,临床上可单独使用,或与其他中药配伍使用,或用于成方制剂^[1]。目前,关于太子参配方施肥方面的研究已有报道^[2-5],但还不够深入,韩建萍等发现,根及根茎类的中药宜配合施用氮、磷、钾^[1]。自美国学者 Jackson 1980 年提出持续农业的概念以来,国际上对配方施肥的研究已有近百年的历史^[6-7],相对而言我国的测土配方施肥研究起步较晚^[8],但也取得了不少成果,随着中药材良好农业规范(good agricultural practice,GAP)的提出,《中药材生产质量管理规范》被陆续完善,关于施肥对中药材影响的研究大量涌现。许多研究结果表明,施肥对中药材生理有重要的影响,从而会影响中药材的产质和活性成分^[9]。本研究运用“3414”试验设计,研究氮、磷、钾不同肥料配比对太子参叶绿素含量、相关酶活性以及产量的影响,分析施肥对

植物学报,2005,25(5):1029-1034.

- [9]刘红彦,王 飞,王永平,等.地黄连作障碍因素及解除措施研究[J].华北农学报,2006,21(4):131-132.
- [10]马承铸,李世东,顾真荣,等.三七连作田根腐病复合症综合治理措施与效果[J].上海农业学报,2006,22(4):63-68.
- [11]朱广军,王明道,吴宗伟,等.地黄根区土壤潜在化感物质的GC-MS分析[J].河南科学,2007,25(2):255-257.
- [12]陈 慧,郝慧荣,熊 君,等.地黄连作对根际微生物区系及土壤酶活性的影响[J].应用生态学报,2007,18(12):2755-2759.
- [13]张连学,陈长宝,王英平,等.人参忌连作研究及其解决途径[J].吉林农业大学学报,2008,30(4):481-485,491.
- [14]曹国璠,赵 凯.不同连作障碍防控技术组合对太子参主要经济性状的影响[J].江苏农业科学,2014,42(3):194-196.
- [15]冯业强,夏品华,龙 健,等.连作年限对太子参产量及品质的影响[J].贵州农业科学,2010,38(10):61-63.
- [16]黄冬寿.太子参施用生物菌肥的效果[J].农技服务,2009,26(6):36,42.

太子参生长生理的影响,探索适宜太子参生长的施肥水平和组合,以期为太子参的营养调控和高产栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区自然概况

试验地点选在贵州省贵阳市花溪区内的贵州大学教学试验农场,位于 106°27'~106°52'E、26°11'~26°34'N,花溪区年均气温 14.9℃。土壤基本理化性质:水分含量为 1.8%~2.5%,pH 值为 5.21~6.12,碱解氮含量为 15.42~38.32 mg/kg,速效磷含量为 15.66~28.65 mg/kg,速效钾含量为 58.02~180.02 mg/kg,有机质含量为 5.02~66.75 g/kg。

1.2 试验材料

太子参种源由贵州省威门药业公司提供。施用肥料为:尿素(总氮≥46.4%,贵州赤天化股份有限公司)、过磷酸钙(P₂O₅≥12%,福建省福泉市金盛化工有限责任公司)、硫酸钾(K₂SO₄≥50%,贵州赤天化股份有限公司)、有机肥(总养分含量≥4%、有机质含量≥30%、水分含量≤20%,贵州吉龙生态科技有限公司)等。试验于 2011 年 12 月至 2012 年 7 月进行,连续在贵州省威门药业公司基地种植 2 年。

1.3 试验设计

试验采用“3414”不完全正交回归设计方案,设氮(N)、磷(P)、钾(K)3 个养分因素,各因素设 4 个用量水平,共 14 个处理(表 1),各处理每个试验点设 6 个重复,即每个小区重复 6 次,小区面积为 70 cm×10 m(宽×长),垄高 20~25 cm,厢距 30 cm,株距 4 cm。具体田间试验方案见表 1。

1.4 样品采集与测定指标

本试验对样品定期采集,采用传统挖掘法取植株与根系,在太子参出苗均匀(2012 年 3 月 25 日)后每隔 15 d 取样,每小区取 5 株。(1)叶绿素含量的测定。采用 1:1 丙酮与乙醇的混合液浸提法提取,最后分别在 663、645、470 nm 下测定吸光度^[12]。(2)叶片脯氨酸含量的测定。采用磺基水杨酸法测定脯氨酸,于 520 nm 下测定吸光度^[13]。(3)叶片硝酸还原酶活性的测定。采用离体法测定硝酸还原酶活性,用磺胺及萘胺试剂显色于 520 nm 下测定吸光度^[10]。(4)叶片抗氧化酶活性^[11]的测定。超氧化物歧化酶(SOD)采用氮蓝四唑(NBT)

光还原法测定 SOD 活性,于 560 nm 下测定吸光度;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定,于 470 nm 处测定吸光度;过氧化氢酶(CAT)活性采用高锰酸钾滴定法测定;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定,于 450、532、600 nm 处比色,最后根据公式 $C_{MDA} = 6.45 \times (D_{532\text{ nm}} - D_{600\text{ nm}}) - 0.56D_{450\text{ nm}}$,得出 MDA 含量。

2 结果与分析

2.1 “3414”配方施肥对太子参叶绿素含量的影响

从图 1 可以看出,太子参叶绿素含量从 3—5 月大致呈现先增加后减少的趋势,且 3 月时最低,其中 5 月的平均含量为 8.58 mg/g,是 3 月(3.26 mg/g)的 2.6 倍。处理 1、处理 2、处理 4、处理 6、处理 7、处理 9、处理 10、处理 11 叶绿素含量随着时间的延长大致呈现出先增加后减少的趋势,4 月时叶绿素含量最高;而处理 3、处理 12、处理 14 叶绿素含量逐渐增加,5 月时含量最高。从图 1 还可以看出,不同施肥水平对太子参叶绿素含量的影响有所不同。3 月时,在不同氮肥水平(N0、N1、N2、N3,分别为处理 2、处理 3、处理 6、处理 11,下同)下,各处理间的叶绿素含量表现为 N1/N2/N3>N0(“/”代表差异不显著,下同);在不同磷肥水平(P0、P1、P2、P3,分别为处理 4、处理 5、处理 6、处理 7,下同)下,各处理间的叶绿素含量表现为 P0>P2/P3>P1;在不同钾肥水平(K0、K1、K2、K3,分别为处理 6、处理 8、处理 9、处理 10,下同)下,各处理间的叶绿素含量表现为 K2>K1>K0/K3。总的来说,处理 9 含量最高,其次为处理 4 和处理 8,处理 1、处理 13、处理 14 含量较低。4 月时,在不同氮肥水平下,各处理间的叶绿素含量表现为 N2>N3>N0/N1;在不同磷肥水平下,各处理间的叶绿素含量表现为 P2>P1/P3>P0;在不同钾肥水平下,各处理间的叶绿素含量表现为 K0/K2>K1/K3。总的来说,处理 6 和处理 9 含量较高,其次为处理 11,处理 1 含量最低。5 月时,在不同氮肥水平下,各处理间的叶绿素含量表现为 N1/N2/N3>N0;在不同磷肥水平下,各处理间的叶绿素含量表现为 P1>P2>P0/P3;在不同钾肥水平下,各处理间的叶绿素含量表现为 K2>K0/K1>K3。总的来看,处理 5、处理 9、处理 14 含量较高,其次为处理 3、处理 6、处理 8、处理 11、处理 12、处理 13,处理 1 最低。

2.2 “3414”配方施肥对太子参叶片 SOD 活性的影响

从图 2 可以看出,SOD 活性从 3—5 月大致呈逐渐减弱的趋势,到 5 月时最弱,其中 3 月的平均活性为 154.96 U/mg,是 5 月(31.45 U/mg)的 4.93 倍。处理 1、处理 2、处理 3、处理 4、处理 5、处理 7、处理 8、处理 9、处理 11、处理 12、处理 13、处理 14 的 SOD 活性大致呈现逐渐减弱的趋势,且在 3 月时最强;而处理 6、处理 10 的 SOD 活性呈先增强后减弱的趋势,且 4 月时最强。由图 2 还可以看出,不同施肥水平对太子参 SOD 活性的影响有所不同。3 月时,在不同氮肥水平下,SOD 活性从强到弱依次为 N3>N0/N1/N2;不同磷肥水平下,P0/P1/P2/P3;不同钾肥水平下,K0/K1/K2/K3。总的来说,处理 11、处理 12、处理 13、处理 14 含量较高,显著高于其他处理,其他处理间差异不显著。4 月时,不同氮肥水平下,N0/N1/N2/N3;在不同磷肥水平下,P0/P1/P2>P3;在不同钾肥水平下,K0/K1/K3>K2。总的来说,处理 2、处理 3、处理

表 1 太子参“3414”施肥方案

处理编号	处理	肥料用量(g/m ²)		
		N	P	K
1	N0P0K0	0	0	0
2	N0P2K2	0	74.96	14.99
3	N1P2K2	14.99	74.96	14.99
4	N2P0K2	29.99	0	14.99
5	N2P1K2	29.99	37.48	14.99
6	N2P2K2	29.99	74.96	14.99
7	N2P3K2	29.99	112.44	14.99
8	N2P2K0	29.99	74.96	0
9	N2P2K1	29.99	74.96	7.50
10	N2P2K3	29.99	74.96	22.49
11	N3P2K2	44.98	74.96	14.99
12	N1P1K2	14.99	37.48	14.99
13	N1P2K1	14.99	74.96	7.50
14	N2P1K1	29.99	37.48	7.50

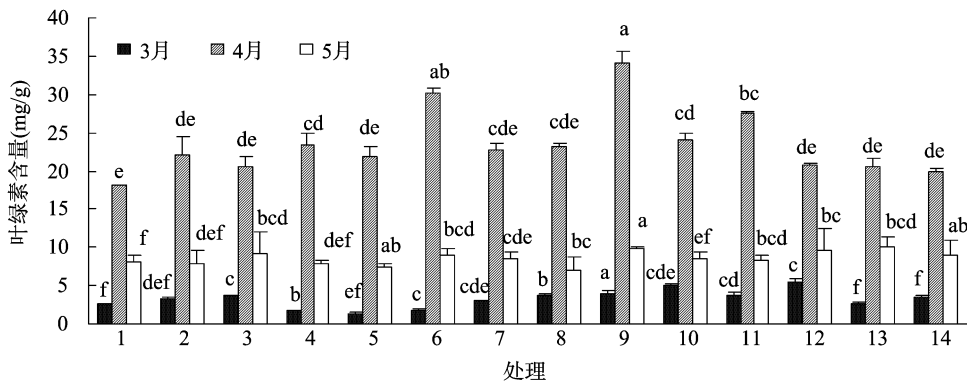


图1 配方施肥对太子参不同生长期叶绿素含量的影响

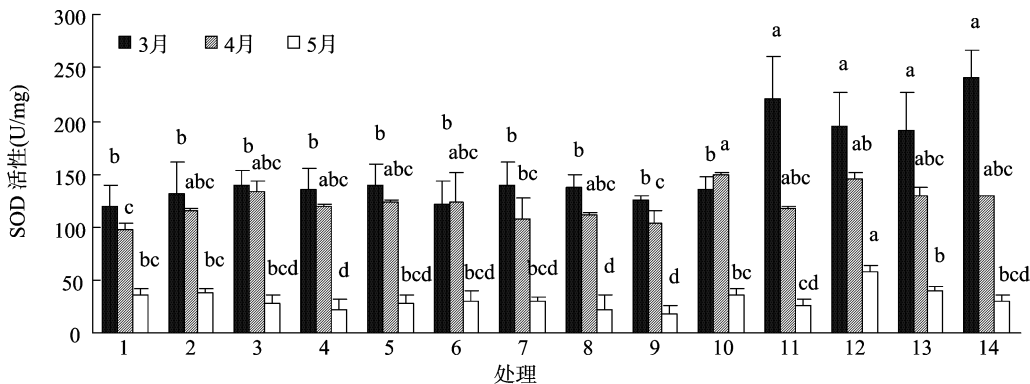


图2 配方施肥对太子参叶片 SOD 活性的影响

4、处理5、处理6、处理8、处理10、处理11、处理12、处理13、处理14较强,处理1、处理9较弱。5月时,在不同氮肥水平下, N0/N1/N2 > N3; 在不同磷肥水平下, P1/P2/P3 > P0; 在不同钾肥水平下, K0/K4 > K1/K2。总的来说,处理12最强,其次是处理1处理2、处理3、处理5、处理6、处理7、处理10、处理13、处理14,较弱的是处理4、处理8、处理9。

2.3 “3414”配方施肥对太子参叶片 POD 活性的影响

从图3可以看出,POD活性从3—5月大致呈现先减弱后增强的趋势,其中3月最强,平均为 56.68 U/(g·min),是4月[11.07 U/(g·min)]的5.12倍。处理2、处理3、处理4、处理5、处理6、处理7、处理8、处理9、处理10、处理11、处理12、处理13、处理14的POD活性大致呈现先减弱后增强的趋势,4月最弱;而处理1逐渐减弱,5月最低。从图3还可以看出,不同施肥水平对太子参POD活性的影响有所不同。3月

时,不同氮肥水平间的POD活性差异不显著;在不同磷肥水平下, P0/P1/P2 > P3; 在不同钾肥水平下, K0/K3 > K1/K2。总的来说,处理2、处理3、处理4、处理5、处理6、处理10、处理11、处理14的POD活性较强,其次是处理1、处理8、处理9,较弱的是处理7、处理12、处理13。4月时,在不同氮肥水平下, N0/N1 > N2 > N3; 在不同磷肥水平下, P3 > P2 > P1 > P0; 在不同钾肥水平下, K2 > K0/K3 > K1。总的来说,处理1、处理2、处理3、处理7、处理9的POD活性较强,其次是处理6、处理10,最弱的是处理8。5月时,在不同氮肥水平下, N0/N3 > N1 > N2; 在不同磷肥水平下, P3 > P1 > P2 > P0; 在不同钾肥水平下, K2/K3 > K0/K1。总的来说,处理2、处理7、处理11、处理12、处理13、处理14的POD活性较强,其次是处理3、处理5、处理9、处理10,最弱的是处理4。

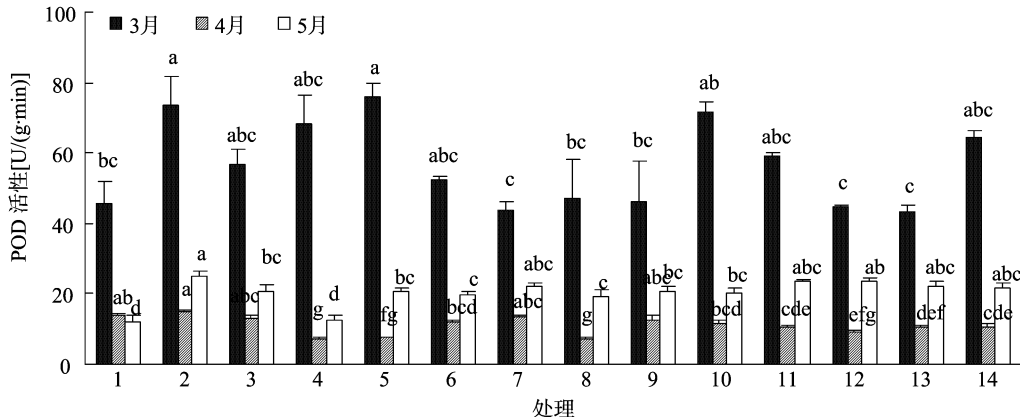


图3 配方施肥对太子参叶片 POD 活性的影响

2.4 “3414”配方施肥对太子参叶片 CAT 活性的影响

从图 4 可以看出, CAT 活性从 3—5 月大致呈逐渐减弱的趋势, 其中 3 月的 CAT 活性最强, 平均为 $155.83 \mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{min})$, 是 5 月 $[41.88 \mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{min})]$ 的 3.72 倍。处理 3、处理 4、处理 6、处理 7、处理 9 的 CAT 活性大致呈先减弱后增强的趋势, 在 4 月时最弱; 处理 1、处理 5、处理 8、处理 10、处理 11、处理 12、处理 13、处理 14 呈逐渐减弱的趋势, 在 5 月时最弱。从图 4 还可以看出, 不同施肥水平对太子参 CAT 活性的影响有所不同。3 月时, 不同氮肥水平间的 CAT 活性差异不显著; 在不同磷肥水平下, $\text{P}_1/\text{P}_2/\text{P}_3 > \text{P}_0$; 在不同钾肥水平下, $\text{K}_0/\text{K}_2/\text{K}_3 > \text{K}_1$ 。总的来说, 处理 1、处理 2、处理 3、处理 5、处

理 6、处理 7、处理 9、处理 10、处理 11、处理 12、处理 13、处理 14 的 CAT 活性较强, 其次是处理 8, 处理 4 最弱。4 月时, 在不同氮肥水平下, $\text{N}_2 > \text{N}_1 > \text{N}_3 > \text{N}_0$; 在不同磷肥水平下, $\text{P}_0/\text{P}_1/\text{P}_2 > \text{P}_3$; 在不同钾肥水平下, $\text{K}_0/\text{K}_1/\text{K}_2 > \text{K}_3$ 。总的来说, 处理 1、处理 4、处理 5、处理 6、处理 8、处理 9、处理 12、处理 13、处理 14 的 CAT 活性较强, 其次是处理 3、处理 10, 最弱的是处理 2。5 月时, 在不同氮肥水平下, $\text{N}_1/\text{N}_2 > \text{N}_0/\text{N}_3$; 在不同磷肥水平下, $\text{P}_0/\text{P}_2/\text{P}_3 > \text{P}_1$; 在不同钾肥水平下, $\text{K}_0/\text{K}_2 > \text{K}_1 > \text{K}_3$ 。总的来说, 处理 3、处理 4、处理 6、处理 7、处理 9 的 CAT 活性最强, 其次是处理 5、处理 8、处理 14, 含量最弱的是处理 11、处理 12、处理 13。

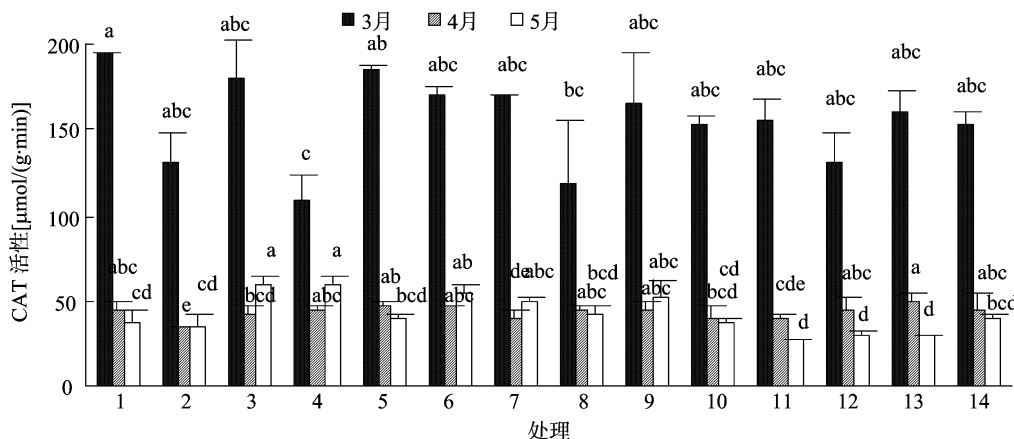


图4 配方施肥对太子参叶片 CAT 活性的影响

2.5 “3414”配方施肥对太子参叶片 MDA 含量的影响

从图 5 可以看出, MDA 含量从 3—5 月大致呈逐渐增加的趋势, 且在 3 月时最低, 其中 5 月时 MDA 平均含量为 $7.14 \mu\text{mol}/\text{g}$, 是 3 月 ($3.48 \mu\text{mol}/\text{g}$) 的 2.05 倍。处理 1、处理 4、处理 9、处理 12、处理 13 的 MDA 含量大致呈先增加后减少的趋势, 且 4 月时最高; 处理 2、处理 3、处理 5、处理 6、处理 8、处理 14 呈逐渐增加的趋势, 且 5 月时最高。从图 5 还可以看出, 不同施肥水平对太子参 MDA 的影响有所不同。3 月时, 在不同氮肥水平下, $\text{N}_0/\text{N}_2/\text{N}_3 > \text{N}_1$; 在不同磷肥水平下, $\text{P}_0/\text{P}_2 > \text{P}_1 > \text{P}_3$; 在不同钾肥水平下, $\text{K}_0/\text{K}_2 > \text{K}_1 > \text{K}_3$ 。总的来说, 处理 2、处理 4、处理 6、处理 8、处理 10、处理 11 的 MDA

含量较高, 其次是处理 9、处理 12、处理 14, 最低的是处理 3。4 月时, 在不同氮肥水平下, $\text{N}_0/\text{N}_2/\text{N}_3 > \text{N}_1$; 在不同磷肥水平下, $\text{P}_0 > \text{P}_1/\text{P}_2/\text{P}_3$; 在不同钾肥水平下, $\text{N}_0/\text{N}_2/\text{N}_3 > \text{N}_1$ 。总的来说, 处理 1、处理 4、处理 12 的 MDA 含量最高, 其次是处理 2、处理 3、处理 5、处理 6、处理 7、处理 9、处理 10、处理 11、处理 13、处理 14, 最低的是处理 8。5 月时, 在不同氮肥水平下, $\text{N}_0/\text{N}_1/\text{N}_2 > \text{N}_3$; 不同磷肥水平间差异不显著; 在不同钾肥水平下, $\text{K}_0/\text{K}_3 > \text{K}_1/\text{K}_2$ 。总的来说, 处理 1、处理 2、处理 3、处理 4、处理 5、处理 6、处理 7、处理 10、处理 14 的 MDA 含量较高, 其次是处理 8、处理 9、处理 11、处理 13, 最低的是处理 12。

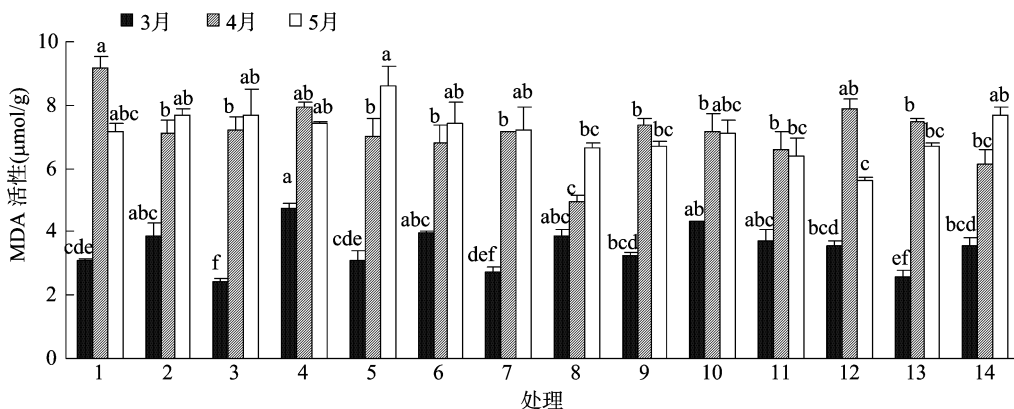


图5 配方施肥对太子参叶片 MDA 含量的影响

2.6 “3414”配方施肥对太子参叶片脯氨酸含量的影响

从图 6 可以看出, 脯氨酸含量从 3—5 月大致呈先增加后

减少的趋势, 其中 3 月最低, 平均为 $158.86 \mu\text{g}/\text{g}$; 4 月最高, 平均为 $507.09 \mu\text{g}/\text{g}$, 是 3 月的 3.19 倍。从图 6 还可以看出,

不同施肥水平对太子参脯氨酸的影响有所不同。3 月时,在不同氮肥水平下, $N_2 > N_0/N_1/N_2$; 在不同磷肥水平下, $P_2/P_3 > P_0 > P_1$; 在不同钾肥水平下, $K_1/K_3 > K_2 > K_0$ 。总的来说,处理 8、处理 10 含量较高,其次是处理 9,较低的是处理 1、处理 13、处理 14。4 月时,在不同氮肥水平下, $N_2/N_3 > N_1 > N_0$; 在不同磷肥水平下, $P_0/P_2/P_3 > P_0$; 在不同钾肥水平

下, $K_0/K_2/K_3 > K_1$ 。总的来说,处理 4、处理 6、处理 7、处理 9、处理 10、处理 11、处理 12、处理 14 的脯氨酸含量较高,其次是处理 5、处理 13,最低的是处理 1。5 月时,不同氮肥、磷肥、钾肥水平间的脯氨酸含量差异不显著,总的来说处理 2、处理 3、处理 4、处理 5、处理 6、处理 7、处理 8、处理 9、处理 10、处理 11 含量较高,其次是处理 12,最低的是处理 1。

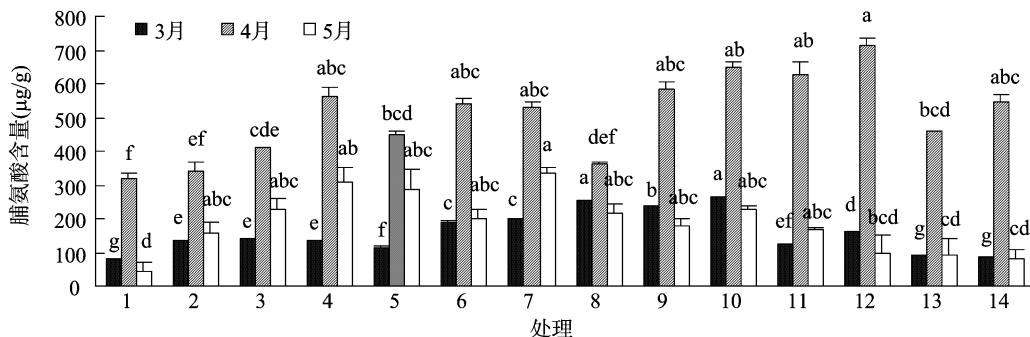


图6 配方施肥对太子参叶片脯氨酸含量的影响

2.7 “3414”配方施肥对太子参叶片硝酸还原酶活性的影响

从图 7 可以看出,硝酸还原酶活性从 3—5 月大致呈逐渐减弱的趋势,其中 5 月的最弱,平均为 $7.34 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$; 3 月的最强,平均为 $11.16 \mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$,是 5 月的 1.52 倍。处理 2、处理 4、处理 5、处理 8 呈逐渐减弱的趋势;而处理 6、处理 7、处理 9、处理 10、处理 11、处理 14 呈先增强后减弱的趋势。从图 7 还可以看出,不同施肥水平对太子参硝酸还原酶活性的影响有所不同。3 月时,在不同氮肥水平下, $N_0/N_3 > N_1 > N_2$; 在不同磷肥水平下, $P_0 > P_1/P_3 > P_2$; 在不同钾肥水平下, $K_1/K_2/K_3 > K_0$ 。总的来说,处理 2、处理 4、处理 8、处理 9、处

理 10、处理 11、处理 13、处理 14 的硝酸还原酶活性较强,其次是处理 1、处理 3、处理 5、处理 7、处理 12,最弱的是处理 6。4 月时,在不同氮肥水平下, $N_0/N_3 > N_1 > N_2$; 在不同磷肥水平下, $P_0 > P_1/P_3 > P_2$; 在不同钾肥水平下, $K_1/K_2/K_3 > K_0$ 。总的来说,处理 2、处理 4、处理 8、处理 9、处理 10、处理 11、处理 13、处理 14 较强,其次是处理 1、处理 3、处理 5、处理 7、处理 12,最弱的是处理 6。5 月时,在不同氮肥水平下, $N_3 > N_0/N_1 > N_2$; 在不同磷肥水平下, $P_3 > P_0/P_1/P_2$; 在不同钾肥水平下, $K_3 > K_1/K_2 > K_0$ 。总的来说,处理 12、处理 14 较强,其次是处理 7、处理 10、处理 11,最弱的是处理 1。

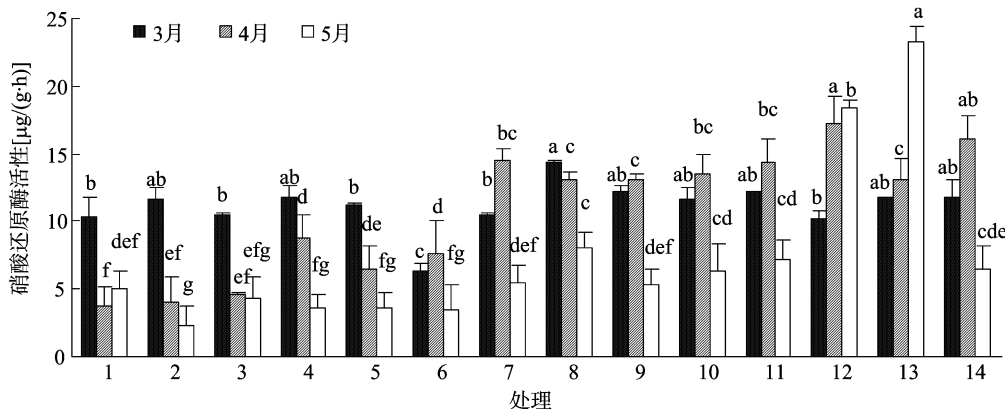


图7 配方施肥对太子参叶片硝酸还原酶活性的影响

2.8 “3414”配方施肥对太子参不同生长期产量的影响

从表 2 可以看出,太子参产量从 3—6 月大致呈现逐渐增加的趋势,其中 6 月的产量是 3 月(最低)的 7.24 倍。处理 1、处理 2、处理 3、处理 4、处理 6、处理 7、处理 8、处理 9、处理 10、处理 11、处理 12、处理 13 呈“增加—减少—增加”的趋势,6 月产量最高。从表 2 还可以看出,不同施肥水平对太子参不同生长期产量的影响有所不同。3 月时,处理 7 的产量最低,但各处理产量之间差异不显著。4 月、5 月时,处理 8 产量最低,其他处理间差异不显著。6 月时,在不同氮肥水平下,产量从高到低依次为 $N_3 > N_1 > N_2 > N_0$; 在不同磷肥水平下,

$P_1/P_3 > P_0 > P_2$; 在不同钾肥水平下, $K_1 > K_3 > K_2 > K_0$,处理 8 产量最高,其次为处理 12、处理 5、处理 7、处理 11、处理 13、处理 14、处理 4、处理 10、处理 9、处理 3、处理 6,产量较低的是处理 1、处理 2。各处理产量的平均值结果表明,处理 5、处理 8、处理 12、处理 14 较高,处理 7 和处理 11 次之,而处理 1 和处理 2 最低。

3 结论与讨论

3.1 “3414”配方施肥对太子参叶片生理指标的影响

3—5 月,太子参叶绿素、脯氨酸的含量先增加后减少;

表 2 配方施肥对太子参不同生长期产量的影响

处理	产量(g/m ²)				平均值
	3 月	4 月	5 月	6 月	
1	5.02a	15.79ab	11.75ab	18.23h	15.26
2	6.28a	15.20ab	11.92ab	18.66h	15.26
3	6.47a	19.14ab	14.31ab	32.08f	21.84
4	5.62a	20.48ab	11.76ab	43.43d	25.22
5	5.68a	15.07ab	17.82a	48.15c	27.01
6	6.34a	21.67a	14.54ab	28.07g	21.43
7	5.01a	17.44ab	13.01ab	48.06c	26.17
8	5.57a	12.03b	8.76b	60.09a	26.96
9	5.93a	18.01ab	11.82ab	35.55e	21.79
10	6.32a	16.75ab	13.60ab	45.14d	25.16
11	5.08a	17.50ab	13.38ab	48.15c	26.34
12	6.01a	15.24ab	12.49ab	55.73b	27.82
13	5.09a	15.33ab	11.58ab	50.11c	25.67
14	5.36a	14.92ab	16.50ab	49.78c	27.07
平均	5.70	16.76	13.09	41.25	

SOD、CAT、硝酸还原酶的活性呈逐渐减弱的趋势;POD 活性先减弱后增强;MDA 含量呈逐渐增加的趋势。

不同施肥水平对太子参叶片的各项生理指标的影响不同。整体来看,处理 9 的叶绿素含量最高,其次为处理 6、处理 8、处理 11,处理 1 最低;处理 12、处理 14 的 SOD 活性较强,其次为处理 11、处理 13,处理 1、处理 9 较弱;处理 5 的 POD 活性最强,其次是处理 4、处理 10,处理 12 最弱;处理 3、处理 1 的 CAT 活性较强,其次为处理 5、处理 6,处理 2 最弱;处理 4 和处理 1 的 MDA 含量较高,其次是处理 2 和处理 5,处理 8 最低;处理 10 和处理 7 的脯氨酸含量较高,其次是处理 4 和处理 9,最低的是处理 1;处理 13 和处理 12 的硝酸还原酶活性较强,其次是处理 8 和处理 11,最弱的是处理 2。

3.2 “3414”配方施肥对太子参产量的影响

太子参产量从 3—6 月大致呈逐渐增加的趋势,太子参块根的膨大过程是从主根逐渐消亡到侧根逐渐膨大的过程,6 月的产量约是 3 月的 7.24 倍。其中,处理 5、处理 8、处理 12、处理 14 的产量较高,处理 7 和处理 11 次之,处理 1 和处理 2 最低。此外,6 月时,在不同氮肥水平下,太子参产量从高到低依次为 N3>N1>N2>N0,即 N3 的产量最高,N0 的产量最低;在不同磷肥水平下,P1/P3>P0>P2,即 P1 或者 P3 的产量最高,P2 的产量最低;在不同钾肥水平下,K1>K3>K2>K0,即施加钾肥能提高产量(K1 的最高),但施加过量后产量会降低(K2、K3 的产量低于 K1,K0 的产量最低)。

3.3 太子参叶片生理指标与产量的关系

在对太子参施肥过程中,叶片各生理指标存在不同的响应,其中 MDA 含量随着产量的增加而增加,SOD、CAT、硝酸还原酶活性随着产量的增强而减弱,叶绿素含量、脯氨酸含量则随着产量的增加而先增加后减少,POD 活性却先减弱后增强。当处理 5、处理 8、处理 12、处理 14 的产量较高时,处理 9、处理 6、处理 8、处理 11 的叶绿素含量较高,处理 14、处理 12、处理 11、处理 13 的 SOD 活性较强,处理 2、处理 5、处理 10、处理 11 的 POD 活性较强,处理 1、处理 3、处理 5、处理 6 的 CAT 活性较强,处理 8、处理 12、处理 13、处理 14 的硝酸还

原酶活性较强;当处理 1 和处理 2 产量较低时,叶绿素含量处理 1、2、10 最低,SOD 活性处理 1、8、9 最低,POD 活性处理 1、8、13 最低,CAT 活性处理 2、8、12 最低,硝酸还原酶活性处理 1、2、6 最低。

综上所述,在本试验中,施用不同水平的氮磷钾对太子参的 4 种抗氧化酶活性的影响有的持续减少,有的先减少后增加,须要更进一步的研究调整施肥水平。抗氧化酶活性只是植物适应一个方面的原因,想要更加深入的研究太子参,必须从多方面去考虑,例如植物的外在因素土壤、温度、湿度等都会影响太子参的氧化酶活性,植物的抗氧化酶活性和叶绿素含量是相关的。例如,林光美等发现,太子参施肥与不施肥的产量相比是有明显提高的^[5];吴晓艳等发现,叶片叶绿素含量是反映植物光合能力的一个重要指标,在光能的吸收、传递和转化中发挥着重要作用^[14];谭淑端等发现,抗氧化酶活性水平与遭受的胁迫程度呈正相关,植株的抗氧化酶系统被各种各样复杂的环境因子共同调节^[15-16]。

参考文献:

[1] 韩建萍,梁宗锁,王敬民. 矿质元素与根类中草药根系生长发育及有效成分累积的关系[J]. 植物生理学通讯,2003,39(1): 78-82.

[2] 伍中兴. 中药材太子参氮钾肥料应用初探[J]. 园艺与种苗,2011(2):55-57.

[3] 林伟群,张曼芳,郑绍兴. 太子参不同播种期、种植密度、施肥量试验[J]. 作物杂志,2004(6):34-35.

[4] 向天祥. 不同移栽期与不同有机肥施肥水平对太子参产量的影响[J]. 农技服务,2008,25(10):126-127.

[5] 林光美,侯长红,王树贵,等. 施肥对太子参产量的影响[J]. 亚热带农业研究,2005,1(1):37-40.

[6] 曹志洪. 土壤科学与农业持续发展[M]. 北京:中国科技出版社,1998:183-196.

[7] 李 云. 平衡施肥与持续农业,土壤科学与农业持续发展[M]. 北京:中国科技出版社,2003:219-223.

[8] 曹鲜艳. 氮磷钾营养水平对黄芩生长和次生代谢产物影响的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2012:5-84.

[9] 李 璇,岳 红,王 升,等. 影响植物抗氧化酶活性的因素及其研究热点和现状[J]. 中国中药杂志,2013,38(7):973-978.

[10] 陈 薇,张德颐. 植物组织中硝酸还原酶的提取、测定和纯化[J]. 植物生理学通讯,1980(4):45-49.

[11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.

[12] 张宪政. 植物叶绿素含量测定——丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业科学,1986(3):26-28.

[13] 孙学文,刘艳芳. 用甲苯萃取与未经萃取测定脯氨酸含量的比较——磺基水杨酸法[J]. 河北科技师范学院学报,2006,20(4):26-28,38.

[14] 吴晓艳,周守标,程龙玲,等. 营养液对鸭儿芹幼苗生长、抗氧化酶活性及叶绿素荧光参数的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(4):1026-1034.

[15] 何任红,蒋新宇,马爱军. 镉与毒死蜱单一和复合污染对白菜生长和抗氧化酶的影响[J]. 2013,41(2):276-278

[16] 谭淑端,朱明勇,张克荣,等. 水淹对双穗雀稗抗氧化酶活性及碳水化合物含量的影响[J]. 草业学报,2013,22(1):217-224.