

DOI:CNKI:61-1390/S.20120109.1234.027

网络出版时间:2012-01-09 12:34

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120109.1234.027.html>

白腐菌发酵玉米秸秆最佳条件研究

张爱武,李长田,鞠贵春,康伟,张晓勇

(吉林农业大学 中药材学院,吉林 长春 130118)

【摘要】 【目的】以玉米秸秆为材料,研究白腐菌对其发酵的最佳条件。【方法】采用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计,以发酵后玉米秸秆中的粗蛋白和粗纤维含量为指标,以白腐菌发酵玉米秸秆时的秸秆含水率、温度、接种量、起始 pH 为主要影响因素,筛选白腐菌发酵玉米秸秆的最佳条件。【结果】白腐菌发酵玉米秸秆的最优条件为:秸秆含水率为 70%,温度为 30 ℃,接种量为 0.25 g/kg,起始 pH 为 4,在此条件下发酵 7 d,秸秆粗纤维含量由 348.7 g/kg 下降为 299.4 g/kg,粗蛋白含量由 58.3 g/kg 升高为 116.6 g/kg。【结论】筛选出了白腐菌发酵玉米秸秆的最佳条件,为玉米秸秆资源化利用提供了参考。

【关键词】 白腐菌;玉米秸秆;粗蛋白;粗纤维

【中图分类号】 S816.3

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2012)02-0151-06

Fermentation conditions of optimization white-rot fungi on corn straw stem

ZHANG Ai-wu, LI Chang-tian, JU Gui-chun,
KANG Wei, ZHANG Xiao-yong

(Chinese Medicine Materials College, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China)

Abstract: 【Objective】 Crude protein and crude fiber content were determined at the beginning and the end of 7, 12, 17-days fermentation of white-rot fungi on corn straw in order to obtain optimized condition of fermentation, such as the optimal time, temperature, acidity, inoculum concentration and water content of corn straw. 【Method】 In order to select the optimized fermentative conditions of white-rot fungi on corn stem, $L_9(3^4)$ orthogonal experiment was designed in this trial, crude protein and crude fibre content of corn were determined, water ratio, temperature, inoculum concentration and acidity in the fermentation of white-rot fungi on corn stem were designed as main influencing factors. 【Result】 Optimized condition of fermentation of white-rot on corn straw was: water ratio 70%, temperature 30 ℃, inoculum concentration 0.25 g/kg corn straw and pH 4 during 7 days. Under above optimizing fermentative condition, crude fiber content was decreased from 348.7 g/kg to 299.4 g/kg, crude protein content was increased from 58.3 g/kg to 116.6 g/kg. 【Conclusion】 Optimized fermentative conditions of white-rot fungi on corn stem were selected, which would provide some reference in utilizing the corn stem as feed resource.

Key words: white-rot fungi; corn stem; crude protein; crude fiber

农作物秸秆是农作物生产系统中一项重要的生物资源,也是当今世界上仅次于煤炭、石油和天然气

的第四大能源。据不完全估计,全世界每年可产生近 20 亿 t 秸秆,而我国农作物秸秆年产量约为 6~7

* [收稿日期] 2011-08-30

[基金项目] 吉林省长春市科技计划项目(09YJ21)

[作者简介] 张爱武(1971—),女,山东历城人,副教授,博士,主要从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: zhangaiwu@jlau.edu.cn

亿 t,列世界之首,并以玉米、小麦和稻谷秸秆为主,占秸秆总产量的 80%^[1]。农作物秸秆由植物细胞壁和细胞内容物 2 部分组成,其中细胞壁的基本成分是纤维素、半纤维素和木质素。木质素与纤维素或半纤维素之间以酯键连接,不能释放纤维素和半纤维素,致使农作物秸秆饲喂动物的营养价值很低^[2]。农作物秸秆属于典型的低质牧草,主要是因为其缺乏维持活跃而高效的瘤胃微生物生态系统所需的可溶性氮和矿物质,从而不能使动物维持较高的采食量和消化率^[3]。破坏细胞壁的组织结构,降低纤维成分及去除妨碍消化的木质素,可以提高瘤胃微生物对纤维素的降解率,为低质饲料在瘤胃内充分发酵提供合适的基础条件^[4]。因此,提高秸秆消化率的关键是降解木质素,打断酯键。在寻找木质素分解菌方面,国内外已进行了大量基础研究,目前所发现的木质素降解菌主要是白腐菌^[5],白腐菌在生长过程中可以产生降解木质素的酶,从而可以分解木质素^[6-7],如香菇白腐菌具有降解木质素的显著作用^[8]。但目前关于白腐菌发酵玉米秸秆的研究还较少。为此,本试验通过检测发酵后玉米秸秆中的粗蛋白和粗纤维含量,研究秸秆含水率、温度、接

种量及起始 pH 对白腐菌发酵玉米秸秆效果的影响,确定白腐菌发酵玉米秸秆的优化条件,旨在为玉米秸秆资源化利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

菌种:白腐菌 B681(有效活菌数 10⁹ cfu/g),购于广州农冠生物饲料有限公司,由吉林农业大学植物科学实验室筛选获得。

玉米秸秆:购买于长春市郊区,新鲜无霉变,风干后用塑料袋装,密封,于通风干燥处保存,备用。用前灭菌处理。

菌种培养基:琼脂 5 g,葡萄糖 20 g,土豆 400 g,蒸馏水 1 000 mL。

1.2 试验设计

试验采用 L₉(3⁴)正交表设计,设置了秸秆含水率(A)、温度(B)、接种量(C)、起始 pH(D)4 个因素,每个因素设置 3 个水平,详见表 1。每处理 3 个重复,各处理随机排列,发酵结束后取样测定粗纤维、粗蛋白含量,筛选最佳条件,并在此条件下观测发酵时间对秸秆发酵的影响。

表 1 白腐菌发酵玉米秸秆条件优化的 L₉(3⁴)正交试验的因素及水平

Table 1 Factors and levels of L₉(3⁴)orthogonal experiment in optimization of fermentation conditions of white-rot fungi on corn stem

水平 Level	因素 Factor			
	A 秸秆含水率/% Water content of straw	B 温度/℃ Temperature	C 接种量/(g·kg ⁻¹) Inoculum concentration	D 起始 pH Initial pH
1	60	25	0.125	4
2	65	30	0.25	5
3	70	35	0.5	6

1.3 试验方法

将秸秆切成约 1 cm 后,按试验设计加适量水,用醋酸调节 pH 值,灭菌,装袋,塑料袋规格为 28 cm×45 cm,装 5 层料接 4 层菌种,边装边压实,装满扎口后,在袋表面打若干孔便于通气。将塑料袋置于正交试验设计的温度下培养,空气相对湿度为 65%~75%,分别于发酵的 7,12 和 17 d 采样。

1.4 测定指标及方法

粗蛋白含量参照 GB/T 6432—86 标准,采用凯氏定氮法进行测定,每个样品重复 3 次。粗纤维含量参照 GB/T 6434—86 标准进行测定,每个样品重复 3 次。

1.5 数据处理

采用 Spss 13.0 和 Excel 2003 软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 白腐菌发酵玉米秸秆最佳条件的筛选

采用 L₉(3⁴)正交试验,研究白腐菌发酵玉米秸秆最佳条件,分别于发酵的 7,12 和 17 d 采样,测定发酵产物中的粗蛋白和粗纤维含量,结果见表 2,对试验结果进行极差分析,结果分别见表 3 和表 4。

由表 3 可知,发酵第 7 天,影响发酵产物中粗纤维含量的因素依次为接种量>秸秆含水率>温度>起始 pH;发酵产物中粗纤维含量越低,说明玉米秸秆降解越充分,效果越好,据此可知发酵条件的最优组合为 A₃B₂C₂D₁,即在秸秆含水率为 70%,温度为 30 ℃,接种量为 0.25 g/kg,起始 pH 为 4 时,白腐菌 B681 发酵玉米秸秆的粗纤维降解最多,秸秆中粗纤维含量最低。发酵第 12 天,影响发酵产物中粗

纤维含量的因素依次为温度>秸秆含水率>接种量>起始 pH,发酵条件的最优组合为 A₃B₁C₂D₁,即秸秆含水率为 70%,温度为 25 ℃,接种量为 0.25 g/kg,起始 pH 为 4 时,白腐菌 B681 发酵玉米秸秆中粗纤维含量最低。发酵第 17 天,影响发酵产物中

粗纤维含量的因素依次为接种量>温度>秸秆含水率>起始 pH,发酵条件的最优组合为 A₃B₂C₂D₁,即秸秆含水率为 70%,温度为 30 ℃,接种量为 0.25 g/kg,起始 pH 为 4 时,白腐菌 B681 发酵玉米秸秆中粗纤维含量最低。

表 2 白腐菌发酵玉米秸秆条件优化的 L₉(3⁴)正交试验结果

Table 2 Design and results of L ₉ (3 ⁴)orthogonal experiment in optimization of fermentation conditions of white-rot fungi on corn stem										
处理 Treatment	因素 Factors				7 d		12 d		17 d	
	A 秸秆含水率 Water content of straw	B 温度 Temperature	C 接种量 Inoculum concentration	D 起始 pH Initial pH	粗纤维/ (g·kg ⁻¹) CF	粗蛋白/ (g·kg ⁻¹) CP	粗纤维/ (g·kg ⁻¹) CF	粗蛋白/ (g·kg ⁻¹) CP	粗纤维/ (g·kg ⁻¹) CF	粗蛋白/ (g·kg ⁻¹) CP
1	1	1	1	1	317.3	51.8	361.2	35.6	344.1	51.8
2	1	2	2	2	321.1	52.3	379.5	51.8	332.0	58.6
3	1	3	3	3	359.2	56.4	372.5	38.9	356.2	53.4
4	2	1	2	3	300.8	64.8	347.5	42.1	336.7	64.8
5	2	2	3	1	327.9	79.8	373.2	64.8	335.6	71.3
6	2	3	1	2	328.1	42.3	378.7	45.3	349.0	42.3
7	3	1	3	2	334.4	100.4	353.2	79.8	347.1	99.2
8	3	2	1	3	299.4	110.1	366.4	81.2	333.8	110.3
9	3	3	2	1	301.8	116.6	342.1	92.5	325.4	117.5

表 3 不同发酵时间发酵产物中粗纤维含量的极差分析结果

Table 3 Crude fiber content results of range analysis under different fermentative time						g/kg
发酵时间/d Fermentation day	项目 Item	A 秸秆含水率 Water content of straw	B 温度 Temperature	C 接种量 Inoculum concentration	D 起始 pH Initial pH	
7	k ₁	332.5	317.5	314.9	315.7	
	k ₂	318.9	316.1	307.9	327.9	
	k ₃	311.9	329.7	340.5	319.8	
	R	20.6	13.6	32.6	12.1	
12	k ₁	371.1	354.0	368.7	358.8	
	k ₂	366.5	373.0	356.4	370.5	
	k ₃	353.9	364.4	366.3	362.1	
	R	17.2	19.0	12.4	11.7	
17	k ₁	344.1	342.6	342.3	335.0	
	k ₂	340.4	333.8	331.3	342.7	
	k ₃	335.4	343.5	346.3	342.2	
	R	8.7	9.7	14.9	7.7	

表 4 不同发酵时间发酵产物中粗蛋白含量的极差分析结果

Table 4 Crude protein content results of range analysis under different fermentative time						g/kg
发酵时间/d Fermentation day	项目 Item	A 秸秆含水率 Water content of straw	B 温度 Temperature	C 接种量 Inoculum concentration	D 起始 pH Initial pH	
7	k ₁	53.5	72.3	68.1	82.7	
	k ₂	62.3	80.7	78.9	65.0	
	k ₃	109.0	69.6	71.7	77.1	
	R	55.5	11.1	10.8	17.7	
12	k ₁	42.1	52.5	54.0	64.3	
	k ₂	50.7	65.9	62.1	59.0	
	k ₃	84.5	61.6	61.2	53.8	
	R	42.4	13.4	8.1	10.5	
17	k ₁	54.6	71.9	68.1	80.2	
	k ₂	59.5	80.1	80.3	66.7	
	k ₃	109.0	71.1	74.6	76.2	
	R	54.4	9.1	12.2	13.5	

由表 4 可知,发酵第 7 天,影响发酵产物中粗蛋白含量的因素依次为秸秆含水率>起始 pH>温度>接种量;以发酵产物中粗蛋白含量的增加为依据,则发酵条件的最优组合为 A₃B₂C₂D₁,即秸秆含水率为 70%,温度为 30 ℃,接种量为 0.25 g/kg,起始 pH 为 4 时,白腐菌 B681 发酵玉米秸秆中的粗蛋白含量最高。发酵第 12 天,影响发酵产物中粗蛋白含量的因素依次为秸秆含水率>温度>起始 pH>接种量,发酵条件的最优组合为 A₃B₂C₂D₁,即秸秆含水率为 70%,温度为 30 ℃,接种量为 0.25 g/kg,起始 pH 为 4 时,白腐菌 B681 发酵玉米秸秆中的粗蛋白含量最高。发酵第 17 天,影响发酵产物中粗蛋白含量的因素依次为秸秆含水率>起始 pH>接种量>温度,发酵条件的最优组合为 A₃B₂C₂D₁,即秸秆含水率为 70%,温度为 30 ℃,接种量为 0.25

g/kg,起始 pH 为 4 时,白腐菌 B681 发酵玉米秸秆中的粗蛋白含量最高。

2.2 最优条件下白腐菌发酵玉米秸秆中粗纤维和粗蛋白含量的变化

通过上述分析,并综合考虑,确定最优发酵条件为:秸秆含水率为 70%,温度为 30 ℃,接种量为 0.25 g/kg,起始 pH 为 4,对该条件下玉米秸秆发酵前后粗纤维、粗蛋白含量进行分析,结果见表 5。由表 5 可知,发酵第 7 天,发酵后比发酵前粗纤维含量降低 49.3 g/kg,粗蛋白含量提高 58.3 g/kg;发酵第 12 天,发酵后比发酵前粗纤维含量降低了 6.6 g/kg,粗蛋白含量提高 34.2 g/kg;发酵第 17 天,发酵后比发酵前粗纤维含量降低 23.3 g/kg,粗蛋白含量提高 59.2 g/kg,由此可知发酵 7 d,粗纤维含量降幅最大,粗蛋白含量增幅最高,效果最好。

表 5 白腐菌发酵玉米秸秆前后粗纤维、粗蛋白含量的比较

Table 5 Comparison of crude fiber content and crude protein content between pre-and post-fermentation of white-rot fungi on corn stem				
指标 Index	发酵前/(g·kg ⁻¹) Pro-fermentation	发酵时间/d Fermentative days	发酵后/(g·kg ⁻¹) Post-fermentation	发酵前后增幅/(g·kg ⁻¹) Difference between pro- and post-fermentation
粗纤维含量 Crude fiber content	348.7	7	299.4	-49.3
		12	342.1	-6.6
		17	325.4	-23.3
粗蛋白含量 Crude protein content	58.3	7	116.6	58.3
		12	92.5	34.2
		17	117.5	59.2

3 讨 论

白腐菌处理秸秆表现出较强的种间变异,发酵培养的条件不同,处理秸秆的效果也不同,但不管在何种条件下,通过固体发酵均能明显改善秸秆的营养价值^[9]。本试验结果也验证了这一观点,在白腐菌 B681 发酵玉米秸秆过程中,不同的秸秆含水率、温度、接种量、起始 pH 对白腐菌发酵玉米秸秆产物中的粗纤维、粗蛋白含量均有影响,且发酵时间不同,影响秸秆发酵效果的主导因素也不同。

白腐菌固体发酵秸秆时,秸秆含水率过低会使菌丝的生长受到抑制,而秸秆含水率过高又会影响 O₂ 通入、产生的 CO₂ 排出以及热量的散失,对菌丝的生长不利。齐刚^[10]报道,秸秆含水率达到 60% 时,蛋白质含量最高,说明秸秆含水率的增加有利于菌体对营养物质的输送,且提高了酶的活性。闽晓梅等^[11]发现,秸秆含水率过大时会引起蛋白质含量减少,固体发酵秸秆的水分应控制在 65%~75%,以利于菌丝生长,这与本试验结果一致。本试验用白腐菌发酵玉米秸秆,秸秆含水率对发酵产物中粗

蛋白含量的影响均处于主导地位。此外,温度也影响玉米秸秆的发酵效果,一般来讲,温度过高,菌体蛋白会遭到破坏;温度过低,会导致固体发酵的进度缓慢。白腐真菌 TK-Y-03 培养温度为 30 ℃ 时,菌体生物量最高,达 11.36 g/L;培养温度为 34 ℃ 时,菌体生物量仅为 5.44 g/L^[10]。白腐真菌 ADW-08 的产酶最适温度为 28 ℃^[12]。本试验中,白腐菌发酵玉米秸秆除第 12 天的粗纤维最大降解率所需温度在 25 ℃ 外,第 7 和 17 天均在 30 ℃,可知白腐菌 B681 降解玉米秸秆的最佳温度为 30 ℃。在秸秆降解过程中,接种量大小可影响发酵效果,接种量过大,菌体繁殖过快,可产生过多代谢废物;接种量太小,菌体生长缓慢,培养时间长,发酵周期延长;接种量适宜才既能得到较高的菌体生物量,又可有效地缩短培养周期。白腐真菌 ADW-08 接种量以 3 块菌塞(φ=12 cm)最适,过多或过少均影响酶活性^[12]。本试验中白腐真菌发酵第 7 天和第 17 天,接种量对发酵产物中粗纤维的含量影响最大,接种量为 0.25 g/kg 时降解粗纤维效果最好。选择适宜的起始 pH 也会对发酵产物中粗纤维和粗蛋白含量

有影响,不同 pH 值会影响生物细胞膜所带电荷的状态,改变细胞膜的通透性,从而影响微生物对营养物质的吸收及代谢产物的排泄,菌体在适宜的 pH 范围内能够得到最佳培养效果。大多数白腐真菌适宜生长在微酸性环境内,最佳 pH 值为 4~5^[13]。白腐真菌 TK-Y-03 适合在微酸性环境下生长,pH 5~6 时菌体生长较好^[11]。本试验中,白腐菌发酵玉米秸秆在不同时间下,对产物中粗纤维和粗蛋白含量的影响均在 pH 为 4 时效果最佳。

本研究中,通过对白腐菌 B681 发酵玉米秸秆第 7,12,17 天产物中粗蛋白、粗纤维含量与原玉米秸秆进行比较可知,发酵产物中粗纤维含量降低,粗蛋白含量提高,且发酵 7 d 效果最好。白腐菌菌丝可进入秸秆内部,产生分解纤维素、半纤维素和木质素的酶系,降解秸秆中的木质素和纤维素。经白腐菌降解后,稻草中的木质素结构被严重破坏,难降解的大分子长键烃被切成易降解的小分子短键烃,明显提高了秸秆的利用率^[14]。白腐菌在降解秸秆粗纤维的同时,可使稻草的粗蛋白含量提高 11.23%^[15],也可提高玉米秸秆发酵产物中粗蛋白的水平^[16],这与本试验结果一致;木质素经白腐菌重加工后,大部分的低质量非蛋白氮转化为较高质量的菌体蛋白^[13],这可能是由于菌丝呼吸作用消耗含碳有机物的结果^[17]。

4 结 论

白腐菌 B681 发酵玉米秸秆的最优条件为:秸秆含水率为 70%,温度为 30 ℃,接种量为 0.25 g/kg,起始 pH 为 4,在此条件下发酵 7 d,秸秆粗纤维含量由 348.7 g/kg 下降为 299.4 g/kg,粗蛋白含量由 58.3 g/kg 升高为 116.6 g/kg。

[参考文献]

[1] 段佐亮.我国作物秸秆燃烧甲烷、氧化亚氮排放量变化趋势预测:1990—2020 [J]. 农业环境保护,1995,14(3):111-116.
Duan Z L. Prediction of variation trend of methane and nitrous oxide discharge value combusted by straw in China:1990—2020 [J]. Agro-Environmental Protection, 1995, 14(3): 111-116. (in Chinese)

[2] Kayongo B S. Evaluation of caged layer waste as a protein supplement fibrous crop residues fed to sheep [D]. Nairobi: University of Nairobi,1993.

[3] Perdok H B, Leng R A, Bird S H, et al. Improving livestock production from straw-based diets [C]//Increasing small ruminant productivity in Semi-arid Areas. Netherlands:Kluwer Academic Publishers,1988:81-91.

[4] 夏兆刚,孟庆翔.提高秸秆饲用价值的方法和途径 [J]. 饲料研究,1999(6):21-24.
Xia Z G, Meng Q X. Method of improving the feeding value of straw [J]. Feed Research, 1999(6): 21-24. (in Chinese)

[5] 王建华,白韵如.开发秸秆发酵饲料的思考 [J]. 中国饲料,1997(14):13-16.
Wang J H, Bai Y R. Development of fermented feed of straw [J]. China Feed, 1997(14): 13-16. (in Chinese)

[6] 刘晓牧,李福昌,王中华,等.白腐真菌与秸秆饲料的有效利用 [J]. 饲料研究,2000(1):42-43.
Liu X M, Li F C, Wang Z H, et al. Effective utilization of white-rot fungi and straw [J]. Feed Research, 2000(1): 42-43. (in Chinese)

[7] 邢廷铤. 秸秆饲料的有效利用 [J]. 饲料研究,1995(6):2-3.
Xing T X. Effective utilization of straw [J]. Feed Research, 1995(6): 2-3. (in Chinese)

[8] 袁彤光,张壮塔,凌德全.食用菌与植物全纤维素物质 [J]. 食用菌,1998(1):4-5.
Yuan T G, Zhang Z T, Ling D Q. Edible fungi and cellulosic materials of plant [J]. Edible Fungi, 1998(1): 4-5. (in Chinese)

[9] Zadrazil F, Brunnert H. Effect of ammonium nitrate on the growth and straw decomposition of higher fungi [J]. Zeitschrift Fuer Pflanzenernaehrung und Bodenkunde, 1979, 142(3): 446-455.

[10] 齐刚.白腐菌降解秸秆木素及饲料化研究 [D]. 天津:天津科技大学,2004.
Qi G. Studies on biodegradation of lignin in stalk with white-rot fungi and stalk feed availability [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2004. (in Chinese)

[11] 阙晓梅,孟庆翔.白腐真菌处理秸秆的研究 [J]. 饲料研究,2000(9):7-9.
Min X M, Meng Q X. Studies of white-rot fungi on straw [J]. Feed Research, 2000(9): 7-9. (in Chinese)

[12] 朱洪龙.白腐真菌生物降解油菜秸秆及饲料化研究 [D]. 安徽合肥:安徽农业大学,2008.
Zhu H L. Studies on biodegradation for rape straw by white-rot fungi and fermentation of residue to feedstuff [D]. Hefei, Anhui: Anhui Agricultural University, 2008. (in Chinese)

[13] 赵红霞,杨建军,詹勇.白腐真菌在秸秆作物资源开发中的研究 [J]. 饲料工业,2002,23(11):40-42.
Zhao H X, Yang J J, Zhan Y. Studies of white-rot fungi on straw as crop resource [J]. Feed Industry, 2002, 23(11): 40-42. (in Chinese)

[14] 黄丹莲,曾光明,黄国和,等.白腐菌固态发酵条件最优化及其降解植物生物质的研究 [J]. 环境科学学报,2005,25(2):232-237.
Huang D L, Zeng G M, Huang G H, et al. Optimum conditions of solid-state fermentation for white-rot fungi and for its degrading straw [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(2): 232-237. (in Chinese)

[15] 赵华,齐刚,代彦,等.白腐菌对稻草秸秆生物降解的研究 [J]. 饲料工业,2003,24(11):37-38.
Zhao H, Qi G, Dai Y, et al. Studies on biodegradation for rape

straw by white-rot fungi [J]. Feed Industry, 2003, 24(11): 37-38. (in Chinese)

[16] 侯进, 李婷, 吕文龙, 等. 应用白腐真菌发酵曲种发酵玉米秸秆的研究 [J]. 中国奶牛, 2010(7): 25-27.
Hou J, Li T, Lü W L, et al. Study on white-rot fungi strain for fermentation with corn straw [J]. China Dairy Cattle, 2010(7): 25-27. (in Chinese)

[17] 倪新江, 梁丽琨, 丁立孝, 等. 巴西蘑菇对木质纤维素的降解与转化 [J]. 菌物系统, 2001, 20(4): 526-530.
Ni X J, Liang L K, Ding L X, et al. Degradation and conversion of lignocellulose by *Agaricus blazei* [J]. Mycosystema, 2001, 20(4): 526-530. (in Chinese)

(上接第 150 页)

[11] 孙智辉, 刘志超, 雷延鹏, 等. 延安北部丘陵沟壑区植被指数变化及其与气候的关系 [J]. 生态学报, 2010, 30(2): 533-540.
Sun Z H, Liu Z C, Lei Y P, et al. The variations of NDVI and the relation with climate in hilly and gully region of Northern Yan'an [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(2): 533-540. (in Chinese)

[12] 李登科, 郭锐, 何慧娟. 陕北长城沿线风沙区植被指数变化及其与气候的关系 [J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4620-4629.
Li D K, Guo N, He H J. Vegetation change and its relationship with climate in the region along the Great Wall in northern Shaanxi [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4620-4629. (in Chinese)

[13] DeFries R, Field C, Fung I, et al. Mapping the land-surface for global atmosphere-biosphere models, toward continuous distributions of vegetations functional properties [J]. Journal of Geophysical Research, 1995, 100: 20867-20882.

[14] Zhou L, Kaufmann R K, Tian Y, et al. Relation between inter-annual variations in satellite measures of northern forest greenness and climate between 1982 and 1999 [J]. Geophys Res, 2003, 108(D1), 10. 1029/2002JD:002510.

[15] Pizon J, Brown M E, Tucker C J. Satellite time series correction of orbital drift artifacts using empirical mode decomposition [C]//Huang N. Hilbert-Huang Transform: Introduction and Applications. Hackensack: World Scientific, 2004: 285-295.

[16] 万龙. 53 年来黄土高原降雨量时空变化趋势特征 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
Wan L. Spatial and temporal trend of precipitation on the Loess Plateau during the past 53 years [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2011. (in Chinese)

[17] 焦居仁, 蒲朝勇, 王保安, 等. 吴旗县水土保持生态建设调查报告 [J]. 中国水土保持, 2011(11): 10-13.
Jiao J R, Pu C Y, Wang B A, et al. Study report on ecological construction of soil and water conservation of Wuqi County [J]. Soil and Water Conservation in China, 2011(11): 10-13. (in Chinese)

[18] 刘志红, 郭伟玲, 杨勤科, 等. 近 20 年来黄土高原不同地貌类型区植被覆盖变化及原因分析 [J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(1): 16-23.
Liu Z H, Guo W L, Yang Q K, et al. Vegetation cover changes and their relationship with rainfall indifferent physiognomy type areas of Loess Plateau [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2011, 9(1): 16-23. (in Chinese)