

应用数字图像技术进行大白菜氮素营养诊断的研究

李井会¹, 朱丽丽¹, 宋述尧²

(1. 松原职业技术学院, 吉林 松原 138000; 2. 吉林农业大学园艺学院, 长春 130118)

摘要:以“锦抗1号”大白菜为试验材料,在六个氮肥水平下,分析拍摄角度对冠层图像数字化指标获取的影响,以及数字化指标与土壤无机氮含量、植株氮素营养指标的关系。结果表明,数字图像获取相机与大白菜冠层呈30°~60°角度拍摄最佳;在诸多数字化指标中,大白菜冠层图像绿光标准化值G/(R+G+B)与土壤无机氮含量、氮素营养指标的相关性最好,可作为大白菜氮素营养诊断的最佳数字化指标;建立莲座期G/(R+G+B)与施氮量、土壤无机氮含量、植株全氮含量、叶片全氮含量、叶柄硝酸盐浓度及SPAD值之间的线性方程模型。综上所述,数字图像技术可作为大白菜氮素营养诊断的方法,利用冠层图像G/(R+G+B)线性方程模型能够进行大白菜氮素营养的评估预测。

关键词:大白菜;数字图像技术;氮素;营养诊断

中图分类号:S634.1

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2022)02-0129-05

Study on Nitrogen Nutrition Diagnosis of Chinese Cabbage Using Digital Image Processing Technique

LI Jinghui¹, ZHU Lili¹, SONG Shuyao²

(1. Songyuan Vocational Technical College, Songyuan 138000; 2. College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: Taking 'Jinkang NO.1' Chinese cabbage as experimental materials, the effects of shooting angle on digital indexes of canopy images and the relationships between digital indexes and soil inorganic nitrogen content, plant nitrogen nutrition indexes were analyzed under six nitrogen levels. The results showed that the best angle between digital camera and Chinese cabbage canopy was 30°-60°. Among the digital indexes, the standardized green light G/(R+G+B) of Chinese cabbage canopy image had the best correlation with soil inorganic nitrogen content and nitrogen nutrition indexes, which could be used as the best digital index for the diagnosis of Nitrogen nutrition of Chinese cabbage. Linear equation model were established between G/(R+G+B) and soil inorganic nitrogen content, total N content in plant, total N content in leaf, nitrate concentration in petiole and SPAD. In conclusion, digital image processing technique can be used as a method of nitrogen nutrition diagnosis in Chinese cabbage, the G/(R+G+B) linear equation model of canopy image can be used to evaluate and predict the nitrogen nutrition of Chinese cabbage.

Key words: Chinese cabbage; Digital image processing technique; Nitrogen; Nutrition diagnosis

大白菜的生长对氮素需求较大,生产中习惯于以过量施用氮肥来获得高产,然而过量施入氮肥会产生生产成本提高、肥料利用率下降、大白菜品质降低、地下水污染等一系列后果^[1-3]。因此,调控氮肥的合理施入,快速、准确诊断大白菜氮素营养状况,对氮肥合理施用具有重要意义。现有的植物氮素营养诊断研究以植株全氮测试、土壤无机氮测试、反射仪法和叶绿素仪法等方法

为主,这些方法虽然在一定程度上可改善过量施肥的问题,但存在操作繁琐、耗费人力物力、时效性差、测定结果受环境及自身因素的影响等诸多弊端^[4-7]。近年来,数字图像技术通过判断植物冠层颜色深浅了解作物氮素营养状况继而进行施肥推荐,其具有操作简便、快捷、非破坏性等优点,日益受到关注。目前,应用数字图像技术进行氮素营养诊断的研究主要集中在小麦、水稻、玉米、棉花等大田作物^[8-11],研究方法、内容和深度已经成熟,而蔬菜作物仅在黄瓜、番茄、马铃薯、油菜等方面有少数研究,在大白菜氮素营养诊断上鲜有报道^[12-14]。本试验通过不同拍摄角度获取大白

收稿日期:2020-04-10

基金项目:吉林省现代农业产业技术体系项目(201806)

作者简介:李井会(1978-),男,副教授,硕士,从事蔬菜栽培生理研究。

菜冠层数字图像,分析拍摄角度对冠层图像数字化指标的影响,再利用数码相机获取不同氮素水平下的大白菜冠层图像,分析其与传统氮素营养诊断指标的相关性,探讨应用数字图像技术对大白菜进行氮素营养诊断的可行性,筛选出大白菜关键生育时期氮素营养诊断的冠层图像数字化指标,并确定方程模型,为应用数字图像技术进行大白菜氮素营养诊断提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与 设计

供试大白菜为卵圆形品种“锦抗1号”,供试土壤的理化性状为:pH值6.56、有机质2.41 mg/kg、土壤无机氮26.07 mg/kg、速效磷104.05 mg/kg、速效钾170 mg/kg。试验以尿素(46%)为供试氮肥,分别设0、82.5、165、247、330、412.5 kg/hm²六个氮肥(含氮量46%的尿素)处理,编号为N₁、N₂、N₃、N₄、N₅、N₆,以基肥、莲座初期施肥、结球初期施肥方式施入,施肥比例为1:2:3,磷肥(过磷酸钙525 kg/hm²)、钾肥(硫酸钾225 kg/hm²)以基肥的形式施入。小区面积18 m²,随机区组排列,每个处理设三次重复。

1.2 常规测试项目

土壤无机氮测定:每个处理采取0~40 cm土层的混合土样,过3 mm筛,以2 mol/L KCl溶液浸提,分别采用蒸馏法和比色法测定土壤NH₄⁺-N和NO₃⁻-N的含量;植株、叶片全氮含量采用凯式定氮法测定^[15];叶柄硝酸盐浓度采用反射仪测定^[16];SPAD值采用SPAD-502叶绿素仪测定,每个处理随机取30株,测定最新完全展开叶距离叶基部的3/5~4/5区域,记录平均值。

1.3 冠层图像的获取与处理

1.3.1 拍摄角度对比试验

在大白菜结球初期,利用Canon G3相机于晴天12:00~13:00之间拍摄获取大白菜图像,拍摄时相机距地面高度为1.2 m,与地面冠层成30°、60°、90°角,分辨率为1024×768,以JPEG格式进行保存。

1.3.2 冠层图像的获取与处理

在大白菜莲座期和结球期,用Canon数码相机获取冠层数字图像,拍摄在晴天12:00~13:00进行,拍摄时相机距地面高度为1.2 m,与地面冠层成60°角,以自动曝光模式控制曝光时间色彩平衡,图像的分辨率采用1024×768,得到冠层图像为RGB真彩色图像,以JPEG格式转入计算机,采用Adobe photo 7.0剔除土壤背景、阴影等非植物冠层因素干扰,从中获取冠层图像红(R)绿(G)蓝(B)三色光通道的平均值。并对冠层图像的数字化指标进行处理,获得红光与蓝光比值(R/B)、绿光与红光比值(G/R)、绿光与蓝光比值(G/B)、红光标准化值R/(R+G+B)、绿光标准化值G/(R+G+B)、蓝光标准化值B/(R+G+B)。

1.4 数据处理

采用SPSS 17.0和Excel 2003软件进行数据分析和图表制作。

2 结果与分析

2.1 拍摄角度对大白菜冠层图像数字化指标获取的影响

从表1可以看出,不同拍摄方式对数字化指标R、G、B、R/B、G/R的影响较大,冠层拍摄角度30°、60°、90°间存在显著性差异(P<0.05),G/B在拍摄角度30°与60°间无显著性差异,二者与90°比较存在显著性差异;数字化指标R/(R+G+B)、G/(R+G+B)、B/(R+G+B)三种拍摄角度间均无显著性差异,因此,在获取数字图像时考虑90°拍摄难度大、易造成遮光现象等

表1 不同拍摄角度对大白菜冠层图像数字化指标的影响

数字化指标	相机与冠层角度30°			相机与冠层角度60°			相机与冠层角度90°		
	平均值	标准差	变异系数	平均值	标准差	变异系数	平均值	标准差	变异系数
R	94.72a	0.2551	0.0027	91.88b	0.8253	0.0090	86.14c	1.8757	0.0218
G	144.34a	0.6351	0.0044	140.34b	0.4480	0.0032	132.31c	0.2476	0.0019
B	55.19a	0.1908	0.0035	52.87b	0.4597	0.0087	51.26c	0.2858	0.0056
R/B	1.716b	0.0019	0.0011	1.738a	0.0064	0.0037	1.680c	0.0296	0.0176
G/R	1.504c	0.0045	0.0030	1.528b	0.0186	0.0122	1.556a	0.0130	0.0083
G/B	2.615a	0.0098	0.0038	2.654a	0.0316	0.0119	2.581b	0.0135	0.0052
R/(R+G+B)	0.322a	0.0004	0.0013	0.322a	0.0020	0.0062	0.319a	0.0042	0.0132
G/(R+G+B)	0.491a	0.0008	0.0016	0.492a	0.0030	0.0060	0.491a	0.0035	0.0071
B/(R+G+B)	0.188a	0.0004	0.0021	0.186a	0.0011	0.0060	0.188a	0.0008	0.0044

注:同行中平均值后不同小写字母表示不同拍摄角度下获得的数字化指标差异显著(P<0.05)

因素,建议采用 30° ~ 60° 之间的拍摄角度。比较分析不同拍摄角度下 $R/(R+G+B)$ 、 $G/(R+G+B)$ 、 $B/(R+G+B)$ 三者的变异系数,发现 $R/(R+G+B)$ 在拍摄角度 90° 时变异系数较大, $G/(R+G+B)$ 、 $B/(R+G+B)$ 变异系数均较小。因此,进行大白菜氮素营养诊断数字化指标选择时, $G/(R+G+B)$ 、 $B/(R+G+B)$ 可以作为优先参考的数字化指标。

2.2 大白菜冠层图像数字化指标与植株氮素营养指标的关系

由表2可见,不论是在大白菜的莲座期还是

结球期,在9个冠层图像数字化指标中有多个指标与土壤无机氮含量、大白菜氮素营养指标之间呈极显著相关关系,因此,应用数字图像技术进行大白菜氮素营养诊断是可行的。纵观大白菜两个生育期的冠层图像数字化指标与土壤无机氮含量、氮素营养指标的相关性, $G/(R+G+B)$ 与土壤无机氮含量、氮素营养指标存在极显著的相关性,决定系数高于其他数字化指标,均达到0.7以上,具有较高的代表性和稳定性,可作为大白菜氮素营养诊断的最佳冠层图像数字化指标。

表2 不同生育时期大白菜冠层图像数字化指标与土壤无机氮含量、大白菜氮素营养指标的关系

生育时期	数字化指标	土壤无机氮含量	植株全氮含量	叶片全氮含量	叶柄硝酸盐浓度	SPAD值
莲座期	R	0.8407**	0.6367**	0.8131**	0.5577**	0.7744**
	G	0.6469**	0.4256**	0.6502**	0.3862**	0.5649**
	B	0.8333**	0.6486**	0.8364**	0.6096**	0.7923**
	R/B	-0.7138**	-0.5776**	-0.7445**	-0.5778**	-0.6959**
	G/R	-0.6208**	-0.5746**	-0.5681**	-0.4843**	-0.6177**
	G/B	-0.8528**	-0.7149**	-0.8657**	-0.6891**	-0.8355**
	$R/(R+G+B)$	-0.2075	-0.1189	-0.2166	-0.1467	-0.1950
	$G/(R+G+B)$	-0.9050**	-0.7681**	-0.8942**	-0.7148**	-0.8887**
	$B/(R+G+B)$	0.8151**	0.6673**	0.8289**	0.6460**	0.7963**
结球期	R	-0.0029	-0.0231	-0.0022	-0.0043	-0.0057
	G	-0.2512*	-0.2345*	-0.2790*	-0.2391*	-0.2663*
	B	0.6422**	0.6818**	0.6946**	0.6896**	0.6978**
	R/B	-0.6183**	-0.8029**	-0.6816**	-0.6979**	-0.7001**
	G/R	-0.4871**	-0.1763	-0.5231**	-0.4052**	-0.4379**
	G/B	-0.7135**	-0.7833**	-0.7841**	-0.7718**	-0.7811**
	$R/(R+G+B)$	-0.1621	-0.6566**	-0.1803	-0.2363*	-0.2283*
	$G/(R+G+B)$	-0.7782**	-0.7112**	-0.8448**	-0.7827**	-0.8116**
	$B/(R+G+B)$	0.6885**	0.7523**	0.7503**	0.7390**	0.2283*

注:*和**分别表示 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平显著相关

2.3 大白菜氮素营养诊断方程模型筛选

为进一步探究应用大白菜冠层图像数字化指标 $G/(R+G+B)$ 进行氮素营养诊断的可行性,本研究以莲座期为例,采取线性和非线性回归分析 $G/(R+G+B)$ 与施氮量、土壤无机氮及大白菜氮素营养指标的相关性(表3)。结果表明,除大白菜冠

层图像数字化指标 $G/(R+G+B)$ 与施氮量的对数方程和乘幂方程不相关之外, $G/(R+G+B)$ 与土壤无机氮含量、大白菜氮素营养指标均表现出较好的相关性,且线性和非线性方程拟合效果非常接近,考虑到线性方程模型简单、便于理解掌握,因此选取线性方程作为氮素营养诊断方程模型,建立

表3 大白菜冠层图像 $G/(R+G+B)$ 与施氮量、土壤无机氮含量、氮素营养指标的回归分析

指标	线性方程	对数方程	二次方程	乘幂方程	指数方程
施氮量	0.8964	-	0.9098	-	0.8952
土壤无机氮含量	0.9050	0.8804	0.9064	0.8787	0.9048
植株全氮含量	0.7681	0.7283	0.8815	0.7681	0.7655
叶片全氮含量	0.8942	0.8661	0.9065	0.8638	0.8929
叶柄硝酸盐浓度	0.7148	0.6955	0.8174	0.6917	0.7112
SPAD值	0.8887	0.8883	0.8887	0.8876	0.8881

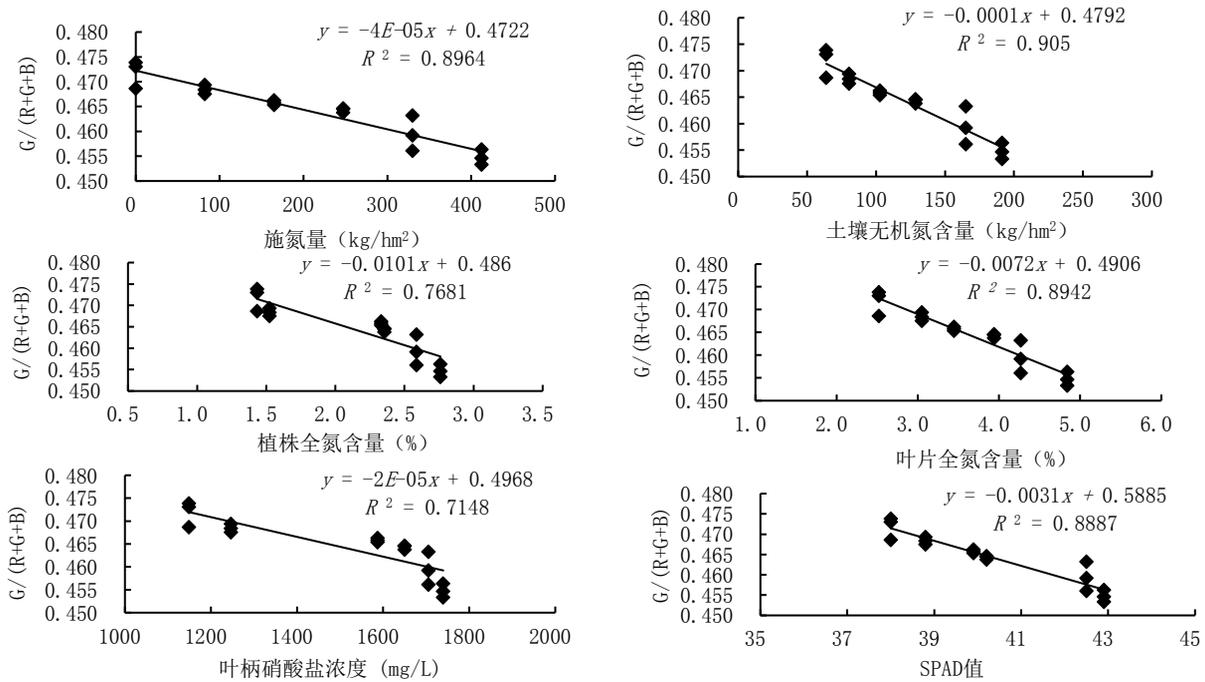


图1 大白菜冠层图像 $G/(R+G+B)$ 与施氮量、土壤无机氮含量、氮素营养指标的线性回归分析

基于线性回归方程对大白菜冠层图像数字化指标 $G/(R+G+B)$ 与施氮量、土壤无机氮含量、植株全氮含量、叶片全氮含量、叶柄硝酸盐浓度及 SPAD 值的诊断方程(图 1), 分别为:

$$y = -0.00004x + 0.4722, y = -0.0001x + 0.4792, \\ y = -0.0101x + 0.486, y = -0.0072x + 0.4906, \\ y = -0.00002x + 0.4968 \text{ 和 } y = -0.0031x + 0.5885.$$

3 讨论与结论

本试验通过研究不同拍摄角度对图像数字化指标的影响, 发现数字化指标 $R/(R+G+B)$ 、 $G/(R+G+B)$ 、 $B/(R+G+B)$ 在 30° 、 60° 、 90° 拍摄角度无显著性差异, 这与贾良良^[8]的研究结果一致。在获取数字图像时考虑 90° 拍摄难度大、易造成遮光现象等因素, 建议采用 $30^\circ \sim 60^\circ$ 之间的拍摄角度, 保证获取冠层图像数字化指标的稳定性, 减少误差。

本研究选取大白菜莲座期和结球期冠层图像 9 个数字化指标与土壤无机氮、大白菜氮素营养指标等进行相关分析, 其中多个数字化指标与土壤无机氮、大白菜氮素营养指标之间呈极显著相关关系, 由此可见, 应用数字图像技术进行大白菜氮素营养诊断是可行的; 两个时期的 $G/(R+G+B)$ 与土壤无机氮含量及氮素营养指标的决定系数均高于其他数字化指标, 再综合考虑拍摄角度对数字化指标的影响, 认为 $G/(R+G+B)$ 具有较高的代表性和稳定性, 可作为大白菜氮素营养诊断

的最佳冠层图像数字化指标。这一结论与前人在冬小麦^[8]、棉花^[11]、黄瓜^[17]、草莓^[18]的研究结果一致, 而与水稻^[9]、油菜^[14]、玉米^[10]、番茄^[12]、马铃薯^[13]上研究结果有所不同, 最适宜水稻和油菜氮素营养诊断的冠层图像数字化指标是 $R/(R+G+B)$, 玉米是 $B/(R+G+B)$, 而番茄和马铃薯以 G/B 为最佳数字化指标。不同作物氮素营养诊断的数字化指标不一致, 可能与不同作物叶片光学特性的差异有关。另外, 本试验对诊断时期进行研究, 结果表明, 莲座期和结球期的 $G/(R+G+B)$ 与土壤无机氮及氮素营养指标的相关性都很高, 均可作为应用数字图像技术进行氮素营养诊断的主要时期。

本试验采取线性和非线性回归方程对 $G/(R+G+B)$ 与施氮量、土壤无机氮及大白菜氮素营养指标的相关性进行分析, 均表现出较好的相关关系, 这进一步说明应用大白菜冠层图像数字化指标 $G/(R+G+B)$ 进行氮素营养诊断是可行的, 数字图像技术能够用于大白菜氮素营养丰缺的预测, 为追施氮肥提供一定的依据。在氮素营养诊断方程模型选择上, 考虑到线性方程模型简单, 选取线性方程建立大白菜冠层图像数字化指标 $G/(R+G+B)$ 与施氮量、土壤无机氮含量、植株全氮含量、叶片全氮含量、叶柄硝酸盐浓度及 SPAD 值的诊断方程。本试验得出的数字化指标需要更广泛的试验来验证和完善, 针对不同生态型、不同品种的大白菜数字图像氮素诊

断技术及基于G/(R+G+B)的推荐追施氮肥体系有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 陈新平,冀宏杰,张福锁.过量施用氮肥对北京市蔬菜硝酸盐含量影响的综合评估[M]北京:中国农业大学出版社,2000:225-231.
- [2] 吴春燕,宋廷宇,张晓明,等.氮肥对大白菜生长及产量的影响[J].吉林农业科学,2014,39(5):80-83.
- [3] 刘宏斌,李志宏,张维理,等.露地栽培条件下大白菜氮肥利用率与硝态氮淋溶损失研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(3):286-291.
- [4] 李桂娟,朱丽丽,李井会.作物氮素营养诊断的无损测试研究与应用现状[J].黑龙江农业科学,2008(4):127-129.
- [5] 魏全全,苟久兰,张 萌,等.氮素营养诊断技术的发展及其在冬油菜上的应用[J].中国油料作物学报,2019,41(2):300-308.
- [6] 陈百翠,魏峭嵘,石 璞,等.SPAD值在马铃薯氮素营养诊断和推荐施肥中的研究与应用[J].吉林农业科学,2014,39(4):26-30,38.
- [7] Blackmer T M, Schepers J S. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertilization for corn [J]. Journal of Production Agriculture, 1994, 8(1): 56-60.
- [8] 贾良良.应用数字图像技术与土壤植株测试进行冬小麦氮

营养诊断[D].北京:中国农业大学,2003.

- [9] 李岚涛,张 萌,任 涛,等.应用数字图像技术进行水稻氮素营养诊断[J].植物营养与肥料学报,2015,21(1):259-268.
- [10] 夏莎莎,张 聪,李佳珍,等.基于手机相机获取玉米叶片数字图像的氮素营养诊断与推荐施肥研究[J].中国生态农业学报,2018,26(5):703-709.
- [11] 王 娟,雷咏雯,张永帅,等.应用数字图像分析技术进行棉花氮素营养诊断的研究[J].中国生态农业学报,2008(1):145-149.
- [12] 王秀峰.应用数字图像技术进行黄瓜和番茄氮素营养诊断的研究[D].长春:吉林农业大学,2005.
- [13] 李井会,朱丽丽,宋述尧.应用数字图像技术进行马铃薯氮素营养诊断的研究[J].安徽农业科学,2012,40(6):3303-3305.
- [14] 魏全全,李岚涛,任 涛,等.基于数字图像技术的冬油菜氮素营养诊断[J].中国农业科学,2015,48(19):3877-3886.
- [15] 朱丽丽.大白菜氮素营养诊断技术体系的研究[D].长春:吉林农业大学,2006.
- [16] 朱丽丽,李井会,宋述尧.叶绿素仪和硝酸盐反射仪对大白菜氮素营养诊断的比较研究[J].东北农业科学,2019,44(5):65-68,128.
- [17] 宋述尧,王秀峰.数字图像技术在黄瓜氮素营养诊断上的应用研究[J].吉林农业大学学报,2008,30(4):460-465.
- [18] 王连君,邢 宇.数字图像技术在草莓氮素营养诊断中的应用研究[J].华南农业大学学报,2010,31(2):19-21.

(责任编辑:王 昱)

(上接第95页)

4 结 论

沙打旺单贮饲料与其混贮饲料比较时,沙打旺单贮饲料粗蛋白含量最高,但是存在芳香味弱,结构较差,粗纤维含量较高等问题。当沙打旺单贮及与青贮玉米和饲用高粱以3:1混合青贮,青贮饲料营养价值和饲用价值均处于较高水平。因此,在沙打旺饲草青贮利用中,建议与青贮玉米或饲用高粱以3:1混合青贮利用。本研究探讨了不同比例下沙打旺与青贮玉米、饲用高粱混合青贮的营养指标,为了充分发掘各类饲草的养分优势,不同利用和加工方式下的饲草产品还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 严晓瑞,孙春霞,刘桂英.浅谈沙打旺牧草栽培与利用[J].畜牧兽医科技信息,2011(4):97-98.
- [2] 刘建新,杨振海,叶均安,等.青贮饲料的合理调制与质量评定标准[J].饲料工业,1999(3):4-7.
- [3] 田晋梅,谢海军.几种豆科植物单独青贮及喂畜效果试验

[J].中国草食动物,2000(5):29-30.

- [4] 郭望山,孟庆翔.杜马斯燃烧法与凯氏法测定饲料含氮量的比较研究[J].畜牧兽医学报,2006(5):464-468.
- [5] P J Van Soest, J B Robertson, B A Lewis. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition[J]. Journal of Dairy Science, 1991, 74(10): 3583-3597.
- [6] Rohweder D A, Barnes R F, Jorgensen N. Proposed Hay Grading Standards Based on Laboratory Analyses for Evaluating Quality[J]. Journal of Animalence, 1983, 47(3): 747-759.
- [7] 黄虎平,李志强.苜蓿干草的蛋白质营养特性[J].中国乳业,2003(9):19-21.
- [8] Allen M S. Relationship Between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber [J]. Journal of Dairy Science, 1997, 80(7): 1447-1462.
- [9] 孙万斌,冯刚刚,马晖玲,等.不同紫花苜蓿品种在不同生育期营养品质特性的比较[J].草原与草坪,2017(2):63-68.
- [10] 张文举,晏向华,龚月生,等.青贮对玉米秸营养价值及其瘤胃有效降解率的影响[J].中国草食动物,2003(1):8-9.
- [11] 凌树礼.应用RFV评价鄂尔多斯荒漠草原优势牧草营养价值[J].畜牧与饲料科学,2014,35(10):15-16.
- [12] 张吉鹏.粗饲料品质评定指数的比较研究[J].饲料研究,2003(9):17-20.

(责任编辑:王 昱)