

## 微肥配施对甘蔗产量的影响

何元强<sup>1</sup>, 欧善生<sup>1</sup>, 黄 甫<sup>2</sup>, 黄 茜<sup>2</sup>

(1. 广西农业职业技术学院, 广西 南宁 530007; 2. 广西大绿皇叶面肥有限公司, 广西 南宁 530008)

**摘要:** 为明确微量元素对甘蔗产量的影响, 确定甘蔗产量的最优微肥组合方案, 采用四元二次回归正交旋转组合设计, 研究铜、锌、硼、钼 4 种微肥配合施用对甘蔗产量的影响。结果表明: 4 个参试因子对甘蔗产量的影响顺序是锌肥 > 钼肥 > 铜肥 > 硼肥。频率分析结果显示, 甘蔗产量大于 93 372.09 kg/hm<sup>2</sup> 的施肥组合方案为: 铜肥量 5.625 ~ 7.875 kg/hm<sup>2</sup>, 锌肥量 37.5 ~ 45.0 kg/hm<sup>2</sup>, 硼肥量 19.687 5 ~ 22.500 0 kg/hm<sup>2</sup>, 钼肥量 0.60 ~ 0.75 kg/hm<sup>2</sup>。从甘蔗最高产量考虑, 最优组合方案为硫酸铜 7.875 kg/hm<sup>2</sup>, 硫酸锌 45.0 kg/hm<sup>2</sup>, 硼砂 22.500 0 kg/hm<sup>2</sup>, 钼酸铵 0.75 kg/hm<sup>2</sup>; 最优组合田间示范验证甘蔗产量为 121 275.0 kg/hm<sup>2</sup>, 与试验回归模型计算的结果 (121 925.47 kg/hm<sup>2</sup>) 接近。

**关键词:** 微肥; 甘蔗; 产量; 四元二次回归正交旋转组合设计; 产量模型

**中图分类号:** S566.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2013)08-0033-05

## Effect of Trace Element Interaction on Yield of Sugarcane

HE Yuan-qiang<sup>1</sup>, OU Shan-sheng<sup>1</sup>, HUANG Fu<sup>2</sup>, HUANG Xi<sup>2</sup>

(1. Guangxi Agricultural Vocational and Technical College, Nanning 530007, China;

2. Guangxi Daluhuang Foliar Fertilizer Co. Ltd., Nanning 530008, China)

**Abstract:** In order to explore an optimal composite scheme of trace elements to gain the highest yield of sugarcane, the impact of Cu, Zn, B, Mo on the yield of RCC22 was researched in this paper. The orthogonal combination design of quadratic regression was adopted in this experiment. The result showed that the impact on yield of sugarcane by these four factors ranked as follow: Zn > Mo > Cu > B. The result of frequency analysis showed that the range of the composite scheme of Cu, Zn, B, Mo for optimal cultivation measures for high-yield (>93 372.09 kg/ha) in sugarcane was 5.625-7.875 kg/ha, 37.5-45.0 kg/ha, 19.687 5-22.500 0 kg/ha, 0.60-0.75 kg/ha, respectively. For the highest yield of sugarcane, the optimal composite scheme for Cu, Zn, B, Mo was 7.875 kg/ha, 45.0 kg/ha, 22.500 0 kg/ha, 0.75 kg/ha, respectively. The yield of the sugarcane planted in the field with this optimal composite scheme was 121 275.0 kg/ha, which was similar to the result from the test regression model (121 925.47 kg/ha).

**Key words:** trace element fertilizer; sugarcane; yield; quadratic regression orthogonal rotational combining design with four factors; yield mode

甘蔗要实现高产, 在其生长过程中除了需要氮、磷、钾三大元素外, 还需要从土壤中吸收适量的铜、锌、硼、钼等微量元素。目前, 国内有关肥料对甘蔗

的影响研究主要集中在氮、磷、钾等大量元素上<sup>[1-3]</sup>, 而关于微量元素的研究主要是单一或少数元素<sup>[4-8]</sup>, 且其对甘蔗产量的影响报道较少。在广西甘蔗主产

收稿日期: 2013-02-01

基金项目: 2011 年广西科学研究与技术开发计划课题 (201102029B)

作者简介: 何元强 (1973-), 男, 广西富川人, 讲师, 本科, 主要从事作物栽培教学与研究。E-mail: 1219594447@qq.com

区,有关微量元素配施对甘蔗产量的影响报道更少,尤其缺乏多种微量元素之间的合理配施研究。鉴于此,通过对甘蔗施用不同比例的微肥(铜、锌、硼、钼),研究微量元素对甘蔗产量的影响,以期确定甘蔗产量的最优微肥组合方案,为广西甘蔗配土施肥高产栽培提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况与供试材料

试验在广西农垦国有良圻农场十二分场甘蔗种植基地内进行,该基地位于广西东南部,地处  $108^{\circ}48' \sim 109^{\circ}37'E$ 、 $22^{\circ}08' \sim 23^{\circ}30'N$ ,属南亚热带季风气候,年均气温  $21.4^{\circ}C$ ,年均降雨量  $1\,415.4\text{ mm}$ 。供试土壤为红壤,试验前抽样选取耕层多点混合土样,按常规方法测定土壤基础养分<sup>[9-10]</sup>。土壤 pH 值 5.64,有机质  $18.84\text{ g/kg}$ ,全氮  $1.15\text{ g/kg}$ ,有效磷  $23.43\text{ mg/kg}$ ,有效钾  $106.09\text{ mg/kg}$ ,有效铜  $0.63\text{ mg/kg}$ ,有效锌  $0.86\text{ mg/kg}$ ,有效硼  $0.16\text{ mg/kg}$ ,有效钼  $0.12\text{ mg/kg}$ 。

供试甘蔗品种为新台糖 22 号,试验所用的微肥为硫酸铜( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )、硫酸锌( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )、硼砂( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )、钼酸铵 $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ ,以上均为分析纯试剂。

### 1.2 试验设计

以铜肥( $x_1$ )、锌肥( $x_2$ )、硼肥( $x_3$ )、钼肥( $x_4$ )四因素为养分因子,各变量设计水平及编码值如表 1,采用四元二次回归正交旋转组合设计(利用 DPS 7.05 进行试验设计,表 2)。

表 1 试验因素各水平编码  $\text{kg/hm}^2$

因素	变化 间距	变量设计水平及编码				
		-2	-1	0	1	2
$x_1$	1.125	4.500	5.625	6.750	7.875	9.000
$x_2$	7.5	15.0	22.5	30.0	37.5	45.0
$x_3$	2.812 5	11.250 0	14.062 5	16.875 0	19.687 5	22.500 0
$x_4$	0.15	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75

### 1.3 试验处理的田间安排

试验按四因子五水平全实施法进行,试验小区数目为 36 个,小区面积为  $36\text{ m}^2$  ( $4\text{ m} \times 9\text{ m}$ )。为防止串肥,小区间设有保护行,小区顺序按四元二次正交旋转组合设计图安排。

微肥于 2012 年 1 月 26 日施入,为使施入肥量均匀,先将各种微肥按施用量混合均匀,再与土混合均匀,然后均匀撒施,施完肥后统一浇水。

各试验小区大量元素施肥量为  $\text{N } 525\text{ kg/hm}^2$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\text{ } 225\text{ kg/hm}^2$ 、 $\text{K}_2\text{O } 450\text{ kg/hm}^2$ 。施肥期肥料

分配:P 肥作基肥一次性施,N、K 肥基肥 20%、分蘖肥 20%、伸长肥 60%。其他按甘蔗日常管理措施进行,各小区相同。

甘蔗于 2012 年 2 月 8 日种植,行距为  $1.0\text{ m}$ ,种蔗竖向以品字形双行窄幅摆放,2 行种蔗之间距离  $8\text{ cm}$  左右。每米摆放 6 个两芽段。

### 1.4 田间调查

于 2012 年 11 月 28 日,按小区实地砍收称质量统计,计算各处理甘蔗经济产量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理甘蔗产量结果及模型建立

采用 DPS 7.05 进行数据统计,根据二次正交回归设计原理建立模型并检验,以每公顷甘蔗经济产量作为目标函数(因变量)(Y),根据表 2,求得甘蔗经济产量与各因素编码值的回归数学模型:

$$Y = 91\,368.75 - 31.87x_1 + 2\,036.87x_2 + 2\,141.87x_3 + 2\,481.87x_4 - 1\,245.15x_1^2 + 1\,616.09x_2^2 + 194.84x_3^2 + 2\,439.21x_4^2 + 1\,129.68x_1x_2 - 329.06x_1x_3 - 120.93x_1x_4 - 409.68x_2x_3 - 250.31x_2x_4 - 160.31x_3x_4$$

在  $\alpha=0.10$  显著水平剔除不显著项后,回归方程简化为:

$$Y = 91\,368.75 + 2\,036.87x_2 + 2\,141.87x_3 + 2\,481.87x_4 - 1\,245.15x_1^2 + 1\,616.09x_2^2 + 2\,439.21x_4^2 + 1\,129.68x_1x_2$$

对所得回归方程进行统计检验,其中模型显著性检验  $F_2=9.704\,8$ ,显著性概率为  $0.000\,1$ ,差异显著,失拟性检验  $F_1=2.006\,5$ ,显著性概率为  $0.086\,0$ ,差异不显著。可见,试验结果与所建立的回归方程吻合,能反映实际情况,无失控因素,所建立的回归方程可靠,可用于预测甘蔗产量和筛选优化施肥方案。

表 2 试验结构矩阵

处理	因素				Y/( $\text{kg/hm}^2$ )
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	
1	1	1	1	1	101 445
2	1	1	1	-1	96 105
3	1	1	-1	1	98 595
4	1	1	-1	-1	94 470
5	1	-1	1	1	97 335
6	1	-1	1	-1	93 030
7	1	-1	-1	1	89 730
8	1	-1	-1	-1	88 125

续表 2 试验结构矩阵

处理	因素				Y/(kg/hm <sup>2</sup> )
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	
9	-1	1	1	1	100 065
10	-1	1	1	-1	97 455
11	-1	1	-1	1	93 960
12	-1	1	-1	-1	91 695
13	-1	-1	1	1	98 715
14	-1	-1	1	-1	95 910
15	-1	-1	-1	1	96 930
16	-1	-1	-1	-1	87 300
17	-2	0	0	0	84 420
18	2	0	0	0	85 635
19	0	-2	0	0	90 930
20	0	2	0	0	102 015
21	0	0	-2	0	87 750
22	0	0	2	0	93 825
23	0	0	0	-2	93 045
24	0	0	0	2	106 485
25	0	0	0	0	89 160
26	0	0	0	0	90 195
27	0	0	0	0	92 355
28	0	0	0	0	89 610
29	0	0	0	0	94 515
30	0	0	0	0	92 385
31	0	0	0	0	92 280
32	0	0	0	0	91 200
33	0	0	0	0	93 015
34	0	0	0	0	89 685
35	0	0	0	0	88 680
36	0	0	0	0	93 345

2.2 主因素分析

根据已经建立的数学模型,采用“降维法”对一个自变量的偏回归进行解析,其实质就是在特定条件下进行一组单因素试验,通过自变量与目标函数之间的关系,确定某一因子的最佳水平。降维以后的单因素方程为:

铜肥:  $Y_1 = 91\,368.75 - 31.87x_1 - 1\,245.15x_1^2$   
锌肥:  $Y_2 = 91\,368.75 + 2\,036.87x_2 + 1\,616.09x_2^2$   
硼肥:  $Y_3 = 91\,368.75 + 2\,141.87x_3 + 194.84x_3^2$   
钼肥:  $Y_4 = 91\,368.75 + 2\,481.87x_4 + 2\,439.21x_4^2$

根据以上方程,可绘制出产量随各因素变化的趋势图(图 1)。

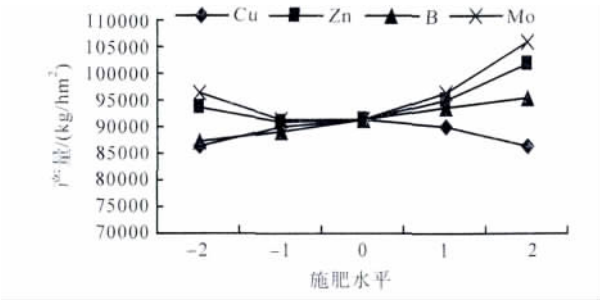


图 1 单因素对甘蔗产量的影响

依据回归方程各回归系数的  $t$  值求出某一因子的贡献值( $\delta$ ),然后计算出该因子的综合贡献值( $\Delta_j$ ),当  $t \leq 1$  时, $\delta=0$ ;当  $t \geq 1$  时, $\delta=1-1/t^2$ , $\Delta_j = \delta_j + \delta_{jj} + 1/2 \sum \delta_{ij}$ ,其中  $\delta_j$ 、 $\delta_{jj}$  分别代表第  $j$  个因子的一次项和二次项的贡献值, $\delta_{ij}$  代表所有与  $j$  交互项的贡献值<sup>[6]</sup>。经计算,铜肥( $x_1$ )、锌肥( $x_2$ )、硼肥( $x_3$ )、钼肥( $x_4$ ) 4 个因子对甘蔗产量的贡献值分别为 1.456、2.461、0.998、1.998。由此可知,对甘蔗产量的影响顺序是锌肥( $x_2$ )>钼肥( $x_4$ )>铜肥( $x_1$ )>硼肥( $x_3$ )。

从图 1 可以看出,锌肥和钼肥单施对甘蔗产量的影响基本相似,在施肥量为(-2,0)水平下甘蔗产量随施肥量的增加而略降低,在(0,2)水平条件下甘蔗产量随施肥量的增加而增加,2 水平下甘蔗产量最高;铜肥对甘蔗产量的影响与之相反,随着施铜肥量的增加,甘蔗产量先增加后降低,苏天明等<sup>[8]</sup>、张中星等<sup>[11]</sup>对微肥的研究也有相似结论;硼肥在(-2,2)水平内甘蔗产量随施肥量的增加而增加,但增幅不明显。

2.3 双因素交互作用分析

对交互作用达显著水平的交互项进行分析,得到其对应的交互作用方程,将方程采用“降维法”即固定 2 个自变量取零水平,导出另 2 个自变量的回归解析模型,建立交互作用模型并进行解析。交互作用模型为:

$$Y_{12} = 91\,368.75 - 31.87x_1 + 2\,036.87x_2 - 1\,245.15x_1^2 + 1\,616.09x_2^2 + 1\,129.68x_1x_2$$

通过分析锌肥与铜肥对甘蔗产量影响的显著性关系(图 2)可知:

- (1) 当施锌肥量处于水平(-2,2)时,随着施铜肥量的增加,甘蔗产量先增加后降低;
- (2) 当施铜肥量处于水平(-2,2)时,随着施锌肥量的增加,甘蔗产量先降低后增加;
- (3) 当施锌量处于(1,2)水平,铜肥处于(0,1)水平时,甘蔗易获得高产。

综上所述,铜肥与锌肥对甘蔗产量的影响存在显著的交互作用,在施铜肥量处于中高水平、施锌肥量处于高水平时,甘蔗易获得较高产量。

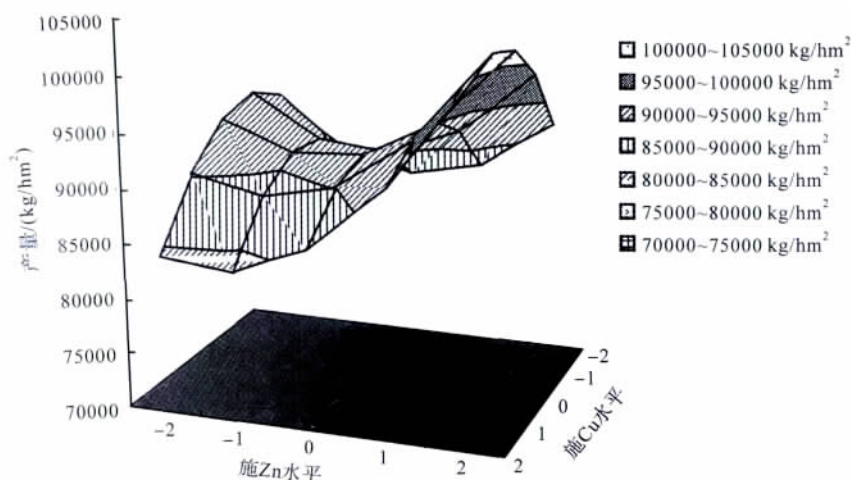


图 2 锌肥与铜肥交互作用对甘蔗产量的影响

#### 2.4 模拟寻优

在本试验中,通过对甘蔗经济产量与各因素编码值的回归方程可以得出,甘蔗产量最高值(121 925.47 kg/hm<sup>2</sup>)时的铜、锌、硼、钼组合为最优组合,其组合方案为  $x_1=1, x_2=2, x_3=2, x_4=2$ 。即最优组合为:硫酸铜为 7.875 kg/hm<sup>2</sup>,硫酸锌为 45.0 kg/hm<sup>2</sup>,硼砂为 22.500 0 kg/hm<sup>2</sup>,钼酸铵为 0.75 kg/hm<sup>2</sup>。依据以上方程,进行全因子优化组合频次分析(表 3),以了解获得平均产量以上高产(>93 372.09 kg/hm<sup>2</sup>)的施肥组合。从表 3 可以看出:

(1) 铜肥施用量以 0 水平取值频率最高(0.250 6),其次为-1 水平(0.230 4),然后是 1 水平(0.207 6),-1 水平与 1 水平频率值接近。因此,合适的铜肥施用量应该为 5.625~7.875 kg/hm<sup>2</sup>。

(2) 锌肥施用量以 2 水平取值频率最高(0.296 2),1 水平次之(0.215 2),因此,锌肥施用量应取较高水平,为 37.5~45.0 kg/hm<sup>2</sup>。

(3) 硼肥施用量以 2 水平取值频率最高,达到 0.273 4,其次是 1 水平(0.240 5),因此,硼肥施用量应取较高水平,为 19.687 5~22.500 0 kg/hm<sup>2</sup>。

(4) 钼肥施用量以 2 水平取值频率最高,达到 0.316 5,1 水平次之(0.227 8),因此,钼肥施用量应取较高水平,为 0.60~0.75 kg/hm<sup>2</sup>。

综上所述,对于新植蔗,从大田生产实际和高产的角度出发,施肥组合方案为:铜肥量为 5.625~7.875 kg/hm<sup>2</sup>,锌肥量为 37.5~45.0 kg/hm<sup>2</sup>,硼肥量为 19.687 5~22.500 0 kg/hm<sup>2</sup>,钼肥量为 0.60~0.75 kg/hm<sup>2</sup>。

表 3 甘蔗产量>93 372.09 kg/hm<sup>2</sup> 的 395 个方案中各变量取值的频率分布

水平	铜肥( $x_1$ )		锌肥( $x_2$ )		硼肥( $x_3$ )		钼肥( $x_4$ )	
	次数	频率	次数	频率	次数	频率	次数	频率
-2	62	0.157 0	80	0.202 5	51	0.129 1	86	0.217 7
-1	91	0.230 4	54	0.136 7	63	0.159 5	47	0.119 0
0	99	0.250 6	59	0.149 4	78	0.197 5	47	0.119 0
1	82	0.207 6	85	0.215 2	95	0.240 5	90	0.227 8
2	61	0.154 4	117	0.296 2	108	0.273 4	125	0.316 5
总和	395	1	395	1	395	1	395	1
加权均数	-0.028		0.266		0.370		0.306	
标准误	0.065		0.076		0.069		0.078	
95%的分布区间	-0.256~0.100		0.117~0.415		0.235~0.505		0.154~0.459	
施肥量/(kg/hm <sup>2</sup> )	5.625~7.875		37.5~45.0		19.687 5~22.500 0		0.60~0.75	

#### 2.5 最优组合田间示范验证

在同一试验地块进行最优组合田间验证,最优组合方案( $x_1=1, x_2=2, x_3=2, x_4=2$ )的试验地总面积为 2 018 m<sup>2</sup>,对照区示范面积为 681 m<sup>2</sup>(铜、锌、硼、钼施用水平采用试验设计的 0 水平)。经实测验收,对

照区甘蔗产量为 90 937.5 kg/hm<sup>2</sup>,与试验回归模型计算的结果(91 368.75 kg/hm<sup>2</sup>)接近。最优组合田间示范区甘蔗产量为 121 275.0 kg/hm<sup>2</sup>,与试验回归模型计算的结果(121 925.47 kg/hm<sup>2</sup>)接近。说明该模型对甘蔗栽培有较好的指导作用。

### 3 结论与讨论

1) 铜肥、锌肥、硼肥和钼肥 4 种微肥对甘蔗产量均有明显影响,其中锌肥、硼肥和钼肥 3 个因子在高水平施用均对甘蔗起到增产作用,与前人<sup>[7,12]</sup>的研究结论一致;而铜肥施用量在 4.500~9.000 kg/hm<sup>2</sup> 时,甘蔗产量表现出先增加后降低,与前人<sup>[8]</sup>的研究结论一致。

2) 对甘蔗产量有较大交互作用的因素为铜肥与锌肥,表现为高锌、中高铜时甘蔗产量较高。前人在青贮玉米<sup>[13]</sup>、紫花苜蓿<sup>[14]</sup>试验研究中有相似的结论。

3) 在模拟寻优后,对甘蔗配施微肥的最优组合方案为: $x_1=1, x_2=2, x_3=2, x_4=2$ 。即硫酸铜为 7.875 kg/hm<sup>2</sup>,硫酸锌为 45.0 kg/hm<sup>2</sup>,硼砂为 22.500 kg/hm<sup>2</sup>,钼酸铵为 0.75 kg/hm<sup>2</sup>;从大田生产实际和高产的角度出发,新植蔗施肥组合方案为:铜肥量为 5.625~7.875 kg/hm<sup>2</sup>,锌肥量为 37.5~45.0 kg/hm<sup>2</sup>,硼肥量为 19.6875~22.500 kg/hm<sup>2</sup>,钼肥量为 0.60~0.75 kg/hm<sup>2</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 吴大吉,韦春满,韦目阔. 南方甘蔗测土配方施肥试验研究[J]. 现代农业科技,2011(13):119-120.
- [2] 罗敏,杨鹏. 甘蔗平衡施肥试验[J]. 贵州农业科学,2007,35(1):70-71.
- [3] 伍胜,何丽莲,王先宏,等. 氮磷钾不同配比施肥对高原

甘蔗生长[J]. 西南农业学报,2010,23(1):110-114.

- [4] 郭家文,崔雄维,张跃彬,等. 重金属铜在甘蔗体内的吸收及对甘蔗产量和品质的影响[J]. 土壤,2010,42(4):606-610.
- [5] 郭家文,张跃彬,刘少春,等. 硼钼锌单施及配施对甘蔗产量和品质的影响[J]. 西南农业学报,2009,22(3):716-720.
- [6] 陈建生,黄巧义,唐拴虎,等. 坡岗地甘蔗应用中微量营养元素效应研究[J]. 广东农业科学,2010(6):74-75.
- [7] 刘逊忠,梁昌贵. 赤红壤施用中微量元素肥料对甘蔗产量与糖分的效应[J]. 中国土壤与肥料,2009(1):50-52.
- [8] 苏天明,李杨瑞,廖青,等. 铜对土壤酶和碱解氮及甘蔗生长影响[J]. 南方农业学报,2011,42(6):631-634.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999:325-336.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,1981:115-151.
- [11] 张中星,程滨. 锌锰硼肥配合施用对玉米的增产效应[J]. 山西农业科学,1994,22(1):40-43.
- [12] 郭家文,张跃彬,刘少春,等. 硼钼锌单施及配施对甘蔗产量和品质的影响[J]. 西南农业学报,2009,22(3):716-720.
- [13] 张兰兰,李运起,李秋凤,等. 微肥配施对青贮玉米产量的影响[J]. 河北农业学报,2009,32(2):6-10.
- [14] 伊霞,李运起,敖特根·白音,等. 五种微肥配施对紫花苜蓿干草产量的影响[J]. 河北农业大学学报,2009,32(3):21-25.