

# 苜蓿总皂甙含量的遗传变异及其与农艺性状的相关分析

甘智才, 尚伦学, 刘勇, 王永雄

(西南大学重庆高校草食动物工程研究中心/牧草与草食家畜重点实验室, 重庆 400716)

**摘要:**【目的】通过对苜蓿总皂甙含量与农艺性状的相关分析找出一个能快速标记总皂甙含量高低的性状, 探索总皂甙含量的遗传变异规律。【方法】以耐湿热苜蓿新品种渝苜一号为材料, 测定 100 个苜蓿单株, 从中选出 5 个高皂甙植株和 5 个低皂甙植株。【结果】通过各单株后代系的试验确定了这 10 个植株的总皂甙遗传力在 0.118 到 0.745 之间变化, 后代系的变异系数在 15.54% 到 28.81% 之间变化, 高低皂甙群体的遗传力分别为 0.636 和 0.208, 高皂甙群体的遗传力明显高于低皂甙群体。苜蓿总皂甙含量与株高、叶色、虫害程度、干重和干物质率的相关分析及通径分析的结果表明: 叶色与总皂甙含量呈极显著负相关 ( $r=-0.405^{**}$ ), 且叶色与总皂甙含量的相关关系主要是直接效应 ( $P=-0.422^{**}$ ); 干重与总皂甙含量的相关主要是通过株高、叶色和干物质率的间接作用。【结论】通过常规育种方法要育成低皂甙苜蓿品种较为困难, 而一些高皂甙含量的后代系可作为高皂甙苜蓿品种的育种材料; 苜蓿的叶色可以作为快速识别苜蓿总皂甙含量高低的标记。

**关键词:** 苜蓿; 总皂甙; 遗传力; 农艺性状; 相关分析

## Correlation Analysis of Agronomic Characters and Heritability of Saponins Content in *Medicago sativa* L.

GAN Zhi-cai, SHANG Lun-xue, LIU Yong, YU Yong-xiong

(Key Laboratory of Grazing and Herbivore/Herbivore Engineering Research Center, Southwest University, Chongqing 400716)

**Abstract:** 【Objective】 Through correlation analysis between saponins content and agronomic characters in alfalfa, the authors try to find out one trait which can sign saponins content quickly and explore the rule about heritability and variation of saponins content. 【Method】 A new cultivar of Hot-wet alfalfa named Yumu No.1 was used as materials in this research, one hundred alfalfa plants were determined, five high saponin plants and five low saponin plants were selected. 【Result】 Saponins heritability of these 10 alfalfa plants changed from 0.118 to 0.745 through experiments on the lines of offsprings of every plant, and variation coefficient of the lines of offsprings changed from 15.54% to 28.81%, the heritability of high and low saponin groups was 0.636 and 0.208, respectively, and the heritability of high saponin group was obviously higher than low saponin group. The result of correlation and path analysis between the saponins content and plant height, leaf color, pest extent, dry weight as well as the dry matter content showed that there was an extremely significant relationship ( $r=-0.405^{**}$ ) between leaf color and saponins content, and the saponins content was affected by leaf color directly ( $P=-0.422^{**}$ ). The correlation between dry weight and saponins content was affected by plant height, leaf color and dry matter indirectly. 【Conclusion】 It is difficult to breed low saponin cultivar in alfalfa through general breeding method, but some lines of offsprings with high saponin content can be used as materials for breeding of high saponin content alfalfa cultivar. Leaf color of alfalfa can be used as a marker to identify saponins content in alfalfa quickly.

**Key words:** *Medicago sativa* L.; saponins; heritability; agronomic characters; correlation analysis

## 0 引言

【研究意义】苜蓿中的次生代谢物质——皂甙,

具有降低血液中胆固醇的药用价值, 并且能够抗动脉粥样硬化<sup>[1-3]</sup>, 但也能导致反刍动物发生瘤胃臌胀病<sup>[4]</sup>。如果把苜蓿皂甙制成药物, 能够有效地预防和

收稿日期: 2009-05-26; 接受日期: 2009-08-17

基金项目: 国家“973”计划(2007CB108901)、国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD01A19-7 和 2008BADB3B10-6)

作者简介: 甘智才, 硕士研究生。E-mail: ganzhicai\_hunan@yahoo.com.cn。通信作者王永雄, 教授, 博士。Tel: 023-68251080; E-mail: yuyongxiong8@126.com

治疗心血管方面的疾病<sup>[5]</sup>。目前全球所有降血脂、降胆固醇的药品都是他汀类药<sup>[6]</sup>，美国食品药品监督管理局 FDA 认证：苜蓿皂甙是当今所发现的纯天然物质中唯一能置换他汀类药的产品。但是因为苜蓿中的皂甙有 20 多种<sup>[7]</sup>，并且含量不是很高<sup>[8-9]</sup>，而且不同地区内的苜蓿因为环境的影响以及苜蓿品种的不同使皂甙含量存在明显差异<sup>[10]</sup>，所以生产苜蓿皂甙产品存在困难。在畜牧业生产中又因为皂甙的存在而影响畜牧业的发展。【前人研究进展】目前中国对苜蓿总皂甙含量的遗传变异研究很少，总皂甙含量与其它农艺性状相关性研究尚少，只有少数学者报道了苜蓿某些性状之间的相关研究。蒋骏等<sup>[11]</sup>报道了苜蓿冠层温度与农艺性状之间的相关分析。赵祥等<sup>[12]</sup>报道了不同休眠期苜蓿品种数量性状的相关分析。【本研究切入点】如果能通过育种方法提高或降低苜蓿中皂甙的含量，培育出的高皂甙苜蓿品种将从源头上解决苜蓿皂甙提取困难且成本较高的问题，为研制新药物提供可能性；而低皂甙苜蓿品种也将有效解决反刍动物发生瘤胃臌胀病的问题，加速草地畜牧业的发展。【拟解决的关键问题】本文从苜蓿总皂甙含量的遗传变异及其与有关农艺性状的相关性入手，通过试验确定苜蓿高、低皂甙群体和各个植株的遗传力，各个后代系的变异情况，以及苜蓿总皂甙含量与株高、叶色、干重、干物质率、虫害程度的相关性，旨在探索苜蓿总皂甙含量的遗传变异规律，通过相关分析找出一个能快速标记总皂甙含量高低的性状。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试材料为南方苜蓿新品种渝苜一号 (*Medicago sativa* L. cv. Yumu No.1)，从 2005 年 3 月开始在渝苜一号群体中测定 100 个的苜蓿植株，从中筛选出的 5 个高皂甙植株和 5 个低皂甙植株。将高、低皂甙群体隔离，群体内混合授粉，将成熟的种子按单株分别收种，于 2005 年 10 月分别播种，2006 年 3 月移栽至西南大学牧草试验基地的大田，10 月初分别进行采样，进行总皂甙含量测定。被筛选出的 10 个植株一共有 293 个子代。每个植株的 F<sub>1</sub> 代植株称作相对应的后代系。所有样本经过电热鼓风干燥箱在 70℃ 条件下烘至恒重，把烘干的苜蓿分别用微型植物粉碎机粉碎，过 40 目筛备用。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 苜蓿总皂甙的标准曲线与回归方程的建立 以

从波兰购买的苜蓿常春藤皂甙 (medicagenic acid) 做为标准品，标准品溶液的浓度为 0.4 mg·mL<sup>-1</sup>。分别吸取标准品溶液 0、50、100、200、300、400、500 和 600 μL 置 10 mL 具塞试管中，水浴蒸干，待冷却后分别加入 5% 的香草醛—冰醋酸溶液 0.2 mL，振摇溶解后加入高氯酸 0.8 mL，摇匀后置于 70℃ 水浴中加热 20 min，然后流水冷却，分别加入冰醋酸 5 mL，充分振摇后静止 10 min，然后测其在最大吸收波长 547 nm 处的吸光度值<sup>[13]</sup>。

1.2.2 苜蓿总皂甙样品的制备和含量的测定 精密称取苜蓿干粉 1.000 g，置于 100 mL 离心管中，加 20 mL 石油醚超声脱脂 30 min，脱脂完后在低速离心机中离心 10 min，转速为 5 000 r/min。离心完后将石油醚倒掉，放在烘箱中烘干。然后加 20 mL 70% 的甲醇超声提取 2 次，每次 30 min。在离心机中离心 10 min，转速为 5 000 r/min，将上清液倒入旋转瓶中，在旋转蒸化仪上将液体蒸为干浸膏，再加 5 mL 的去离子水 2 次溶解浸膏，将旋转瓶中的液体倒入小烧杯，再用等体积的正丁醇萃取 2 次，再把萃取液放在烘箱中浓缩成浸膏<sup>[13-15]</sup>。

用甲醇溶解浸膏并定容在 5 mL 的玻璃管中，用移液枪从中取 50 μL 样品液于 10 mL 塑料管中，水浴蒸干，冷却后加入 5% 的香草醛—冰醋酸溶液 0.2 mL，振摇溶解后加入高氯酸 0.8 mL，摇匀后置于 70℃ 水浴中加热 20 min，流水冷却，再加入冰醋酸 5 mL，充分振摇后静止，10 min 后在 U-1800 紫外可见分光光度计的 547 nm 处测定吸光度<sup>[13-15]</sup>。

1.2.3 苜蓿总皂甙含量遗传变异的计算 苜蓿总皂甙遗传力的计算采用 Stearns 的方法<sup>[16]</sup>，用公式表示为： $H^2=R/S$ 。其中的 H<sup>2</sup> 表示为广义遗传力，R 是各个植株 F<sub>1</sub> 代的总皂甙含量平均值与亲本群体总皂甙含量平均值之差，S 是各个植株的亲本总皂甙含量值与亲本群体总皂甙含量平均值之差。

苜蓿总皂甙的变异情况用公式表示为： $CV=(S/Y) \times 100\%$ 。其中 S 是每个后代系的标准差，Y 是相对应后代系总皂甙含量的平均值<sup>[17]</sup>。

1.2.4 农艺性状的表示方法 采样时将符合色标前 1/3 部分的绿色划为浅绿色，记为 3；符合色标中间部分的绿色划为深绿色，记为 2；符合色标后 1/3 部分的绿色划为灰绿色，记为 1 (图 1)。虫害程度分三级：每单株少于 10 个害虫视为轻度虫害，记为 1；每单株害虫在 10—50 个之间视为中度虫害，记为 2；每单株害虫多于 50 个视为严重虫害，记为 3。采样时用米尺



图1 绿色色标图

Fig. 1 Green color plotting

测量株高, 用天平称鲜重和干重。

### 1.3 数据分析

试验数据用 Excel 初步统计后, 利用 SPSS13.0 软件进行相关、回归等统计分析<sup>[18]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 标准曲线与回归方程

在 U-1800 型紫外可见分光光度计上, 按照“标准曲线”法测定不同浓度的标准品溶液在 547 nm 处的吸光度值, 结果见表 1。

表 1 不同浓度的苜蓿皂甙在 547 nm 的吸光度值

Table 1 The absorbency of different concentration medicagenic acid in 547 nm

苜蓿皂甙浓度 Medicagenic acid concentration (mg·mL <sup>-1</sup> )	吸光度 Absorbency (A)
0.0000	0.000
0.0033	0.066
0.0067	0.146
0.0133	0.321
0.0200	0.421
0.0267	0.569
0.0333	0.725
0.0400	0.814

以苜蓿皂甙的不同浓度为纵坐标, 吸光度为横坐标, 绘制成标准曲线, 如图 2。得到回归方程:  $y=0.0479x-0.0004$ ,  $R^2=0.996$ 。x 为吸光度, y 为浓度 (mg·mL<sup>-1</sup>), 在 0—0.040 mg·mL<sup>-1</sup> 的范围内, 符合朗伯—比尔定律, 吸收度和苜蓿皂甙含量呈良好的线性关系。

### 2.2 苜蓿皂甙的遗传力

由 2.1 中的回归方程, 计算出各植株的亲本和 F<sub>1</sub> 代总皂甙的含量, 结果如图 3 所示。从图 2 中可以看出 1、4、5、6、7 为高皂甙群体, 2、3、8、9、10 为低皂甙群体。苜蓿亲本群体的总皂甙含量的平均值为 1.444%。

**2.2.1 苜蓿高皂甙群体的遗传力** 因为是群体内混合授粉, 所以父本不是单独的某个植株, 而是群体内

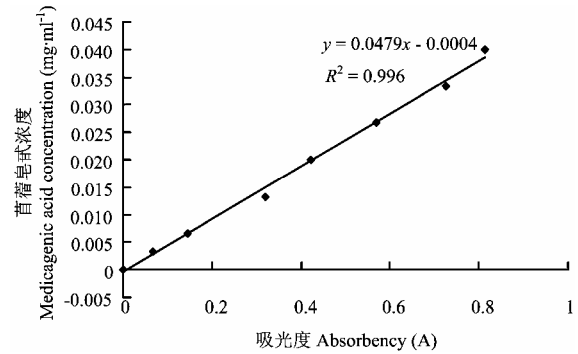
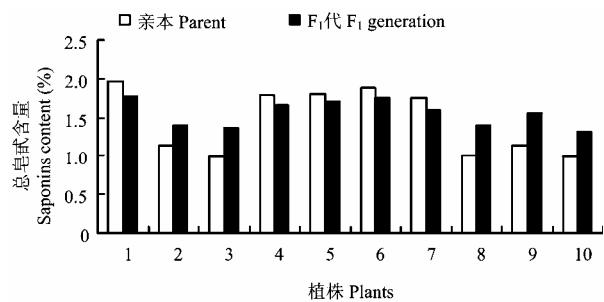


图 2 苜蓿皂甙的标准曲线

Fig. 2 Standard curve of medicagenic acid

图 3 苜蓿各植株的亲本和 F<sub>1</sub> 代总皂甙含量Fig. 3 Saponins content of parents and F<sub>1</sub> generations of alfalfa plants

的所有植株, 称之为父本系。苜蓿亲本群体的总皂甙含量的平均值为 1.444%, 记做 A。把高皂甙群体各植株的亲本和 F<sub>1</sub> 代的总皂甙含量放在一起, 亲本的总皂甙含量值记做 B, F<sub>1</sub> 代的总皂甙含量值记做 C,  $H^2=R/S=(C-A)/(B-A)$ , 按此公式计算各植株的遗传力, 见表 2。

由表 2 可知高皂甙群体的遗传力较高, 平均值为 0.636, 其中植株 1 和植株 6 的遗传力都在 0.7 以上, 植株 7 的遗传力较低, 为 0.435。

**2.2.2 苜蓿低皂甙群体的遗传力** 把低皂甙群体各植株的亲本和 F<sub>1</sub> 代的总皂甙含量放在一起, 由 2.2.1 中的方法计算各植株的遗传力见表 3。由表 3 可知低皂甙群体的遗传力较低, 平均值为 0.208, 其中植株 2、3、8 的遗传力都在 0.2 以下。

综合表 2、表 3 的信息可知, 1 号植株的后代系是 10 个后代系中皂甙含量最高的, 达 1.773%, 10 号植株的后代系是 10 个后代系中皂甙含量最低的, 只有

表 2 苜蓿高皂甙群体的遗传力

Table 2 Heritability of high alfalfa saponins group

植株 Plant	父本系 Father lines	母本 Mother	亲本 Parents (%)	F <sub>1</sub> 代 F <sub>1</sub> generation (%)	遗传力 Heritability
1	1.838	1.965	1.902	1.773	0.718
4	1.838	1.778	1.808	1.660	0.593
5	1.838	1.804	1.821	1.703	0.687
6	1.838	1.888	1.863	1.756	0.745
7	1.838	1.753	1.800	1.599	0.435
平均值 Mean	1.838	1.838	1.838	1.698	0.636

表 3 苜蓿低皂甙群体的遗传力

Table 3 Heritability of low alfalfa saponins group

植株 Plant	父本系 Father lines	母本 Mother	亲本 Parents (%)	F <sub>1</sub> 代 F <sub>1</sub> generation (%)	遗传力 Heritability
2	1.050	1.132	1.091	1.398	0.130
3	1.050	0.992	1.021	1.371	0.173
8	1.050	1.005	1.028	1.395	0.118
9	1.050	1.135	1.093	1.554	0.313
10	1.050	0.988	1.019	1.315	0.304
平均值 Mean	1.050	1.050	1.050	1.407	0.208

1.315%。高皂甙群体的平均皂甙含量为 1.698%，低皂甙群体的平均皂甙含量为 1.407%，两个群体之间皂甙含量差异经过  $F$  测验的统计分析得到： $F=33.33 > F_{0.01}=11.26$ ， $P < 0.01$ ，群体间皂甙含量水平达到极显著水平。

### 2.3 苜蓿各个株系的变异情况

表 4 苜蓿各个后代系的变异情况

Table 4 Variation of lines of alfalfa offsprings

后代系 Offspring lines	样本个数 No. of sample	总皂甙含量 Saponins content (%)	标准差 Std. dev (%)	变异系数 CV (%)
高皂甙群体 High saponins group				
1	18	1.773	0.344	19.40
4	55	1.660	0.459	27.65
5	32	1.703	0.393	23.08
6	45	1.756	0.309	17.60
7	20	1.599	0.399	24.95
平均值 Mean	34	1.698	0.381	22.54
低皂甙群体 Low saponins group				
2	29	1.398	0.326	23.32
3	35	1.371	0.395	28.81
8	17	1.395	0.219	15.70
9	22	1.544	0.240	15.54
10	20	1.315	0.247	18.78
平均值 Mean	25	1.407	0.285	20.43

由 1.2.3 中的公式计算得到各个后代系和群体的变异系数见表 4。由表 4 可知高皂甙群体的变异系数为 22.54%，低皂甙群体的变异系数为 20.43%，比高皂甙群体的变异系数低 2.11%。10 个后代系中有 2 个后代系的变异系数超过了 25%，分别是后代系 4 和后代系 3。

## 2.4 苜蓿总皂甙含量与其农艺性状的相关性分析

表 5 显示, 各农艺性状中, 与总皂甙的相关程度依次为叶色 (-0.405) > 株高 (-0.061) > 干物质率 (0.040) > 干重 (0.037) > 虫害程度 (-0.028)。叶色与总皂甙的相关性达到极显著水平 ( $r=-0.405^{**}$ ), 即叶色越深, 总皂甙的含量越高。

## 2.5 苜蓿各农艺性状对总皂甙含量的通径分析

通过对相关系数的分解, 可以观察到各农艺性状对总皂甙含量的贡献大小, 明确各农艺性状对总皂甙含量的作用途径及其作用大小, 揭示各农艺性状对总皂甙含量作用的事实。表 6 显示, 各农艺性状对总皂甙含量的直接通径系数除干物质率之外, 其它均为负值, 表示除干物质率以外, 其它因素都会限制苜蓿总皂甙的含量的提高。各农艺性状对总皂甙的直接通径

系数依次为叶色 (-0.422) > 干物质率 (0.112) > 株高 (-0.067) > 虫害程度 (-0.032) > 干重 (-0.008), 间接通径系数依次为干物质率 (-0.072) > 干重 (0.045) > 叶色 (0.017) > 株高 (0.006) > 虫害程度 (0.004)。干重的间接通径系数 (0.045) 大于直接通径系数 (-0.008), 也就是说干重对总皂甙含量的影响是通过干重对株高、叶色、虫害程度、干物质率的间接作用来影响的, 其中最主要是通过叶色的间接作用 (0.0612) 来影响总皂甙含量的。其余农艺性状的直接通径系数大于间接通径系数。各个农艺性状通过其它农艺性状产生的间接效应都对直接效应有一定程度的削弱。其中干物质率通过株高、叶色、虫害程度、干重的间接效应对直接效应的削弱程度较大, 将近 70%。

表 5 苜蓿总皂甙含量与农艺性状间的相关性系数

Table 5 Correlation coefficient of agronomic traits and saponins content in alfalfa

性状 Characters	叶色 Leaf color	虫害程度 Pest extent	干重 Dry weight	干物质率 Dry matter	总皂甙含量 Saponins content
株高 Plant height	-0.005	-0.167**	0.534**	0.026	-0.061
叶色 Leaf color		0.048	-0.145*	0.157**	-0.405**
虫害程度 Pest extent			-0.200**	0.101	-0.028
干重 Dry weight				0.118*	0.037
干物质率 Dry matter					0.040

\*\*：表示相关达到极显著水平 ( $P<0.01$ ), \*：表示达到显著水平 ( $P<0.05$ )。下同

\*\*：Correlation reached extremely significant level ( $P<0.01$ ), \*：Correlation reached significant level ( $P<0.05$ ). The same as below

表 6 农艺性状对总皂甙含量的通径分析

Table 6 Path analysis of agronomic traits and saponin content

变量 Variable	相关系数 Correlation coefficient	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient					
			合计 Total	株高 Plant height	叶色 Leaf color	虫害程度 Pest extent	干重 Dry weight	干物质率 Dry matter
株高 Plant height	-0.061	-0.067	0.006		0.0021	0.0053	0.0043	0.0029
叶色 Leaf color	-0.405**	-0.422**	0.017	0.0003		0.0015	0.0012	0.0176
虫害程度 Pest extent	-0.028	-0.032	0.004	0.0112	-0.0203		0.0016	0.0113
干重 Dry weight	0.037	-0.008	0.045	-0.0358	0.0612	0.0064		0.0132
干物质率 Dry matter	0.040	0.112*	-0.072	-0.0017	-0.0663	-0.0032	-0.0009	

## 3 讨论

### 3.1 遗传力、皂甙含量和变异系数对育种材料选择的影响

供试 10 个植株的遗传力在 0.118—0.745 变化,  $F_1$  代总皂甙平均含量 1.315%—1.773%, 变异系数 15.54%—28.81%。高皂甙群体的遗传力明显高于低皂

甙群体。更有植株 5 和植株 6 的遗传力在 0.7 以上, 而低皂甙群体的遗传力大多在 0.3 以下。这说明要育成低皂甙含量的苜蓿品种难度较大, 原因可能是皂甙与植株的抗病虫害机制有关。Hafiza 等发现从苜蓿根中提取的粗皂甙具有抗炭疽 (*colletotricum falcatum*) 的活性<sup>[19]</sup>。Saniewska 等和 Nozzolillo 等研究发现苜蓿根皂甙作为昆虫的驱散剂及抗生现象方面具有特殊的

活性<sup>[20-21]</sup>。所以当苜蓿体内皂甙含量过低时,苜蓿对外的防御机制无法形成。加之苜蓿的总皂甙含量与环境条件有极大的关系,不同的环境条件对苜蓿皂甙含量影响很大<sup>[10]</sup>,所以早代选育低皂甙品种效果不明显,要育成低皂甙含量的苜蓿品种需借助分子育种。

在遗传力、总皂甙含量、变异系数这3个指标中遗传力对育种材料的影响是第一位的,其次分别是变异系数和总皂甙含量。在进行育种材料选择时除考虑遗传力外,另外就是要求材料的变异系数大,因为变异大的材料才能产生更高或者更低的皂甙含量水平。结合这3个指标对10个后代系进行综合选择,发现高皂甙群体的1号植株,它的遗传力、皂甙含量水平和变异系数分别为0.718、1.773%和19.40%。因此植株1的后代系适合作为高皂甙苜蓿品种的育种材料。

### 3.2 农艺性状对总皂甙含量的效应

相关分析结果表明,各农艺性状与总皂甙的相关程度依次为:叶色(-0.405) > 株高(-0.061) > 干物质率(0.040) > 干重(0.037) > 虫害程度(-0.028)。叶色的深浅程度与总皂甙含量的相关性达到极显著负相关水平。因此可以把叶色作为快速简单识别苜蓿总皂甙含量高低的标记,把叶色很深的苜蓿作为选育高皂甙品种的育种材料。叶色之所以和总皂甙含量极显著相关,可能是因为皂甙属于三萜衍生物<sup>[22-23]</sup>,而类胡萝卜素属于四萜衍生物,它们在植物体内的生物合成都来自甲羟戊烯途径,都必须以异戊烯二磷酸为底物<sup>[24]</sup>,当皂甙合成增加时,可能对类胡萝卜素的合成产生影响,改变叶片中叶绿素和类胡萝卜素3:1的比例,使叶色表现出差别。

通径分析结果显示各农艺性状除干重外对总皂甙含量的影响都是直接效应大于间接效应,而干重是间接效应大于直接效应。可能是因为干重与株高、叶色、虫害程度以及干物质率的相关系数都比干重与总皂甙含量的相关系数( $r=0.037$ )要大,所以干重对总皂甙含量的影响更多地是通过间接效应来作用的。这与王成杰等报道的在苜蓿干草调制过程中含水量与粗蛋白质之间的相关关系是通过中性洗涤纤维(NDF)和叶片损失率的间接影响产生的研究结果<sup>[25]</sup>相似。

## 4 结论

4.1 低皂甙群体的遗传力低,因此通过常规育种选育低皂甙品种较为困难。综合考虑遗传力、总皂甙含量水平和变异系数,植株1的后代系适合作为育成高皂甙苜蓿品种的育种材料。

4.2 相关及通径分析结果显示苜蓿的叶色与总皂甙含量的相关性达到极显著负相关水平。即叶色越深,总皂甙含量越高。可以把叶色作为快速简单识别苜蓿总皂甙含量高低的标记。

## References

- [1] 丛学滋,秦孟根,李子行,李琦,卜乃钊,戴德哉. 苜蓿皂甙的降血脂固醇及减轻实验性动脉粥样硬化形成的作用. 中国药理学通报, 1988, 4(5): 293.  
Cong X C, Qin M G, Li Z H, Li Q, Bo N Z, Dai D Z. Lowering serum cholesterol and regression of experimental atherosclerotic plaques induced by alfalfa saponins. *Chinese Pharmacological Bulletin*, 1988, 4(5): 293. (in Chinese)
- [2] Malinow M R. Experimental models of atherosclerosis regression. *Atherosclerosis*, 1983, 48(2): 105-108.
- [3] Rodrigues H G, Diniz Y S, Faine L A, Galhardi C M, Burneiko R C, Almeida J A, Ribas B O, Novelli ELB. Antioxidant effect of saponin: potential action of a soybean flavonoid on glucose tolerance and risk factors for atherosclerosis. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2005, 56(2): 79-85.
- [4] 胡伟莲,陈雪君,段智勇,刘建新. 皂甙对畜禽的营养作用. 中国畜牧杂志, 2005, 41(3): 35-36.  
Hu W L, Chen X J, Duan Z Y, Liu J X. The function of saponins in animal nutrition. *Chinese Journal of Animal Science*, 2005, 41(3): 35-36. (in Chinese)
- [5] Purmova J, Opletal L. Phytotherapeutic aspects of diseases of the cardiovascular system 5 Saponins and possibilities of their use in prevention and therapy. *Ceska Slov Farm*, 1995, 44(5): 246-251.
- [6] 陈浩,许长青,李瑞林,赵尚清. 他汀类药物的药理作用与临床应用. 武警医学, 2005, 16(11): 862.  
Chen H, Xu C Q, Li R L, Zhao S Q. The pharmacological effect and clinical application of Statins. *Medical Journal of the Chinese Peoples Armed Force*, 2005, 16(11): 862. (in Chinese)
- [7] Baily Z, Jurzysta M, Oleszek W, Piacente S, Pizza C. Saponins in alfalfa (*Medicago sativa* L.) root and their structural elucidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1999, 47 (8): 3185-3192.
- [8] Stochmal A, Oleszek W. Determination of alfalfa (*Medicago sativa*) saponins by high performance liquid chromatography. *Phytochemical Analysis*, 1994, 5(5): 271-272.
- [9] Livingston A L, Knuckles B E, Edwards R H, Defremery D, Miller R E. Distribution of saponin in alfalfa protein recovery systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1979, 27(2): 362.
- [10] Malinow M R, McLaughlin P, Stafford C, Livingston A L, Kohler G O.

- Alfalfa saponins and alfalfa seeds dietary effects in cholesterol fed rabbits *Oryctolagus-cuniculus*. *Atherosclerosis*, 1980, 37 (3): 433-438.
- [11] 蒋 骏, 贾志宽, 徐春明, 刘玉华. 苜蓿冠层温度与农艺性状的相关分析. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(4): 20-22.
- Jiang J, Jia Z K, Xu C M, Liu Y H. Correlative analysis between canopy temperature and agronomic characters of alfalfa. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(4): 20-22. (in Chinese)
- [12] 赵 祥, 岳文斌, 任有蛇, 董宽虎. 不同休眠级苜蓿品种数量性状的相关分析. *草地学报*, 2005, 13(4): 282-285.
- Zhao X, Yue W B, Ren Y S, Dong K H. Correlation analysis on quantitative characters of different fall-dormancy alfalfa cultivars. *Acta Agrestia Sinica*, 2005, 13(4): 282-285. (in Chinese)
- [13] 安如彬, 马 勇, 樊新斌, 高 鹏. D-101 大孔吸附树脂纯化苜蓿总皂甙的工艺研究. *辽宁大学学报*, 2008, 35(1): 68-69.
- An R B, Ma Y, Fan X B, Gao P. The study on purification technology of alfalfa saponins with macroporous resin. *Journal of Liaoning University*, 2008, 35(1): 68-69. (in Chinese)
- [14] 刘 勇, 王永雄. 超声波法提取苜蓿皂甙最适条件的研究. *草业与畜牧*, 2006(9): 8-10.
- Liu Y, Yu Y X. Research on optimal condition of extracting alfalfa saponins with supersonic wave. *Prataculture and Animal Husbandry*, 2006(9): 8-10. (in Chinese)
- [15] 何 云, 王艳荣, 王彦华, 王岩保. 苜蓿皂甙提取测定研究进展. *广东农业科学*, 2008(1): 82-84.
- He Y, Wang Y R, Wang Y H, Wang Y B. Research on extraction and determination of saponins in alfalfa. *Guangdong Agricultural Science*, 2008(1): 82-84. (in Chinese)
- [16] Stearns S C. *The Evolution of Life Histories*. London: Oxford University Press, 1992: 47-48.
- [17] 盖钧镒. *试验统计方法*. 北京: 中国农业出版社, 1999: 46.
- Gai J Y. *Experimentation Method*. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 46. (in Chinese)
- [18] 张 琪, 丛 鹏, 彭 励. 通径分析在 Excel 和 SPSS 中的实现. *农业网络信息*, 2007(3): 109-111.
- Zhang Q, Cong Q, Peng L. Implement of path analysis in Excel and SPSS. *Agricultural Network Information*, 2007(3): 109-111. (in Chinese)
- [19] Hafiza M A, Parveen B, Ahmad R. Phytochemical and Antifungal Screening of *Medicago sativa* and *Zinnia elegans*. *Journal of Biological Sciences*, 2002, 2(2): 130-132.
- [20] Saniewska A, Jurzysta M, Bialy Z. Differential antifungal activity of alfalfa (*Medicago sativa* L.) saponins originated from roots and aerial parts for some ornamental plant pathogens. *Acta Agrobotanica*, 2001, 54(1): 31.
- [21] Nozzolillo C, Arnason J T, Campos F, Donskov N, Jurzysta M. Alfalfa leaf saponins and insect resistance. *Journal of Chemical Ecology*, 1997, 23(4): 995-1002.
- [22] Oleszek W, Jurzysta M, Ploszynski M, Colquhoun I J, Price K R, Fenwick G R. Zanhic acid tridesmoside and other dominant saponins from alfalfa (*Medicago sativa* L.) aerial parts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1992, 40(2): 191-194.
- [23] Pederson M W. Relative quantity and biological activity of saponins in germinated seeds, root and foliage of alfalfa. *Crop Science*, 1975, 15 (4): 541-543.
- [24] 潘瑞焜. *植物生理学(第五版)*. 北京: 高等教育出版社, 2004: 127-130.
- Pan R Z. *Plant Physiology (5th Edition)*. Beijing: Higher Education Press, 2004: 127-130. (in Chinese)
- [25] 王成杰, 周 禾, 玉 柱, 汪诗平. 苜蓿干草调制过程中群体特征对粗蛋白质的通径分析. *草业学报*, 2005, 14(3): 79-81.
- Wang C Z, Zhou H, Yu Z, Wang S P. Path analysis of the population characters to crude protein during *Medicago sativa* hay cured. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(3): 79-81. (in Chinese)

(责任编辑 郭银巧)