

荒漠区灰钙土土壤养分对甘草经济效益的影响

宋学林¹, 谢晓蓉², 刘金荣³

(1. 张掖市种子管理局, 甘肃 张掖 734000; 2. 甘肃中医药大学,
甘肃 兰州 730020; 3. 兰州大学 草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

摘要: [目的] 研究甘肃省河西走廊荒漠区灰钙土甘草氮磷钾锌最佳施肥量, 为甘草产业可持续发展提供技术支撑。[方法] 在甘肃省张掖市民乐县三堡镇的灰钙土上, 采用田间试验方法, 进行了甘草氮磷钾锌最佳经济效益施肥量的研究。[结果] 甘草鲜根产量随氮磷钾锌施肥量梯度的增加而增加, 但每 1 kg 氮磷钾锌增产产量则随氮磷钾锌施肥量梯度的增加而递减; 随着氮磷钾锌施肥量梯度的增加, 甘草边际产量和边际产值在下降, 边际利润最终出现负值; 甘肃省河西走廊荒漠区灰钙土甘草氮磷钾锌经济效益最佳施肥量分别为 0.46, 0.26, 0.16 和 0.02 t/hm², 最佳施肥量时的理论鲜根产量分别为 12.81, 13.35, 13.06, 12.76 t/hm²。[结论] 在氮磷钾含量较低, 有效锌缺乏的灰钙土上, 甘草施用氮磷钾锌具有明显的增产效果, 但最高产量的施肥量并不是最佳经济效益施肥量, 最佳经济效益施肥量必然低于最高产量施肥量。

关键词: 河西走廊; 荒漠区; 灰钙土; 甘草; 最佳施肥量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)03-0180-06

中图分类号: S147.22

文献参数: 宋学林, 谢晓蓉, 刘金荣. 荒漠区灰钙土土壤养分对甘草经济效益的影响[J]. 水土保持通报, 2019, 39(3): 180-185. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.03.030; Song Xuelin, Xie Xiaorong, Liu Jinrong. Effects of soil nutrients of sierozem in desert area on economic benefits of licorice [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(3): 180-185.

Effects of Soil Nutrients of Sierozem in Desert Area on Economic Benefits of Licorice

Song Xuelin¹, Xie Xiaorong², Liu Jinrong³

(1. Seed Administration Bureau of Zhangye, Zhangye, Gansu 734000, China;

2. Gansu University of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou, Gansu 730020, China;

3. College of Grassland Agriculture Science and Technology College, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730020, China)

Abstract: [Objective] The economic benefits of optimum fertilization of nitrogen, phosphorus, potassium and zinc of licorice in sierozem of the desert region area of Gansu Corridor were studied in order to provide technical support for the sustainable development of licorice industry. [Methods] A field experiment was carried out to study the economic benefits of optimum fertilization of nitrogen, phosphorus, potassium and zinc in sierozem of Sanbao Town, Minle County, Zhangye City, Gansu Province. [Results] With the increase of the fertilization of nitrogen, phosphorus, potassium and zinc, the fresh root yield of licorice was increased, but the increased amount of licorice under per 1 kg fertilization was decreased. The marginal yield and value of licorice were decreased, and the marginal profit showed a negative value eventually. In the desert region area of Gansu Corridor, the optimum application rate of nitrogen, phosphorus, potassium and zinc was 0.46, 0.26, 0.16 and 0.02 t/hm², and the theoretical yield of fresh root at the optimum application rates were 12.81, 13.35, 13.06, 12.76 t/hm². [Conclusion] Sierozem has the low content of nitrogen, phosphorus, potassium and zinc, the application of nitrogen, phosphorus, potassium and zinc to licorice can

收稿日期: 2018-07-28

修回日期: 2018-08-11

资助项目: 甘肃中医药大学引进人才科研启动项目“甘草在旱盐交叉胁迫下的适应机理研究”(2305137503); 甘肃省自然科学基金项目(1506RJZA047)

第一作者: 宋学林(1980—), 男(汉族), 甘肃张掖市人, 学士, 高级农艺师, 主要从事作物营养与施肥研究。E-mail: qinjiahai123@163.com。

increase the yield obviously, however, the fertilizer amount with the highest yield is not the optimum fertilization of economic benefits. The best fertilization amount is necessarily lower than that.

Keywords: Gansu Corridor; desert region; sierozem; licorice; benefits of optimum fertilization

近年来,随着甘草产业开发利用的不断深入,甘草在甘肃省河西走廊荒漠区种植业结构调整中占有重要地位。甘肃省河西走廊荒漠区具有得天独厚的自然环境条件和区位优势,日照时间 3 000~3 400 h,年均温度 5.2~7.5 °C,≥10 的积温为 2 400~2 800 °C,年降水量 100~150 mm,年蒸发量 2 000~3 000 mm,无霜期 105~130 d,海拔 1 800~2 300 m 的灰钙土是甘草种植的最佳生态区。近年来,甘肃省河西走廊从国外引进了乌拉尔甘草、无腺毛甘草、光果甘草、胀果甘草、粗毛甘草、圆果甘草、刺果甘草和光国甘草,建立了加工型甘草生产基地 2.97×10^4 hm²,年产鲜甘草 2.86×10^5 t,建成了永正药业 2.50×10^4 t 中药材加工生产线,宏泰药业 2 000 t 中药材加工生产线,甘草产业已发展成为甘肃河西走廊荒漠区农民增收,企业增效的重要支柱产业之一。随着甘草产业的发展,目前日益凸显的主要问题是:农户过量施用氮磷化肥的现象非常普遍,没有施用钾肥和锌肥的习惯,土壤养分比例失衡,缺钾和缺锌的生理性病害经常发生,导致甘草品质和药效较差,产量低而不稳。因此,研究甘草氮磷钾锌经济效益最佳施肥量是本地地区甘草产业可持续发展的关键所在。近年来,有关甘草施肥技术研究受到了广泛关注^[1-10]。然未见甘肃省河西走廊灰钙土甘草氮磷钾锌最佳施肥量方面的报道。本文拟以甘草和氮磷钾锌为研究材料,采用田间试验方法,分析氮磷钾锌不同梯度施用量对甘草的增产效果和经济效益,阐明甘肃省河西走廊荒漠区灰钙土甘草氮磷钾锌经济效益最佳施肥量,以期对甘草合理施肥提供技术支撑。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验地概况 试验于 2015—2017 年在甘肃省张掖市民乐县三堡镇上二坝寨村进行,海拔 2 128 m,100°53′22″E,37°48′17″N,年均温 5.2 °C,≥10 °C 积温 2 685 °C,年均降水量 330 mm,年均蒸发量 1 850 mm,无霜期 105 d。供试土壤类型是灰钙土。在试验地种植前(2015 年 4 月 30 日)采用对角线采样方法,在试验地布置 5 个采样点,每个采样点采集 0—20 cm 土样 3 kg,用四分法带回 1 kg 混合土样,风干 15 d,过 1 mm 筛,室内测定含有机质 12.67 g/kg,碱解氮 45.64 mg/kg,速效磷 5.60 mg/kg,速效钾

125.20 mg/kg,有效锌 0.41 mg/kg,pH 值 7.83,阳离子交换量 CEC 12.80 mol/kg,容重 1.24 g/cm³,总孔隙度 53.21%,土壤质地为壤质土,前茬作物是青稞。

1.1.2 试验材料 尿素(含 N 46%,粒径 2~3 mm,甘肃刘家峡化工厂产品);过磷酸钙(含 P₂O₅ 20%,粒径 2~5 mm,云南云天化国际化工股份有限公司产品);硫酸钾(含 K₂O 50%,粒径 2~3 mm,湖北兴银河化工有限公司产品),硫酸锌(含 Zn 23%,粒径 2~3 mm,甘肃刘家峡化工厂产品);甘草品种(乌拉尔甘草,从甘肃省武威市民勤县农业技术推广站引进)。

1.2 试验方法

1.2.1 试验处理 氮(N)素施肥量梯度分别设计为 0,90,180,270,360,450,540,630 kg/hm²,以不施氮为 CK,每个处理施用 P₂O₅ 260 kg/hm² + K₂O 160 kg/hm² 做肥底;磷(P₂O₅)素施肥量梯度分别设计为 0,45,90,135,180,225,270,315 kg/hm²,以不施磷为 CK,每个处理施用 N 460 kg/hm² + K₂O 160 kg/hm² 做肥底;钾(K₂O)素施肥量梯度分别设计为 0,30,60,90,120,150,180,210 kg/hm²,以不施钾为 CK,每个处理施用 N 460 kg/hm² + P₂O₅ 260 kg/hm² 做肥底;锌(Zn)素施肥量梯度分别设计为 0,4.50,9.00,13.50,18.00,22.50,27.00,31.50 kg/hm²,以不施锌为 CK,每个处理施用 N 460 kg/hm² + P₂O₅ 260 kg/hm² + K₂O 160 kg/hm² 做肥底。每个试验设计 8 个处理,每个处理重复 3 次,随机区组排列。

1.2.2 种植方法 试验小区面积为 40 m²(8 m×5 m),小区四周筑埂,埂宽 50 cm,埂高 30 cm。种植时间为 2015 年的 4 月 30 日,将直径 1.5 cm 的根茎截成 10~15 cm 的小段,每段 1~2 个芽,按株距 30 cm,行距 40 cm,深度 15 cm 开沟,将剪好的根茎节平摆沟底覆土压实,每个小区种植 6 行,每小区保苗 160 株,种植后立即灌水。1/3 肥料在第 2 次灌水时追施,2/3 肥料在第 3 次灌水时追施,追肥方法为条施,其他田间管理措施与大田相同。

1.2.3 测定项目与方法 定点试验 3 a 后,于 2017 年 9 月 30 日每个试验小区单独收获,将小区产量折合成单位公顷(hm²)产量进行统计分析^[1]。

边际产量=每增加一个单位肥料用量时

所得到的产量—前一个处理的产量 (1)

边际产值=边际产量×产品价格 (2)

边际成本 = 边际施肥量 × 肥料价格 (3)

边际利润 = 边际产值 - 边际成本 (4)

边际施肥量 = 后一个处理
施肥量 - 前一个处理施肥量 (5)

每千克 N, P, K, Zn 增产量 =
(N, P, K, Zn 增产量) / (N, P, K, Zn 施肥量) (6)

1.2.4 数据分析方法 差异显著性采用 DPSS 10.0 统计软件分析, 多重比较, LSR 检验法。依据经济效益最佳施肥量计算公式:

$$x_0 = [(P_x/P_y) - b] / 2c \quad (7)$$

式中: P_x ——肥料平均销售价格(元/t); P_y ——农产品平均收购价格(元/t)。 b, c ——回归系数。

求得 N, P, K, Zn 经济效益最佳施肥量(x_0)^[12], 依据 $Y = a + bx + cx^2$ 回归方程, 求得甘草鲜根理论产量(y)^[13]。甘草价格依据 2017 年试验时间内当地加工企业收购价格确定。

2 结果与分析

2.1 甘草氮素最佳经济效益施肥量

2.1.1 氮素施肥量对甘草增产效果和经济效益的影响 定点试验 3 a 后, 于 2017 年 9 月 30 日甘草收获时

测定数据可以看出, 随着氮素施肥量梯度的增加, 甘草鲜根产量在梯增。氮素施肥量由 90 kg/hm² 递增到 630 kg/hm² 时, 甘草鲜根产量由 9.36 t/hm² 递增到 13.26 t/hm²。氮素施肥 630 kg/hm² 与 540 kg/hm² 比较, 增产 0.60%, 差异不显著 ($p > 0.05$); 与 450 kg/hm² 比较, 增产 5.83%, 差异显著 ($p < 0.05$); 与施肥量 360, 270, 180, 90 kg/hm² 比较, 分别增产 12.47%, 20.33%, 29.87%, 41.67%, 差异极显著 ($p < 0.01$)。

经施肥利润分析可以看出, 氮素施肥量由 90 kg/hm² 递增到 450 kg/hm² 时, 施肥利润随着氮素施肥量梯度的增加而递增, 氮素施肥量超过 450 kg/hm² 时, 施肥利润开始下降。由此可见, 氮素适宜用量一般不要超过 450 kg/hm²。进一步分析可以看出, 随着氮素施肥量梯度的增加, 千克氮素增产量在递减。将氮素不同梯度施肥量与甘草鲜根产量进行经济效益分析可知^[14-15], 随着氮素施肥量梯度的增加, 边际产量由最初的 0.91 t/hm² 递减到 0.08 t/hm²; 边际产值由最初的 4 550 元/hm² 递减到 400 元/hm²; 边际利润由最初的 1 028.30 元/hm² 递减到 -3 121.70 元/hm²。氮素施肥量在 450 kg/hm² 的基础上再继续增加施肥量, 边际利润出现负值(见表 1)。

表 1 氮素施肥量对甘草增产效果和经济效益的影响

氮素施肥量/ (kg · hm ⁻²)	鲜根产量/ (t · hm ⁻²)	增产值/ (元 · hm ⁻²)	施肥成本/ (元 · hm ⁻²)	施肥利润/ (元 · hm ⁻²)	千克氮 增产/kg	边际产量/ (t · hm ⁻²)	边际产值/ (元 · hm ⁻²)	边际成本/ (元 · hm ⁻²)	边际利润/ (元 · hm ⁻²)
0(CK)	8.45 ^{hE}								
90	9.36 ^{gD}	4 550.00	3 521.70	1 028.30	10.11	0.91	4 550.00	3 521.70	1 028.30
180	10.21 ^{fC}	8 800.00	7 043.40	1 756.60	9.78	0.85	4 250.00	3 521.70	728.30
270	11.02 ^{eB}	12 850.00	10 565.10	2 284.90	9.52	0.81	4 050.00	3 521.70	528.30
360	11.79 ^{dB}	16 700.00	14 086.80	2 613.20	9.28	0.77	3 850.00	3 521.70	328.30
450	12.53 ^{cA}	20 400.00	17 608.50	2 791.50	9.07	0.74	3 700.00	3 521.70	178.30
540	13.18 ^{bA}	23 650.00	21 130.20	2 519.80	8.76	0.65	3 250.00	3 521.70	-271.70
630	13.26 ^{aA}	24 050.00	24 651.90	-601.90	7.64	0.08	400.00	3 521.70	-3 121.70

注: 同列数据大写字母不同表示 LSR_{0.01} 水平差异显著, 小写字母不同表示 LSR_{0.05} 水平差异显著, 下同。

2.1.2 甘草氮素最佳经济效益施肥量确定 将表 1 氮素不同梯度施肥量与甘草鲜根产量间的关系, 采用肥料效应函数方程 $Y = a + bx + cx^2$ 拟合, 得到的回归方程为:

$$y = 8.4500 + 11.1306x - 3.5919x^2 \quad (8)$$

对回归方程进行显著性测验, $F = 20.19^{**}$, $F_{0.01} = 18.84$, $r = 0.9834^{**}$, 说明回归方程拟合良好。2017 年氮素市场平均销售价格(P_x)为 39 130 元/t, 2017 年甘草鲜根市场平均收购价格为(P_y)为 5 000 元/t, 将 P_x, P_y , 回归方程的 b 和 c 代入公式(7), 求得甘草氮素最佳经济效益施肥量(x_0)为 0.46 t/hm², 将

x_0 代入(8)式, 求得甘草氮素最佳经济效益施肥量时的甘草鲜根理论产量(y)为 12.81 t/hm², 回归统计分析结果与田间试验处理的氮素施肥量 450 kg/hm² 基本吻合(见表 1)。

2.2 甘草磷素最佳经济效益施肥量

2.2.1 磷素施肥量对甘草增产效果和经济效益的影响 定点试验 3 a 后, 2017 年 9 月 30 日甘草收获时测定数据可以看出, 随着磷素施肥量梯度的增加, 甘草鲜根产量在梯增。磷素施肥量由 45 kg/hm² 递增到 315 kg/hm² 时, 甘草鲜根产量由 10.79 t/hm² 递增到 13.60 t/hm²。磷素施肥 315 kg/hm² 与 270

kg/hm² 比较,增产 2.49%,差异不显著 ($p>0.05$);与 225 kg/hm² 比较,增产 5.75%,差异显著 ($p<0.05$);与施肥量 180,135,90,45 kg/hm² 比较,分别增产 9.50%,13.90%,19.30%,26.04%,差异极显著 ($p<0.01$)。经施肥利润分析可以看出,磷素施肥量由 45 kg/hm² 递增到 270 kg/hm² 时,施肥利润随着磷素施肥量的增加而递增,磷素施肥量大于 270 kg/hm² 时,施肥利润开始下降。由此可见,磷素适宜用量不要超过 270 kg/hm²。磷素施肥量由 45 kg/hm² 递增到

315 kg/hm² 时,每 1 kg 磷素增产量由 19.78 kg 递减到 11.75 kg,说明单位磷素增产量随磷素施肥量梯度的增加而递减。将磷素不同梯度施肥量与甘草鲜根产量进行经济效益分析可以看出,随着磷素施肥量梯度的增加,边际产量由最初的 0.89 t/hm² 递减到 0.33 t/hm²;边际产值由 4 450 元/hm² 递减到 1 650 元/hm²;边际利润由 2 450.20 元/hm² 递减到 -349.80 元/hm²。磷素施肥量在 270 kg/hm² 的基础上再继续增加施肥量,边际利润出现负值(见表 2)。

表 2 磷素施肥量对甘草增产效果和经济效益的影响

磷素施肥量/ (kg·hm ⁻²)	鲜根产量/ (t·hm ⁻²)	增产值/ (元·hm ⁻²)	施肥成本/ (元·hm ⁻²)	施肥利润/ (元·hm ⁻²)	千克磷 增产/kg	边际产量/ (t·hm ⁻²)	边际产值/ (元·hm ⁻²)	边际成本/ (元·hm ⁻²)	边际利润/ (元·hm ⁻²)
0(CK)	9.90 ^{cd}								
45	10.79 ^{dc}	4 450.00	1 999.80	2 450.20	19.78	0.89	4 450.00	1 999.80	2 450.20
90	11.40 ^{cb}	7 600.00	3 999.60	3 600.40	16.67	0.61	3 050.00	1 999.80	1 050.20
135	11.94 ^{cb}	10 300.00	5 999.40	4 300.60	15.11	0.54	2 700.00	1 999.80	700.20
180	12.42 ^{bb}	12 700.00	7 999.20	4 700.80	14.10	0.48	2 400.00	1 999.80	400.20
225	12.86 ^{ba}	14 900.00	9 999.00	4 901.00	13.16	0.44	2 200.00	1 999.80	200.20
270	13.27 ^{aa}	16 950.00	11 998.80	4 951.20	12.48	0.41	2 050.00	1 999.80	50.20
315	13.60 ^{aa}	18 600.00	13 998.60	4 601.40	11.75	0.33	1 650.00	1 999.80	-349.80

2.2.2 甘草磷素最佳经济效益施肥量确定 将表 2 磷素不同梯度施肥量与甘草鲜根产量间的关系,采用肥料效应函数方程 $y=a+bx+cx^2$ 拟合,得到的回归方程为:

$$y=9.9000+18.3043x-16.9358x^2 \quad (9)$$

对回归方程进行显著性测验, $F=26.98^{**}$, $F_{0.01}=25.17$, $r=0.9658^{**}$,说明回归方程拟合良好。2017 年磷素市场平均销售价格(P_x)为 44 440 元/t,2017 年甘草鲜根市场平均收购价格(P_y)为 5 000 元/t,将 P_x , P_y , 回归方程的 b 和 c 代入公式(7),求得甘草磷素最佳施肥量(x_0)为 0.26 t/hm²,将 x_0 代入(9)式,求得甘草磷素最佳施肥量时的甘草鲜根理论产量(y)为 13.35 t/hm²,回归统计分析结果与田间试验处理 7 磷素施肥量 270 kg/hm² 基本吻合(见表 2)。

2.3 甘草钾素最佳经济效益施肥量

2.3.1 钾素施肥量对甘草增产效果和经济效益的影响 定点试验 3 a 后,2017 年 9 月 30 日甘草收获时测定数据可以看出,随着钾素施肥量梯度的增加,甘草鲜根产量在递增。钾素施肥量由 30 kg/hm² 递增到 210 kg/hm² 时,甘草鲜根产量由 11.11 t/hm² 递增到 13.34 t/hm²。钾素施肥量 210 kg/hm² 与 180 和 150 kg/hm² 比较,增产 1.75%和 4.06%,差异不显著($p>0.05$);与 120 kg/hm² 比较,增产 7.24%,差异显著($p<0.05$);与施肥量 90,60 和 30 kg/hm² 比

较,分别增产 10.89%,15.10%和 20.07%,差异极显著($p<0.01$)。经施肥利润分析可知,钾素施肥量由 30 kg/hm² 递增到 150 kg/hm² 时,施肥利润随着钾素施肥量梯度的增加而递增,当钾素施肥量在 150 kg/hm² 的基础上再继续增加,施肥利润开始下降。由此可见,钾素适宜用量一般为 150 kg/hm² 时,施肥利润达到最大值。钾素施肥量由 30 kg/hm² 递增到 210 kg/hm² 时,千克钾素增产量则由 18.67 kg 递减到 10.33 kg,说明单位钾素增产量随钾素施肥量梯度的增加而递减。随着钾素施肥量梯度增加,边际产量由最初的 0.56 t/hm² 递减到 0.23 t/hm²;边际产值由 2 800 元/hm² 递减到 1 150 元/hm²;边际利润由 1 000 元/hm² 减少到 -650 元/hm²,钾素施肥量在 150 kg/hm² 的基础上再增加 30 kg/hm²,边际利润出现负值(见表 3)。

2.3.2 甘草钾素最佳经济效益施肥量确定 将表 3 钾素不同梯度施肥量与甘草鲜根产量间的关系,采用肥料效应函数方程 $y=a+bx+cx^2$ 拟合拟合,得到的回归方程为:

$$y=10.5500+19.3780x-23.0469x^2 \quad (10)$$

对回归方程进行显著性测验, $F=24.05^{**}$, $F_{0.01}=22.44$, $r=0.9823^{**}$,说明回归方程拟合良好。2017 年钾素市场平均销售价格(P_x)为 60 000 元/t,2017 年甘草鲜根市场平均收购价格(P_y)为 5 000 元/t,将 P_x , P_y , 回归方程的 b 和 c 代入公式(7),求得甘草钾

素最佳施肥量(x_0)为 0.16 t/hm²,将 x_0 代入(10)式,求得甘草钾素最佳施肥量时的甘草鲜根理论产量(y)为 13.06 t/hm²,回归统计分析结果与田间试验处理的钾素施肥量 150 kg/hm² 基本吻合(见表 3)。

表 3 钾素施肥量对甘草增产效果和经济效益的影响

钾素施肥量/ (kg·hm ⁻²)	鲜根产量/ (t·hm ⁻²)	增产值/ (元·hm ⁻²)	施肥成本/ (元·hm ⁻²)	施肥利润/ (元·hm ⁻²)	每 1 kg 钾 增产/kg	边际产量/ (t·hm ⁻²)	边际产值/ (元·hm ⁻²)	边际成本/ (元·hm ⁻²)	边际利润/ (元·hm ⁻²)
0(CK)	10.55 ^{dD}								
30	11.11 ^{cC}	2 800.00	1 800.00	1 000.00	18.67	0.56	2 800.00	1 800.00	1 000.00
60	11.59 ^{cC}	5 200.00	3 600.00	1 600.00	17.33	0.48	2 400.00	1 800.00	600.00
90	12.03 ^{bB}	7 400.00	5 400.00	2 000.00	15.44	0.44	2 200.00	1 800.00	400.00
120	12.44 ^{bA}	9 450.00	7 200.00	2 250.00	15.75	0.41	2 050.00	1 800.00	250.00
150	12.82 ^{aA}	11 350.00	9 000.00	2 350.00	15.13	0.38	1 900.00	1 800.00	100.00
180	13.11 ^{aA}	12 800.00	10 800.00	2 000.00	14.22	0.29	1 450.00	1 800.00	-350.00
210	13.34 ^{aA}	13 950.00	12 600.00	1 350.00	10.33	0.23	1 150.00	1 800.00	-650.00

2.4 甘草锌素最佳经济效益施肥量

2.4.1 锌素施肥量对甘草增产效果和经济效益的影响 定点试验 3 a 后,2017 年 9 月 30 日甘草收获时测定数据可以看出,随着锌素施肥量梯度的增加,甘草鲜根产量在递增。锌素施肥量由 4.50 kg/hm² 递增到 33.60 kg/hm² 时,甘草鲜根产量由 12.27 t/hm² 递增到 13.18 t/hm²。锌素施肥量 33.60 kg/hm² 与施肥量 27,22.50 和 18 kg/hm² 比较,分别增产 0.77%,1.70%和 2.80%,差异不显著($p>0.05$);与 13.50 kg/hm² 和 9 kg/hm² 比较,分别增产 5.53%和 5.61%,差异显著($p<0.05$);与 4.50 kg/hm² 比较,增产 7.42%,差异极显著($p<0.01$)。经施肥利润分析可知,锌素施肥量由 4.50 kg/hm² 递增到 22.50 kg/hm² 时,施肥利润随着锌素施肥量梯度的增加而递增,当锌素施肥量在 22.50 kg/hm² 的基础上再继续增加 4.50 kg/hm²,施肥利润开始下降。由此可见,锌素适宜用量一般为 22.50 kg/hm² 时,施肥利润最大。锌素施肥量由 4.50 kg/hm² 梯增到 33.60 kg/hm² 时,千克锌素增产量则由 55.56 kg 递减到 36.83 kg,说明单位锌素增产量随锌素施肥量梯度的增加而递减。随着

锌素施肥量梯度增加,边际产量由最初的 0.25 t/hm² 递减到 0.10 t/hm²;边际产值由 1250 元/hm² 递减到 500 元/hm²;边际利润由 624.50 元/hm² 减少到 -125.50元/hm²,锌素施肥量在 22.50 kg/hm² 的基础上再增加 4.50 kg/hm²,边际利润出现负值(见表 4)。

2.4.2 甘草锌素最佳经济效益施肥量确定 将表 4 钾素不同梯度施肥量与甘草鲜根产量间的关系,采用肥料效应函数方程 $y=a+bx+cx^2$ 拟合,得到的回归方程为:

$$y=12\ 020+173.436\ 3x-3.405\ 9x^2 \quad (11)$$

对回归方程进行显著性测验, $F=14.43^{**}$, $F_{0.01}=13.46$, $r=0.965\ 7^{**}$,说明回归方程拟合良好。2017 年锌素市场平均销售价格(P_x)为 139 000 元/t,2017 年甘草鲜根市场平均收购价格(P_y)为 5 000 元/t,将 P_x , P_y ,回归方程的 b 和 c 代入公式(7),求得甘草锌素最佳施肥量(x_0)为 21.38 kg/hm²,将 x_0 代入(11)式,求得甘草锌素最佳施肥量时的甘草鲜根理论产量(y)为 12 760.32 kg/hm²,回归统计分析结果与田间试验处理的锌素施肥量 22.50 kg/hm² 基本吻合(见表 4)。

表 4 锌素施肥量对甘草增产效果和经济效益的影响

锌素施肥量/ (kg·hm ⁻²)	鲜根产量/ (t·hm ⁻²)	增产值/ (元·hm ⁻²)	施肥成本/ (元·hm ⁻²)	施肥利润/ (元·hm ⁻²)	每 1 kg 锌 增产/kg	边际产量/ (t·hm ⁻²)	边际产值/ (元·hm ⁻²)	边际成本/ (元·hm ⁻²)	边际利润/ (元·hm ⁻²)
0(CK)	12.02 ^{dD}								
4.50	12.27 ^{cC}	1 250.00	625.50	624.50	55.56	0.25	1 250.00	625.50	624.50
9.00	12.48 ^{cC}	2 300.00	1 251.00	1 049.00	51.11	0.21	1 050.00	625.50	424.50
13.50	12.66 ^{bB}	3 200.00	1 876.50	1 323.50	47.41	0.18	900.00	625.50	274.50
18.00	12.82 ^{bB}	4 000.00	2 502.00	1 498.00	44.44	0.16	800.00	625.50	174.50
22.50	12.96 ^{bB}	4 700.00	3 127.50	1 572.50	41.78	0.14	700.00	625.50	74.50
27.00	13.08 ^{aA}	5 300.00	3 753.00	1 547.00	39.26	0.12	600.00	625.50	-25.50
Zn _{31.50}	13.18 ^{aA}	5 800.00	4 378.50	1 421.50	36.83	0.10	500.00	625.50	-125.50

3 讨论与结论

甘草鲜根产量和增产量随着氮磷钾锌施肥量梯度的增加而增加,但千克氮磷钾锌增产量、边际产量和边际产值均随着氮磷钾锌施肥量梯度的增加而递减;施肥利润随着氮磷钾锌施肥量梯度的增加而逐渐增大,到达最大值后,施肥利润开始下降,呈现报酬递减律;边际利润随着氮磷钾锌施肥量梯度的增加在逐渐下降,最终出现负值。边际产值大于边际成本,此时施肥利润大于肥料投资,说明边际产值虽然递减,但是收入不断增加,施肥还可以增收,此时应继续增加施肥量,扩大施肥利润;边际产值小于边际成本,此时施肥所增加的收入小于肥料投资,此时施肥虽然甘草鲜根产量在增加,但从经济效益来讲是不合算的,应适当减少施肥量,这种变化规律与秦嘉海等^[16-17]的研究结果相一致。究其原因是河西走廊荒漠区灰钙土速效氮磷钾含量较低,有效锌缺,甘草施用氮、磷、钾、锌4种肥料具有明显的增产效果。但最高产量的施肥量并不是经济效益最佳施肥量,经济效益最佳施肥量必然低于最高产量施肥量,在生产实践中,一定要重视经济效益最佳施肥量,不能单纯追求高产,以防止盲目投入造成不必要的经济损失。

经回归统计分析,甘草鲜根产量与氮磷钾锌的肥料效应回归方程为: $y=8.4500+11.1306x-3.5919x^2$, $y=9.9000+18.3043x-16.9358x^2$, $y=10.5500+19.3780x-23.0469x^2$ 和 $y=12.020+173.4363x-3.4059x^2$,甘草氮磷钾锌经济效益最佳施肥量为0.46,0.26,0.16和0.02 t/hm²,甘草鲜根理论产量为12.81,13.35,13.06,12.76 t/hm²,统计分析结果与田间试验结果基本一致,对指导农户合理施肥具有一定的参考价值。

[参 考 文 献]

[1] 黄菊莹,余海龙,王丽丽,等.不同氮磷比处理对甘草生

长与生态化学计量特征的影响[J].植物生态学报,2017,41(3):325-336.

- [2] 李月卫,何增奎.不同氮磷钾施肥量对甘草产量的影响[J].甘肃农业,2013(23):60-61.
- [3] 汤政泽,陈维建,范立国.不同施肥配比对甘草营养成分含量的影响[J].林业勘查设计,2016(1):69-70.
- [4] 牛红莉.纯羊粪不同施肥水平对甘草产量的影响试验初报[J].农艺农技,2017(14):66-67.
- [5] 阿依夏木·沙吾尔,贾宏涛,等.氮磷钾肥配施对甘草生物产量和品质的肥效研究[J].新疆农业大学学报,2016,39(5):387-394.
- [6] 金燕清,王秋玲,侯俊玲,等.氮磷钾配施对甘草生物量和活性成分的影响[J].中国现代中药,2016,18(7):881-887.
- [7] 马生军,王文全,杜润清,等.锰胁迫对甘草生理和生长特性的影响[J].西北药学杂志,2015,30(1):1-8.
- [8] 范铭,曹爱农,晋小军,等.施肥对陇中半干旱区三年生甘草产量和品质的影响[J].干旱区资源与环境,2016,30(12):175-179.
- [9] 范铭,曹爱农,晋小军,等.施用沼液和接种丛枝菌根真菌对甘草生长及重金属累积的影响[J].农业环境科学学报,2016,35(8):1465-1472.
- [10] 杨亮亮.亚环植物多元有机专用肥不同施肥水平对甘草综合性能的影响[J].土壤肥料,2017(7):87-88.
- [11] 浙江大学.植物营养与肥料[M].北京:中国农业出版社,1988:268-269.
- [12] 陆欣.土壤肥料学[M].北京:中国农业大学出版社,2004:50-52.
- [13] 陕西省农林学校.土壤肥料学[M].北京:中国农业出版社,1987:227-228.
- [14] 王应君.土壤肥料学[M].北京:中国农业出版社,1997:408-409.
- [15] 陈伦寿,李仁岗.农田施肥原理与实践[M].北京:中国农业出版社,1983.185-186.
- [16] 秦嘉海,王多成,肖占文,等.茄子有机生态型无土栽培专用肥最佳施用量的研究[J].中国蔬菜,2019(14):49-52.
- [17] 秦嘉海,李宏斌,张掖市加工型马铃薯氮磷钾最佳施用量的研究[J].土壤,2011,43(4):570-575.