

牧草压扁机压扁间隙调节装置的设计与试验研究

陈 凯, 赵春花, 罗亚兰, 马世伦, 卞鲁平, 周 洋, 刘甲元

(甘肃农业大学工学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 针对牧草压扁机作业过程中压扁间隙调节困难等问题, 设计了一种新型牧草压扁机间隙调节装置。选择喂入量, 上、下压扁辊间隙和回复弹簧拉力为影响其作业性能的主要参数, 以压扁率高及碎草损失小为试验评价指标, 采用正交试验方法及隶属度加权综合评分法进行了试验研究和结果分析, 得出了牧草压扁最优组合: 喂入量为 $2.16 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$, 上、下压扁辊间隙为 3 mm , 回复弹簧拉力为 850 N 。按照该最优方案进行试验, 试验结果表明: 牧草压扁率平均值为 94.7% , 碎草损失率平均值为 2.18% , 满足牧草收获的作业要求。

关键词: 割草压扁机; 间隙调节; 喂入量; 上、下压扁辊间隙; 回复弹簧拉力; 压扁率; 碎草率

中图分类号: S225.2+1 文献标志码: A

Design and test research of flattening gap adjustment device of mower conditioner

CHEN Kai, ZHAO Chun-hua, LUO Ya-lan, MA Shi-lun, BIAN Lu-ping, ZHOU Yang, LIU Jia-yuan

(College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: A new gap adjusting device of mower conditioner was developed to solve the difficult problem adjusting flattening gap during operation process. The feeding amount, upper and lower flattened roll gap and tension of spring were selected as the major parameters for affecting the work performance and the high flattening ratio and less losses of crushed grass as evaluating indicators. The test research and results were carried out the analysis by using the orthogonal experimental method and membership degree weighted comprehensive evaluation method, has obtained the optimal combination for flattening grass: The feeding amount was $2.16 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$, the upper and lower flattened roll gap was 3 mm , and the tension of spring was 850 N . According to this optimal combination to carry out the test, the experimental results showed that: The average flattening rate was 94.7% , the average crushed grass loss rate was 2.18% which could be met the operation demand of forage harvest.

Keywords: mower conditioner; gap adjustment; feeding amount; upper and lower flattened roll gap; tension of spring; flattening ratio; crushed grass loss rate

牧草压扁机通过折弯、压裂等方式, 破坏牧草茎秆的表面结构, 促进了内部水分的散失^[1], 缩短了牧草田间干燥时间。但不同生长情况的牧草, 需要的压扁辊初始压扁间隙不同, 通过调节初始压扁间隙可使牧草达到最佳的压扁效果。

为了保证良好的压扁效果, 压辊的线压力、压辊间隙等应调控在适当的范围内, 在这些方面, 国内外有关专家学者做了大量的研究^[2-5]。Ahmad 等^[3]对苜蓿压扁辊的压力、干燥速率等的研究表明, 在每厘米宽度上两个光辊对苜蓿的压力为 $120 \sim 157 \text{ N}$ 时

综合作业效果最好。卡那沃依斯基等^[6]对采用板簧和调节螺钉等来控制压扁力和压扁间隙的牧草压扁机研究表明, 压辊的相互压力应控制在 $0 \sim 50 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-1}$ 行程范围内。国内现有的牧草压扁机大多采用螺栓、挡块与板簧等机构进行上、下压扁辊的间隙调节^[7-11], 其结构复杂, 难以精准地控制两压辊之间的压扁间隙, 牧草调制不均匀, 压扁效果差。为此本文提出了一种割草压扁机压扁间隙调节装置(专利号 CN 2014100122314), 设计计算了关键部件的结构参数, 试验研究了其作业性能。

收稿日期: 2014-05-21

基金项目: 2012 农业部公益行业(农业)科研专项(201203024); 2012 年甘肃省杰出青年基金项目(2012GS05590); 甘肃省农转项目(1105NCNA095); 甘肃省农业科技创新项目(GNCX-2013-39); 甘肃农业大学伏羲杰出人才培养计划“苜蓿机械化播种、收获机理研究及其应用开发”

作者简介: 陈 凯(1988—), 男, 湖北武汉人, 硕士研究生, 研究方向为农业工程技术与装备。E-mail: 591459735@qq.com。

通信作者: 赵春花(1972—), 女, 甘肃武威人, 教授, 博士, 主要从事农业工程技术与装备方面的研究。E-mail: chhua20040630@yeah.net。

1 压扁间隙调节装置组成及工作原理

1.1 装置组成

压扁间隙调节装置是压扁机构的重要组成部分,如图1和图2所示,下压辊固定安装在机架上,上压辊设置在V型浮动架上,V型浮动架的中间通过铰接轴与机架铰接,其前端底部与设置在滑槽内的弧形滑块上表面相接触,前调节螺杆安装于弧形滑块的中央通孔内;V型浮动架的后端通过后调节螺杆顶紧,后调节螺杆左端设有后调节手柄;回复弹簧设置在V型浮动架和机架之间,提供回复力。

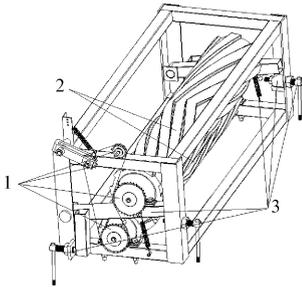


图1 割草压扁机构示意图

Fig.1 Schematic diagram of flattening gap adjusting device of mower conditioner

- 1. 传动系统; 2. 压扁辊组合; 3. 间隙调节装置
- 1. Transmission system; 2. Flattening rollers combination; 3. Gap adjusting device

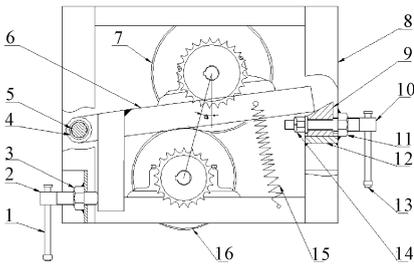


图2 割草压扁机压扁间隙调节装置结构图

Fig.2 Structure diagram of flattening gap adjusting device for mower conditioner

- 1. 后调节手柄; 2. 后调节螺杆; 3. 后固定螺母; 4. 轴套; 5. 铰接轴组件; 6. V形浮动架; 7. 上压扁辊; 8. 机架; 9. 滑块; 10. 前调节螺杆; 11. 前固定螺母; 12. 滑槽; 13. 前调节手柄; 14. 锁紧螺母; 15. 回复弹簧; 16. 下压扁辊

- 1. Behind regulating handle; 2. Behind adjusting screw; 3. Behind fixing nut; 4. Shaft sleeve; 5. Articulated shaft; 6. Vshaped floating frame; 7. The upper roller; 8. Rack; 9. Sliding block; 10. Front adjusting screw; 11. Front fixing nut; 12. Chute; 13. Front regulating handle; 14. Lock nut; 15. Reply spring; 16. The under roller

1.2 工作原理

割草压扁机作业之前,先转动后调节手柄,通过

后调节螺杆推动V形浮动架,使V形浮动架绕铰接轴转动,实现上、下压扁辊初始间隙的粗调节;再转动前调节手柄,通过前调节螺杆,用螺纹圈数调节限位滑块的位置,实现初始压扁间隙的精调节;压扁间隙调节范围为0~5 mm。

当有障碍物堵塞或通过压扁辊时,不用停机清理,上压扁辊受障碍物挤压而自动转离,使障碍物迅速通过压扁辊;待障碍物通过后,在回复弹簧作用下,上压扁辊回复原位,上、下压扁辊恢复正常作业。

2 间隙调节装置的分析与参数设计

2.1 间隙调节装置的分析

本装置通过滑块的水平移动使装有上压辊的V形浮动架绕铰接轴转动,从而实现上、下压扁辊压扁间隙的调节。如图3所示,设滑块与V形浮动架接触处为B,铰接轴轴心为O, O₁为上压扁辊轴心, O₂为下压扁辊轴心, d为上下压扁辊间隙。调节间隙时,当滑块从B移动到B'时,上压扁辊轴心沿弧形轨迹线从O₁运动到O'₁。螺杆推动滑块移动距离AA'与上、下压扁辊间隙d之间建立如下数学模型:

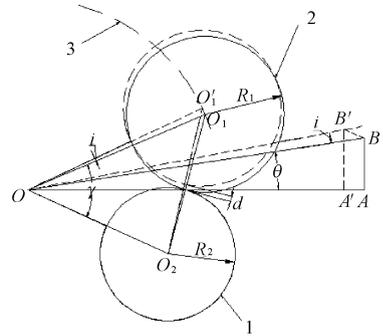


图3 压扁间隙调节装置运动分析

Fig.3 Motion analysis of the gap adjusting device

- 1. 下压扁辊; 2. 上压扁辊; 3. 上压扁辊轴心运动轨迹线
- 1. The under roller; 2. The upper roller; 3. The upper roller axis trajectory line

上、下压扁辊间隙d与上、下压扁辊半径R的关系为:

$$d = O_1O_2 - (R_1 + R_2) \quad (1)$$

当上、下压扁辊间隙为0时,即上压辊凹齿(凸齿)与下压辊凸齿(凹齿)贴合,此时有:

$$O_1O_2 = R_1 + R_2 \quad (2)$$

又V形浮动架绕铰接轴转动,故有:

$$OO_1 = OO_1 \quad (3)$$

在△OO₁O₂和△OO'₁O₂中,边与角的关系由余弦定理可得:

$$\cos\gamma = \frac{OO_2^2 + OO_1^2 - O_1O_2^2}{2 \times OO_2 \times OO_1} \quad (4)$$

$$\cos(\gamma + i) = \frac{OO_2^2 + OO_1'^2 - O_1'O_2^2}{2 \times OO_2 \times OO_1'} \quad (5)$$

在 $\triangle OAB$ 和 $\triangle OA'B'$ 中,有:

$$\tan(\theta + i) = \frac{A'B'}{OA - AA'} \quad (6)$$

$$\tan\theta = \frac{AB}{OA} \quad (7)$$

故螺杆推动滑块移动距离 AA' 与上、下压扁辊间隙 d 的关系为

$$d = \sqrt{OO_1^2 + OO_2^2 - 2OO_1 \cdot OO_2 \cdot \cos(\gamma - \theta + \arctan \frac{A'B'}{OA - AA'})} - O_1O_2 \quad (8)$$

根据文献[6]上、下压辊轴心连线与下压辊轴线的垂线之间形成一定夹角,该设置有助于延长牧草在压辊间的停留时间,提高牧草的压扁率,此夹角过大,则整机重心前移,过小,则影响牧草流畅喂入压扁辊,结合样机整体结构布局,设计此夹角为 $\alpha = 15^\circ$,将 $R_1 = 88 \text{ mm}$ 、 $R_2 = 75 \text{ mm}$ 、 $OO_1 = 218 \text{ mm}$ 、 $OO_2 = 176 \text{ mm}$ 代入公式(4)得, $\gamma \approx 47^\circ$,将 $AB = 60 \text{ mm}$ 、 $OA = 381 \text{ mm}$ 代入式(7)中得, $\theta \approx 9^\circ$,将滑块弧形面近似处理为倾斜角 30° 的斜面,则

$$d = \sqrt{78500 - 76736 \cos(38^\circ + \arctan \frac{60 + \frac{\sqrt{3}AA'}{3}}{381 - AA'})} - 163 \quad (9)$$

由此可知,上、下压辊间隙的大小通过调节滑块移动距离便可控制,由于滑块是通过螺杆旋转带动的,故通过控制螺杆转动的圈数即可实现两压扁辊间隙的精确调节。

2.2 参数设计

本文假设牧草喂入压扁机构时厚度均匀,采用人字齿橡胶压扁辊对牧草进行压扁试验。人字齿形橡胶辊中心线的法向截面如图4所示,其中 F_z 为机架对上压辊的支撑力, G 为上压辊与V形浮动架的重力和, F 为回复弹簧拉力, P 为单位长度上、下压辊的相互压力。

由图4可知,单位长度上、下压辊的相互压力与弹簧初拉力之间的关系为

$$P = \frac{G \times \cos\alpha + 2F \times \cos(\alpha + \beta)}{L} \quad (10)$$

$$\text{故 } F = \frac{PL - G \times \cos\alpha}{2\cos(\alpha + \beta)} \quad (11)$$

式中, L 为压扁辊长度, α 为上、下压辊轴心连线与上压辊垂直中心线之间的夹角, β 为弹簧与上压辊垂直中心线之间的夹角。

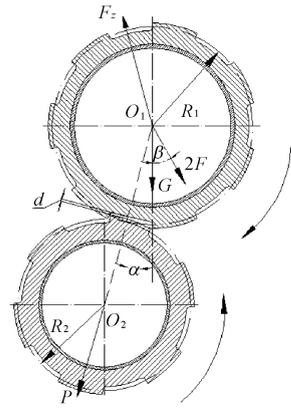


图4 压扁辊组合的法向截面图

Fig.4 Normal section graph of flattening roller combination

压辊单位长度的压紧力由牧草种类和喂入量决定,带槽压辊最小压紧力为 $1570 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ [12],并选择能将压辊的相互压力控制在 $0 \sim 50 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-1}$ 行程范围内的弹簧[6]。以此为依据设计上、下压辊的相互压力为 $1570 \sim 5000 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ 。将割草压扁机设计的各组数据 $\alpha = 15^\circ$ 、 $\beta = 20^\circ$ 、 $L = 1 \text{ m}$ 、 $G = 600 \text{ N}$ 代入式(11)中得 $F = 604.5 \sim 2698.2 \text{ N}$ 。

3 性能试验及结果分析

3.1 试验条件

将设计的压扁间隙调节装置应用于9GY1.2手扶山地牧草压扁机进行田间试验,柴油机输出动力为6.3 kW。试验选取第一茬蕾花期苜蓿为试验对象,试验苜蓿品种为“中兰1号”,试验地点为定西市安定区内官镇,海拔高度为1938 m,年均降雨量380 mm,年平均气温6.3℃,全年无霜期141 d,属于西北干旱地区。土壤类型为沙壤土,地表(0~10 cm)含水率为20%,种植密度约为 $450 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$,苜蓿高度500~1100 mm,苜蓿平均含水率为70%,轻微倒伏。

3.2 影响压扁效果的因素及评价指标

如表1所示,选取喂入量(A)、上、下压扁辊间隙(B)和回复弹簧拉力(C)为试验因素,以压扁率与碎草损失率[13-14]为试验评价指标来测定间隙调节装置在不同参数作用下对压扁效果的影响。试验因素的选择和试验指标的定义如下:

(1) 喂入量(A)

当山地牧草压扁机作业时,假设牧草生长状况一定,则牧草的喂入量取决于割草压扁机的行走速度。所以通过控制割草压扁机的行走速度就可以调整喂入量的大小,使其稳定在一定的范围内,从而提高割草压扁机的作业效率。割草压扁机行走速度和喂入量之间的关系为:

$$Q = \frac{bvM}{10000} \left(1 + \frac{1}{c}\right) \quad (13)$$

式中, Q 为喂入量($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$); v 为机组行驶速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); M 为牧草产量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); b 为割幅(m); c 为牧草与杂草之比。

由式(13)可以看出,当 b , M 和 c 不变或变化很小时,喂入量 Q 与行走速度 v 成正比关系,因此,可以通过控制行走速度的方法来调节喂入量的大小。

本文假设在割草压扁机匀速作业时,喂入量保持恒定,杂草在试验前清除,可忽略不计,第一茬苜蓿鲜草平均产量为 $18\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,割幅为 $1.2\ \text{m}$,根据动力机作业时的平均速度(0.6 、 1.0 、 $1.3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)可得喂入量为(1.296 、 2.16 、 $2.808\ \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)。

(2) 上、下压扁辊间隙(B)

根据上文对间隙调节装置的分析,间隙调节范围 $0 \sim 5\ \text{mm}$,结合文献[12]中所述的压辊最小间隙为 $2\ \text{mm}$,通过调节螺杆(螺距 $2\ \text{mm}$)推动滑块移动

距离 AA' (11.5 、 13 、 $17.5\ \text{mm}$),得到三组压辊间隙数据(2.5 、 3 、 $4.5\ \text{mm}$)。

(3) 回复弹簧拉力(C)

依据上文对回复弹簧拉力的分析,结合当地牧草的含水率与气候环境等因素,选择三组回复弹簧拉力(650 、 850 、 $1\ 000\ \text{N}$)进行试验,各试验因素及水平记录于表1。

表1 试验因素水平

Table 1 Levels of test factors

水平 The levels	因素 The factors		
	A:喂入量 The feeding amount ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)	B:上、下压扁辊间隙 The upper and lower roll compressed gap /mm	C:回复弹簧拉力 The tension of spring /N
1	1.296	2.5	650
2	2.160	3.0	850
3	2.808	4.5	1000

表2 试验结果

Table 2 The test results

试验序号 Test serial number	参数因素 Parameter factors			压扁率/% Flattening ratio	碎草损失率/% Crushed grass loss rate	综合评分 The comprehensive score
	A	B	C	Y	S	
1	1	1	1	92.1	2.65	18.07
2	1	2	2	95.35	2.47	78.74
3	1	3	3	88.7	2.3	18.26
4	2	1	2	95.3	2.15	71.98
5	2	2	3	91.3	2.16	31.29
6	2	3	1	93.2	2.52	41.19
7	3	1	3	91.25	2.12	33.26
8	3	2	1	94.7	2.45	69.21
9	3	3	2	91.3	2.23	27.48
K_1	115.07	123.31	128.47			
K_2	144.46	179.24	178.20			
K_3	129.95	86.93	82.81			
k_1	38.357	41.103	42.823			
k_2	48.153	59.747	59.400			
k_3	43.317	28.977	27.603			
R	9.796	30.770	31.797			
优方案 Optimal decision	A_2	B_2	C_2			

表3 验证试验数据表

Table 3 The verification test data sheet

试验序号 Test serial number	A	B	C	Y	S
	喂入量/ $(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$ The feeding amount	上、下压扁辊间隙/mm The upper and lower roll compressed gap	回复弹簧拉力/N The tension of spring	压扁率/% Flattening ratio	碎草损失率/% Crushed grass loss rate
1	2.16	3	850	94.70	2.18
2	2.16	3	850	94.75	2.20
3	2.16	3	850	94.80	2.15
4	2.16	3	850	94.55	2.19

(4) 压扁率(Y)

测定区内单位面积刈割压扁收获的牧草中,被压扁的牧草质量与单位面积收获牧草总质量之比为牧草压扁率。测定方法如下:

$$Y = \frac{g_b}{g_z} \times 100\% \quad (14)$$

式中, Y 为牧草压扁率(%); g_b 为单位面积内被压扁的牧草质量($g \cdot m^{-2}$); g_z 为单位面积内收获牧草的总质量($g \cdot m^{-2}$)。

(5) 碎草损失率(S)

单位面积内重割、拨禾、压扁、铺条过程中碎草质量与单位面积应收获牧草质量之比。选取收获牧草中小于 7 cm 长的牧草为碎草,测定方法如下:

$$S = \frac{g_s}{g_y} \times 100\% \quad (15)$$

式中, S 为碎草损失率(%); g_s 为单位面积内碎草的质量($g \cdot m^{-2}$); g_y 为单位面积应收获牧草质量($g \cdot m^{-2}$)。

3.3 试验方案及评价指标处理

按 $L9(3^4)$ 正交设计表进行试验,试验安排及结果^[15]如表 2 所示。

采用隶属度加权综合评分法进行分析^[16],根据经验,取压扁率权重为 0.7,碎草损失率权重为 0.3,综合评分 = $(I \times 0.7 + II \times 0.3) \times 100$,其中 I 为压扁率隶属度, II 为碎草损失率隶属度;指标隶属度 = (指标值 - 指标最小值) / (指标最大值 - 指标最小值)。

由于压扁率为极大型指标,碎草损失率为极小型指标,故将碎草损失率数据指标做极大型处理,令其倒数变化 $S' = 1/S$,然后再采用隶属度加权综合评分,评分结果如表 2。

3.4 试验结果分析

分析表 2 可知,从回复弹簧拉力变化引起的压扁率变化大小可看出,其对压扁效果的影响最为显著。当回复弹簧拉力 $F = 850$ N 时,所得作业效果最好。

在本试验所考察的因素中,对压扁率的影响主要因素依次为回复弹簧拉力,上、下压扁辊间隙与喂入量。由表 2 可以得到最优的因素水平组合为 $A_2B_2C_2$,即喂入量为 $2.16 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$,上、下压扁辊间隙为 3 mm,回复弹簧拉力为 850 N 时,获得最佳的压扁效果。

选取喂入量、上、下压扁辊间隙、回复弹簧拉力的最优组合做重复试验,试验结果如表 3 所示。当喂入量为 $2.16 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$,上、下压扁辊间隙为 3 mm,回复弹簧拉力为 850 N 时,压扁率平均值为 94.7%,碎草损失率平均值为 2.18%。

4 结 论

1) 设计了一种可以实时调节的割草机压扁间隙调节装置,通过螺杆推动 V 形浮动架铰链转轴转动来调节间隙,并采用回复弹簧使压辊排险后自动复位。

2) 通过改变影响各系统作业的因素,以压扁率高及碎草损失小为试验评价指标,通过正交试验研究和隶属度加权综合评分得到该装置作业时各因素的最优参数组合:喂入量为 $2.16 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$,上、下压扁辊间隙为 3 mm,回复弹簧拉力为 850 N。

3) 应用该最优组合进行验证性试验,结果表明:压扁率平均值为 94.7%,碎草损失率平均值为 2.18%,满足牧草收获的作业要求。

参 考 文 献:

- [1] 贾顺斌. 苜蓿采用不同刈割方式在大田晾晒期间粗蛋白含量变化研究[J]. 现代农业科技, 2011, (11): 345-347.
- [2] Arinze E A, Schoenau G J, Sokhansan J S, et al. Aerodynamic separation and fractional drying of alfalfa leaves and stems: a review and new concept[J]. Drying Technol, 2003, 21(9): 1669.
- [3] Ahmad K, David B, Galen M L. Forage drying using hard crushing and binders[J]. Transactions of the ASAE, 1985, 28(5): 1225-1228.
- [4] Hellwig R E, Butler J L, Monson W G, et al. A tandem roll mower-conditioner[J]. Transactions of the AESE, 1977, 20(7): 1029-1032.
- [5] Savoie P, Asselin N, Lajoie J, et al. Evaluation of intensive forage conditioning with a modified disk mower[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1997, 13(6): 709-714.
- [6] C Z. 卡那沃依斯基(波兰). 收获机械[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1983.
- [7] 高东明, 王德成, 郝丽颖, 等. 割草调制机的调制机构设计与试验[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2013, 34(3).
- [8] 卜繁超, 安向旗. 苜蓿干燥特点及推广割草压扁机的必要性[J]. 农业机械, 2002, (9): 35-36.
- [9] 赵春花, 韩正晨, 曹致中. 前置式齿型链割草压扁机的研制[J]. 中国农机化, 2010, (3): 67-70.
- [10] 王建英. 四重滚筒牧草干燥机工艺研究及附属设备设计[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2010.
- [11] 董德军. 旋转式牧草收割压扁机的设计初探[J]. 研究与试验, 2011, (4): 45-46.
- [12] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册: 下册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [13] 国家机械工业局. JB/T 9700—1999 牧草收获机械试验方法通则[S]. 1999.
- [14] 中国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 21899—2008 割草压扁机[S]. 2008.
- [15] 李云雁, 胡传荣. 试验设计及数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 122-142.
- [16] 李世杰, 郑少燕, 陈奕龙, 等. 综合评分法优化南板蓝方饲料添加剂提取工艺[J]. 畜牧与饲料科学, 2012, 33(3): 13-14.