

## 四倍体刺槐不同根龄幼林的生物量及叶片营养研究

张国君<sup>1</sup> 李云<sup>1</sup> 李方平<sup>2</sup> 徐兆翻<sup>1</sup> 孙宇涵<sup>1</sup>

(1 北京林业大学生物科学与技术学院, 林木花卉遗传育种教育部重点实验室 2 南阳市林业调查规划管理站)

**摘要:**为了掌握四倍体刺槐根龄与生物量和叶片营养含量之间的变化规律,更好地指导实际生产,分别测定了四倍体刺槐不同根龄的生物量及叶片的营养含量。结果表明:四倍体刺槐不同根龄中当年生植株的株高、地径、茎叶比、总重和叶重均随根龄的增长而增加,3年根当年茎的总重和叶重分别达1 138和637 g;不同树龄的株高、总重、叶重和茎叶比也随着树龄的增长而增加,3年生树龄的总重为2 230 g,远高于3年根当年茎,但其叶重仅为603 g,稍低于3年根当年茎;当年生植株的叶片粗蛋白含量高达225.45 g/kg,极显著高于2年根当年茎、3年根当年茎、4年根3年茎和5年根4年茎( $P<0.01$ ),而后4个根龄之间叶片粗蛋白含量则无显著差异( $P>0.05$ ),且叶片粗蛋白含量均高于178.75 g/kg;根龄对钙含量的影响达到极显著水平( $P<0.01$ ),并且钙含量有随着根龄的增长而增加的趋势;不同根龄对四倍体刺槐叶片的粗脂肪、粗灰分、磷和单宁含量影响均不显著( $P>0.05$ )。从生物量和营养综合考虑,四倍体刺槐饲料林定植当年不刈割,第2年开始刈割,进行矮林作业较好。

**关键词:**四倍体刺槐;叶片营养;根龄;树龄

**中图分类号:**S792.27 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1522(2009)03-0037-05

ZHANG Guo-jun<sup>1</sup>; LI Yun<sup>1</sup>; LI Fang-ping<sup>2</sup>; XU Zhao-he<sup>1</sup>; SUN Yu-han<sup>1</sup>. **Effects of root age on biomass and leaf nutrition in tetraploid *Robinia pseudoacacia*.** *Journal of Beijing Forestry University* (2009) 31(3) 37-41 [Ch., 23 ref.]

<sup>1</sup> Key Laboratory for Genetics and Breeding in Forest Trees and Ornamental Plants of Ministry of Education, College of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

<sup>2</sup> Forestry Investigation & Planning Administrative Office, Nanyang City, Henan Province, 473056, P. R. China.

This study was conducted to assess the impact of root age on biomass and leaf nutrition in tetraploid *Robinia pseudoacacia*. Results indicated that plant height, base diameter, branch/leaf, gross weight and leaf weight of new sprout increased with root age. The total gross and leaf weight of the 3-year-old plant was 1 138 and 637 g at root age 3, respectively. The plant height, branch/leaf, gross weight and leaf weight increased with tree age, and the gross weight, which amounted to 2 230 g at tree age 3, was significantly higher than that of new sprouts with a root age of 3. But the leaf weight of the 3-year-old tree was only 603 g, lower than that of new sprouts with root age 3. In addition, the amount of crude protein in leaves of new sprout was 225.45 g/kg, which was significantly larger than those of new sprout in 2 years root age, new sprout in 3 years root age, three-year-stem in 4 years root age and four-year-stem in 5 years root age ( $P<0.01$ ). However, there were no significant differences among new sprout with a root age of 2, new sprout with root age 3, three-year-stem with root age 4 and four-year-stem in 5 years root age ( $P>0.05$ ). However, leaf crude protein of these plants was higher than 178.75 g/kg. The amount of Ca in leaves was significantly affected by root age ( $P<0.01$ ), and increased with root age. The amount of ether extract, crude ash, P and tannin in leaves was not significantly affected by root age ( $P>0.05$ ). Overall, the data show that tetraploid *R. pseudoacacia* forage forest should be cut at age 2 and develop cultivated coppice to maximize biomass and plant nutrition.

**Key words** tetraploid *Robinia pseudoacacia*; leaf nutrition; root age; tree age

收稿日期:2008-03-20

<http://www.bjfujournal.cn>, <http://journal.bjfu.edu.cn>

基金项目:国家林业局林业科学技术推广项目(2003-5-2)、国家林业局重点科研项目(2004-04)。

第一作者:张国君,博士生。主要研究方向:林木生物技术。电话:010-62336094 Email:zhangguojun-8@163.com 地址:100083 北京林业大学 118 信箱。

责任作者:李云,教授,博士生导师。主要研究方向:林木遗传育种和生物技术。电话:010-62336094 Email:yunli@bjfu.edu.cn 地址:同上。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

四倍体刺槐(*tetraploid Robinia pseudoacacia*)是北京林业大学于 1997 年从韩国引入到我国的刺槐优良无性系。其具有可利用年限长、萌芽力强的生物学特性,而且可以防止水土流失、改善生态环境;更重要的是其叶片宽大肥厚、蛋白质含量高、柔嫩多汁、适口性好,是优良的饲料树种<sup>[1]</sup>。

自将四倍体刺槐引入我国以来,北京林业大学四倍体刺槐课题组在分析四倍体刺槐叶粉的粗蛋白质、钙、磷等常规成分含量及氨基酸组分的基础上,对其营养价值和饲用价值进行评定;并对四倍体刺槐不同生长时期及不同部位的叶片营养成分和不同生长时期的氨基酸营养进行了分析研究<sup>[1]</sup>。但不同根龄对四倍体刺槐的生物量及叶片的营养影响如何,以及从哪个根龄开始四倍体刺槐趋于稳定生长,不同根龄的生物量与不同树龄的生物量相比有何变化,到目前为止,针对这些问题的研究均未见报道。据 Barrett<sup>[2]</sup>对普通刺槐的研究发现,刺槐饲料林种植当年刈割会严重降低其以后的生产能力和存活率。Papanastasis 等<sup>[3]</sup>研究表明,种植后第 2 年开始刈割,在随后的几年内,11 种落叶饲料树种中,刺槐的年生物量最大。此外,刺槐的株高和地径生长速率与树龄存在典型正相关关系<sup>[4]</sup>。另外,植物叶片的营养与季节和叶龄的关系有诸多报道<sup>[5-8]</sup>,但未见根龄对叶片营养影响的报道。因此,为了更好地了解四倍体刺槐生物量和叶片营养含量的变化规律,作者测定了四倍体刺槐不同根龄的生物量及叶片的营养成分,从而为指导实际生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地自然概况

试验地设在廊坊地区香河县,地理位置 39°36′~39°51′N,116°52′~117°11′E,位于燕山山脉南麓,潮白河冲洪积平原扇缘向冲积平原过渡的交接地带,土壤以褐土和潮土为主。属典型暖温带大陆性气候,年平均气温为 11.1℃,年总降水量为 905.1 mm,年蒸发量为 1 681.9 mm,相对湿度平均为 58%,全年日照时数平均为 2 870 h,年无霜期平均为 183 d。

1.2 试验材料

2007 年 8 月中旬按照完全随机试验方法调查不同根龄和树龄的生物量,每处理调查 50 株,分别测量其株高、地径,并剪取植株称量总重,然后摘取每株叶片,称量其叶重。试验林种植穴规格均为 40 cm×40 cm(深×直径),栽培密度均为 0.4 m×0.8 m(株距×行距),日常水肥等管理措施一致。种植年份、面积及特殊管理措施分别为:①不同根龄:当年

生植株,2007 年春天定植林分中的植株,试验林面积为 3 300 m<sup>2</sup>;2 年根当年茎,2006 年春天定植的林分并在 2007 年春天平茬后萌生林分中的植株,试验林面积为 2 000 m<sup>2</sup>;3 年根当年茎,2005 年春天定植的林分并分别在 2006 和 2007 年春天平茬后萌生林分中的植株,试验林面积为 2 000 m<sup>2</sup>;4 年根 3 年茎,2004 年春天定植的林分并在 2005 年春天平茬后萌生林分中的植株,试验林面积为 1 300 m<sup>2</sup>;5 年根 4 年茎,2003 年春天定植的林分并在 2004 年春天平茬后萌生林分中的植株,试验林面积为 1 300 m<sup>2</sup>。②不同树龄:当年生茎,2007 年春天定植的林分,试验林面积为 3 300 m<sup>2</sup>;2 年生,2006 年春天定植的林分,试验林面积为 2 000 m<sup>2</sup>;3 年生,2005 年春天定植的林分,试验林面积为 2 000 m<sup>2</sup>。

营养测试的四倍体刺槐叶片采于 2007 年 7 月 15 日、7 月 30 日、8 月 15 日和 10 月 5 日,并将这 4 个时期的数据作为叶片营养的 4 次重复数据进行统计分析。在试验林内每次随机选取 3 个小区,每个小区 10 株;离地面 20 cm 剪取小区内植株,摘取其叶片混匀,用四分法分别取 500 g 鲜叶,干燥处理后得风干样品备用。

1.3 测定方法

粗蛋白质:凯氏法(GB/T 6432—1994)<sup>[9]</sup>;粗脂肪:索氏抽提法(GB/T 6433—1994)<sup>[9]</sup>;粗灰分:干灰化法(GB/T 6438—1992)<sup>[9]</sup>;钙:高锰酸钾滴定法(GB/T 6436—2002)<sup>[9]</sup>;磷:分光光度法(GB/T 6437—2002)<sup>[9]</sup>;单宁:磷钼酸-钨酸钠(F-D)比色法<sup>[10]</sup>。

1.4 数据分析

用 Excel 和统计软件 SPSS 对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 根龄及树龄对生物量的影响

2.1.1 不同根龄的生物量

四倍体刺槐饲料林每年刈割后要重新萌蘖,其生物量与不同根龄之间的关系见表 1。从试验结果可以看出:四倍体刺槐的株高、地径、茎叶比、总重和叶重均随根龄的增长而增加,这与前人的研究结果一致<sup>[11]</sup>;株高和地径在各个根龄之间均存在极显著差异( $P<0.01$ ),并且 3 年根当年茎的株高和地径分别为 226.7 cm 和 18.87 mm;总重和叶重也是 3 年根当年茎最高,分别为 1 138 和 637 g,并均极显著高于 2 年根当年茎和当年生植株( $P<0.01$ ),但 2 年根当年茎只显著高于当年生植株( $P<0.05$ );茎叶比在 2 年根当年茎和 3 年根当年茎之间无显著差别( $P>0.05$ ),但两者均极显著高于当年生植株( $P<0.01$ )。

表 1 不同根龄当年生萌蘖的生物量

TABLE 1 Biomass of new sprout of the current year at different root ages

根龄	株高/cm	地径/mm	单株总重/g	单株叶重/g	茎叶比
3 年根当年茎	226.7±9.3 a A	18.87±0.10 a A	1 138±149 a A	637±77 a A	0.70±0.03 a A
2 年根当年茎	188.6±7.5 b B	14.21±0.07 b B	464±53 b B	259±30 b B	0.77±0.02 a A
当年生植株	87.6±4.4 c C	8.18±0.04 c C	131±19 c B	94±11 c B	0.33±0.02 b B

注：茎叶比分析时经过了  $\theta=\arcsin p^{1/2}$  转换；同列不同小写字母表示在 0.05 水平下差异显著，同列不同大写字母表示在 0.01 水平下差异显著。表 2~3 同此。

2.1.2 不同树龄的生物量

四倍体刺槐不同树龄的生物量见表 2。从分析结果可知：不同树龄的株高、总重、叶重和茎叶比之间均存在极显著差异 ( $P<0.01$ )，而且各项指标均随着树龄的增长而增加；另外，除叶重在 3 年生和 2 年生之间无显著差异外 ( $P>0.05$ )，其余各项指标在各个树龄之间均差异极显著 ( $P<0.01$ )。

从表 1~2 可以看出：四倍体刺槐 2 年生树龄的株高为 253.0 cm，较 2 年根当年茎和 3 年根当年茎的株高分别高出 64.4 和 26.3 cm；2 年生树龄的总重和叶重均远远高于 2 年根当年茎，甚至其叶重与 2 年根当年茎的总重也相差无几；3 年生树龄的总重为 2 230 g，远高于 3 年根当年茎的总重(1 138 g)，但

其叶重仅为 603 g，稍低于 3 年根当年茎的叶重。造成不同树龄和根龄的总重相差巨大，而叶重相差很小的原因是其茎叶比不同。2 年根当年茎和 3 年根当年茎的茎叶比分别为 0.77 和 0.70，而 2 年生树龄和 3 年生树龄的茎叶比高达 1.25 和 2.70。

综合不同根龄和树龄的生物量结果可知，四倍体刺槐在定植当年根系发育不完全，植株生长缓慢，第 2 年植株生长迅速，第 3 年生长趋于稳定。因此，四倍体刺槐饲料林最佳栽培措施是定植当年不刈割，第 2 年开始每年刈割更新进行矮林栽培。

2.2 根龄对叶片营养的影响

一般情况下，植物随着根龄的增长，生物量也逐渐增加。四倍体刺槐不同根龄叶片营养含量见表 3。

表 2 不同树龄的生物量

TABLE 2 Biomass of different tree ages

树龄	株高/cm	单株总重/g	单株叶重/g	茎叶比
3 年生	345.9±23.2 a A	2 230±595 a A	603±160 a A	2.70±0.17 a A
2 年生	253.0±12.1 b B	1 033±190 b B	458±84 a A	1.25±0.01 b B
当年生	87.6±4.4 c C	131±19 c C	94±11 b B	0.33±0.02 c C

表 3 不同根龄叶片的营养含量

$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$

TABLE 3 Leaf nutrition of different root ages

根龄	干物质	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分	钙	磷	单宁
当年生植株	884.65	225.45±0.81 a A	46.70±0.24	65.70±0.14	5.65±0.04 c C	1.33±0.02	14.70±0.32
2 年根当年茎	891.18	182.43±1.55 b B	55.45±0.76	68.48±1.03	7.10±0.03 b BC	1.33±0.01	16.10±0.16
3 年根当年茎	894.80	185.95±1.07 b B	45.28±0.26	84.35±0.76	7.28±0.01 b AB	1.65±0.01	13.15±0.15
4 年根 3 年茎	900.73	178.75±0.99 b B	48.95±0.52	95.80±0.58	8.40±0.06 a A	1.45±0.03	11.75±0.27
5 年根 4 年茎	902.88	190.65±0.89 b B	50.30±0.32	86.08±0.72	8.20±0.10 a AB	1.40±0.03	16.80±0.20

2.2.1 根龄对叶片粗蛋白的影响

粗蛋白是饲料中的重要营养成分，其含量的高低是衡量饲料好坏的重要指标之一。由表 3 可知，四倍体刺槐不同根龄叶片的粗蛋白含量差异极显著 ( $P<0.01$ )。进一步多重比较可以看出，在根龄对叶片粗蛋白的影响中，当年生植株极显著高于 2 年根当年茎、3 年根当年茎、4 年根 3 年茎和 5 年根 4 年茎 ( $P<0.01$ )，而后 4 个根龄之间则无显著差异 ( $P>0.05$ )。但四倍体刺槐当年生植株叶片的粗蛋白含量高达 225.45 g/kg，其他几个根龄的叶片粗蛋白含量虽然较当年生植株有所下降，但均高于 178.75 g/kg，也高于二级苜蓿 (*Medicago*) 草粉标准 (170.0 g/kg)。

2.2.2 根龄对叶片粗脂肪的影响

脂肪是含能最高的营养素，生理条件下脂类含能是蛋白质和碳水化合物的 2.24 倍。因此用提高日粮脂肪含量来满足反刍动物增重净能是目前国内外反刍动物营养研究的热点<sup>[12]</sup>。然而在反刍动物日粮中，一般含 20~50 g/kg 的脂肪，过多的脂肪及脂肪酸易对瘤胃微生物和饲料颗粒产生包被作用，使微生物不能与饲料接触，从而影响瘤胃的消化，故配制日粮时必须根据日粮中脂肪含量及其在瘤胃中的降解率来确定脂肪补饲水平<sup>[13]</sup>。因此，了解四倍体刺槐叶片的脂肪含量在不同根龄中的变化趋势就显得尤为重要。试验结果表明，不同根龄对叶片中脂肪含量的影响没有达到显著水平 ( $P>0.05$ )，而

且,四倍体刺槐叶片中的粗脂肪含量几乎均在 50.0 g/kg 以下,符合反刍动物的日粮要求。

2.2.3 根龄对叶片粗灰分、钙和磷的影响

粗灰分的含量与材料所含的矿物质有关,而钙和磷是家畜矿物营养中两个重要的元素。根据表 3 的分析结果可知,根龄对粗灰分含量的影响没有达到显著水平 ( $P>0.05$ ),但四倍体刺槐叶片的粗灰分含量随着根龄的增长呈增加趋势。

对不同根龄四倍体刺槐叶片钙含量的分析表明,根龄对钙含量的影响达到极显著水平 ( $P<0.01$ )。通过多重比较得出:4 年根 3 年茎钙含量极显著高于 2 年根当年茎和当年生植株 ( $P<0.01$ );4 年根 3 年茎和 5 年根 4 年茎钙含量显著高于 2 年根当年茎和 3 年根当年茎 ( $P<0.05$ ),2 年根当年茎和 3 年根当年茎又显著高于当年生植株 ( $P<0.05$ ),2 年根当年茎与 3 年根当年茎以及 5 年根 4 年茎与 4 年根 3 年茎之间无显著差异 ( $P>0.05$ )。由上述分析可知,四倍体刺槐叶片钙含量总体上随着根龄的增长而增加,这与黄宝龙等<sup>[14]</sup>的研究结果相似。

根据表 3 中的数据可知,根龄对叶片磷含量的影响没有达到显著水平 ( $P>0.05$ ),但不同根龄四倍体刺槐叶片中的磷含量为 1.3~1.7 g/kg,磷含量比较丰富。另外,经过计算得出,四倍体刺槐不同根龄叶片的钙磷比值处于 4:1 至 6:1 范围内,适合作为反刍动物的饲料来源。

2.2.4 根龄对叶片单宁含量的影响

植物单宁又称植物多酚,是一类广泛存在于植物体内的多元酚化合物。在近来的研究中发现,尽管刺槐叶粉的蛋白质含量高,但猪对它的消化率很低,究其原因,可能与刺槐叶粉中存在的单宁有关<sup>[15]</sup>。单宁有一定营养作用,这主要表现在过瘤胃蛋白保护作用、提高平均排卵率、抗寄生虫等作用<sup>[16-19]</sup>,但饲料中单宁含量过高,会有一系列副作用,影响家畜的随意采食量、降低家畜对养分的消化率、瘤胃发酵作用减弱、有毒性作用<sup>[20-21]</sup>。正因为这些副作用人们常采用各种方法来降低单宁的含量。因此,可以根据不同根龄四倍体刺槐叶片中单宁的含量来决定其作为饲料所针对的家畜类型,以便更好的利用。

分析结果表明,根龄对四倍体刺槐叶中单宁含量的影响均未达到显著水平 ( $P>0.05$ )。根据资料,反刍动物饲料中最佳单宁含量取决于其促进氮消化和抑制碳水化合物消化二者的平衡,一般建议为 30~40 g/kg(以干物质计)<sup>[21]</sup>。从试验结果来看,四倍体刺槐叶片中的单宁含量变化范围为 11.75~16.80 g/kg,均

低于这个标准,完全适合作为动物饲料。

3 结论与讨论

1)四倍体刺槐不同根龄当年生萌蘖的株高、地径、茎叶比、总重和叶重均随根龄的增长而增加,并且 3 年根当年茎的株高、地径、总重和叶重均极显著高于 2 年根当年茎和当年生植株 ( $P<0.01$ ),而 2 年根当年茎的总重和叶重只显著高于当年生植株 ( $P<0.05$ );茎叶比在 2 年根当年茎和 3 年根当年茎之间无显著差别 ( $P>0.05$ ),但两者均极显著高于当年生植株 ( $P<0.01$ )。这可能是根系在第 1~2 年时还没有发育完全,植株生长缓慢,到第 3 年时植株定植时根系所受损伤得到完全修复,开始旺盛生长。

2) 不同树龄的株高、总重、叶重和茎叶比之间均存在极显著差异 ( $P<0.01$ ),而且各项指标均随着树龄的增长而增加;2 年生树龄的总重和叶重均远远高于 2 年根当年茎,甚至其叶重与 2 年根当年茎的总重相差无几;3 年生树龄的总重为 2 230 g,远高于 3 年根当年茎的总重(1 138 g),但其叶重仅为 603 g,稍低于 3 年根当年茎的叶重(637 g)。由此可以得出,四倍体刺槐定植第 2 年刈割虽然不能获得最大的总生物量,但可以得到更多的叶量,即可以获得更多可利用的生物量。而且,据前人研究得知,刺槐饲料灌木林不仅生物质产量是乔木林作业模式的 1.4 倍,同时也可以增加根部的水土保持能力<sup>[22-23]</sup>。

3)当年生植株的叶片粗蛋白含量极显著高于 2 年根当年茎、3 年根当年茎、4 年根 3 年茎和 5 年根 4 年茎 ( $P<0.01$ ),而后 4 个根龄之间则无显著差异 ( $P>0.05$ )。四倍体刺槐当年生植株叶片的粗蛋白含量高达 225.45 g/kg,其他几个根龄的叶片粗蛋白含量也均高于 178.75 g/kg。

4)根龄对钙含量的影响达到极显著水平 ( $P<0.01$ ),并且四倍体刺槐叶片钙含量总体上随着根龄的增长而增加。根龄对叶片磷含量的影响没有达到显著水平 ( $P>0.05$ )。另外,四倍体刺槐不同根龄叶片的钙磷比值处于 4:1 至 6:1 范围内,适合作为反刍动物的饲料来源。这主要是随着林木生长加快,根系吸收养分的速率逐渐增大,难以移动的营养元素钙被林木地上部分吸收后,分配并被固定于植株叶部,于是叶片中钙含量逐步增加<sup>[14]</sup>。

5)不同根龄对四倍体刺槐叶片的粗脂肪、粗灰分和单宁含量影响均不显著 ( $P>0.05$ ),但四倍体刺槐叶片中的粗脂肪含量几乎均在 50.0 g/kg 以下,符合反刍动物的日粮要求;叶片粗灰分有随根龄的增长而增加的趋势;单宁含量变化范围为 11.75~16.80 g/kg,完全适合作为动物饲料。

综上所述,四倍体刺槐生物量随着根龄的增长而增加,且茎叶比在第 2 年后开始趋于稳定;叶片的钙和粗灰分含量随根龄的增长而增加,与生物量随根龄增长而增加有相似的趋势。从生物量和营养综合考虑,四倍体刺槐饲料林定植后当年不刈割,第 2 年开始每年刈割,进行矮林作业较好;但每年的刈割次数、刈割周期及刈割时期等一系列栽培管理措施还需要进一步深入研究。

参 考 文 献

[ 1 ] 李云,张国君,路超,等. 四倍体刺槐不同生长时期和部位的叶片的饲料营养价值分析[J]. 林业科学研究, 2006, 19(5): 580-584.

LI Y,ZHANG G J,LU C, *et al.* Analysis of fodder nutritive value in the leaves harvested at different growing stages and parts for tetraploid *Robinia pseudoacacia*[J]. *Forest Research*, 2006, 19(5): 580-584.

[ 2 ] BARRETT R P. *Agronomic methods for growing black locust (Robinia pseudoacacia L.) as a perennial forage crop*[D]. Lansing: Michigan State University, 1993.

[ 3 ] PAPANASTASIS V P, PLATIS P D, DINI-PAPANASTSSI O. Productivity of deciduous woody and fodder species in relation to air temperature and precipitation in a Mediterranean environment [J]. *Agroforestry Systems*, 1997, 37(2): 187-198.

[ 4 ] NIKLAS K J. Size-dependent allometry of tree height, diameter, and trunk taper[J]. *Annals of Botany*, 1995, 75(3): 217-227.

[ 5 ] BURNER D M, POTE D H, ARES A. Management effects on biomass and foliar nutritive value of *Robinia pseudoacacia* and *Gleditsia triacanthos* f. *inermis* in Arkansas, USA[J]. *Agroforestry Systems*, 2005, 65(3): 207-214.

[ 6 ] J R ME O, JEAN-MARC O, GILLES B. Seasonal and spatial patterns of foliar nutrients in cork oak (*Quercus suber* L.) growing on siliceous soils in Provence (France) [J]. *Plant Ecology*, 2002, 164(2): 201-211.

[ 7 ] ROBERT B, CARITAT A, BERTONI G, *et al.* Nutrient content and seasonal fluctuations in the leaf component of cork oak (*Quercus suber* L.) litterfall[J]. *Vegetatio*, 1996, 122(1): 29-35.

[ 8 ] LEN Y M, LIU J W, XIANG P, *et al.* Tannins and nitrogen dynamics in mangrove leaves at different age and decay stages (Jiulong River Estuary, China) [J]. *Hydrobiologia*, 2007, 583(1): 285-295.

[ 9 ] 农业部畜牧兽医局. 饲料工业标准汇编[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 70-94.

Animal Husbandry and Veterinary Bureau, Ministry of Agriculture. *Feed industry standard series* [S]. Beijing: Standards Press of China, 2002: 70-94.

[10] 朱燕,夏玉宇. 饲料品质检验[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 169-170.

ZHU Y, XIA Y Y. *Feed quality testing* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003: 169-170.

[11] 王德艺,左占生,王皓杰. 刺槐萌条与根系年龄不同组合对林分结构及生物量的影响[J]. 河北林学院学报, 1994, 6(2): 110-116.

WANG D Y,ZUO Z S,WANG H J. Effect of age-matching between suckers and root system on stand structure and biomass of black locust firewood forest[J]. *Journal of Hebei Forestry College*, 1994, 6

(2): 110-116.

[12] 郑晓中,冯仰廉. 日粮油脂对反刍动物营养调控的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2000, 15(1): 54-58.

ZHENG X Z, FENG Y L. Review on the manipulation of lipid nutrition of ruminants [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2000, 15(1): 54-58.

[13] 赵永广,张强,冯仰廉. 常用精料干物质和脂肪在瘤胃中降解规律的研究[J]. 中国畜牧杂志, 1998, 34(3): 6-8.

ZHAO Y G,ZHANG Q,FENG Y L. Study on the degradation of dry matter and fat of concentrates in the rumen of steers measured with nylon bag technique[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 1998, 34(3): 6-8.

[14] 黄宝龙,叶功富,张水松,等. 木麻黄人工林营养元素的动态特性[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 1998, 22(2): 1-4.

HUANG B L, YE G F, ZHANG S S, *et al.* Studies on dynamic properties on the nutrient elements in the casuarina equisetifolia plantation [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 1998, 22(2): 1-4.

[15] 中国农业科学院畜牧研究所. 猪鸡饲料成分及营养价值表[M]. 北京: 农业出版社, 1979: 36.

Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences. *Tables of feed composition and nutritive values in pigs and chickens* [M]. Beijing: Agricultural Press, 1979: 36.

[16] HASSAN I A G, ELZUBEIR E A, EI TINAY A H. Growth and apparent absorption of minerals in broiler chicks fed diets with low or high tannin contents [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2003, 35(2): 189-196.

[17] LUQUE A, BARRY T N, MCNABB T N, *et al.* The effect of grazing *Lotus corniculatus* during late summer-autumn on reproductive efficiency and wool production in ewes [J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2000, 51(3): 385-391.

[18] PUCHALA R, MIN B R, GOETSCH A L. The effect of a condensed tannin-containing forage on methane emission by goats [J]. *Journal of Animal Science*, 2005, 83(1): 182-186.

[19] MOLAN A L. Effects of condensed tannins and crude sesquiterpene lactones extracted from chicory on the motility of larvae of deer lungworm and gastrointestinal nematodes [J]. *Parasitology International*, 2003, 52(3): 209-218.

[20] 刁其玉. 单宁的最新研究动态[J]. 饲料研究, 1999(11): 28.

DIAO Q Y. Research trend of tannin [J]. *Feed Research*, 1999(11): 28.

[21] 史志诚. 牛栎树叶中毒的发病机理研究[J]. 畜牧兽医学报, 1988(增刊 1): 192-197.

SHI Z C. Studies on the pathogenesis of oak leaf poisoning in cattle [J]. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 1988(S1): 192-197.

[22] 毕君,王振亮,邢格,等. 刺槐饲料林经营技术研究[J]. 河北林业科技, 1997(1): 6-8.

BI J, WANG Z L, XING G, *et al.* Management technology for *Robinia pseudoacacia* fodder forest [J]. *The Journal of Hebei Forestry Science and Technology*, 1997(1): 6-8.

[23] AINALIS A B, TSIIOUVARAS C N. Forage production of woody fodder species and herbaceous vegetation in a silvopastoral system in northern Greece [J]. *Agroforestry Systems*, 1998, 42(1): 1-11.

(责任编辑 董晓燕)