

崔东,邓霞,闫俊杰,等.伊犁河谷不同土地利用方式对土壤养分与酶活性的影响[J].江苏农业科学,2016,44(2):371-374.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.02.108

伊犁河谷不同土地利用方式对土壤养分与酶活性的影响

崔东,邓霞,闫俊杰,孟祥霞,罗青青,肖治国

(伊犁师范学院化学与生物科学学院,新疆伊宁 835000)

摘要:采集伊犁河谷不同土地利用方式下的土壤样品,研究林地、耕地、草地、园地4种不同土地利用方式对土壤养分、土壤酶活性的影响及其变化规律。结果发现,土壤养分随着土壤深度增加而减少,土壤酶活性随着土层厚度增加而减弱。林地土壤的蔗糖酶、过氧化氢酶、脲酶比耕地、草地、荒地高;园地土壤的速效磷、速效钾比林地、耕地、草地高,耕地有机质和速效氮最高;土壤酶活性和土壤养分呈正相关,其中林地土壤的蔗糖酶活性与速效氮呈极显著相关,过氧化氢酶活性与有机质、速效磷和速效钾呈极显著相关,脲酶活性与速效氮和速效磷呈极显著相关;耕地土壤蔗糖酶活性与速效氮和速效磷呈极显著相关,脲酶活性与有机质、速效氮和速效钾呈极显著相关;草地土壤蔗糖酶活性和过氧化氢酶活性与养分的4个指标均呈极显著相关;园地土壤的蔗糖酶活性、过氧化氢酶活性和脲酶与有机质、速效氮和速效磷呈极显著相关。以上结果表明,土地利用方式对土壤养分与酶活性有显著影响。

关键词:土地利用方式;土壤养分;土壤酶活性;相关性

中图分类号: S158.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)02-0371-04

土壤是植物生长的基础,是物质循环、能量转化和信息传递的重要区域,土壤养分是植物生长必不可缺的生长因子,同时也影响土壤质量与生态系统生产力;而由土壤中的微生物分泌出来的具有高效性的活性物质土壤酶是土壤中各种生化反应重要的组成部分,也是分解有机质和物质循环等中不可或缺的一部分,同时环境变化对酶活性影响显著,而且其测定方法简单易操作,因此常被用作反映土壤质量优劣和作为生态系统稳定与否的预警^[1-4]。土地利用是人类因经济、社会等因素,经长期作用改变地表覆被状况,同时也影响了土壤中的各种理化性质^[5-6]。很多学者研究了不同土地利用方式下土壤养分和土壤酶活性特征及其相关性^[7-10],如李明珠等研究了土地利用方式下的土壤养分特征^[7],阳利永等研究了对土地利用方式全磷、全氮、有机质的影响^[8],任勃等研究了土地利用方式对蔗糖酶、脲酶、碱性磷酸酶的影响^[9]。本研究以伊犁河谷地区为研究区域,选择林地、耕地、草地、园地为研究对象,分析表层及0~20、20~40、40~60 cm各深度的土壤养分和土壤酶的变化状况。通过研究不同土地利用方式下土壤养分和酶活性变化规律,旨在为伊犁河谷地区如何进行土地管理方式提供思路,也给防治土地荒漠化和生态系统平衡提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区伊犁河谷位于中国天山山脉西部,三面环山,地处

80°9'42"~91°1'45"E、40°14'16"~49°10'45"N,平均海拔高度为477~1 701 m,气候温和湿润,降水量充足,是中国唯一的温带大陆性气候地区,部分地区属于高山气候。伊犁河谷地域辽阔,资源丰富,素有“塞外江南”的美称。它的土壤类型多样,包括潮土、灌耕土、草甸土、黑钙土、栗钙土、灰钙土、沼泽土等,其中与人类社会活动和经济活动紧密联系的是黑钙土、栗钙土、灰钙土、沼泽土。丰富的土壤类型孕育了土地利用方式的多样化,有草地、耕地、林地、园地,以及未利用土地,其中草地和林地的植被覆盖率达67.7%。

1.2 样品的采集

采集林地、耕地、草地、园地4种土地利用方式的表层、0~20、20~40、40~60 cm各1 kg左右土壤样品。其中林地8个剖面,32个样品;耕地17个剖面,68个样品;草地5个剖面,20个样品;园地3个剖面,12个样品(表1)。采集的样品放于室内避光风干,风干后,去除草根,石块等杂质,研磨过1.0、2.5 mm的筛子,装袋备用。

1.3 土壤养分与酶活性的测定方法

土壤养分的测定方法:有机质采用重铬酸钾容量法测定,速效氮采用碱解扩散法测定,速效磷采用火焰光度计法。

土壤酶活性的测定方法:采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定土壤蔗糖酶活性,脲酶活性用靛酚比色法测定,过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法(容量法)测定。

1.4 数据处理

分析数据采用SPSS 17.0和Excel 2013软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式下土壤养分含量

有机质是土壤肥力的重要组成,因此有机质是评价土壤肥力的重要指标之一,并且与多种养分关系密切^[11-13]。本研

收稿日期:2015-03-17

基金项目:新疆维吾尔自治区高校科研计划(编号:XJEDU2014S060)。
作者简介:崔东(1984—),男,新疆乌鲁木齐人,硕士,讲师,主要从事干旱区土壤地理与环境变化等方面的教学与科研工作。

E-mail: cuidongw@126.com。

究发现,同一深度有机质含量为园地>耕地>草地>林地(表 2),这是由于园地和耕地施用有机肥,草地和林地没有施用有机肥,只靠覆被植物自身残枝落叶通过腐殖质作用来增加土壤肥力。同时,因为耕地表面没有大量的作物残根,再加

上耕作方式的影响,有机质矿化分解速率加快,所以园地高于耕地,而在 0~60 cm 的有机质含量随土壤有机质深度增加而减少,在土壤表层枯枝落叶聚集较多,腐殖质作用相对明显,因而有机质含量相对较高^[14]。

表 1 样品信息

土地利用方式	编号	地点	经纬度	海拔 (m)
林地	YL-18	察县红柳林	81°10'00"E、43°46'00"N	689.0
	YL-29	察县林科院杨树林	81°18'00"E、43°77'00"N	692.0
	YL-38	林地土	82°47'58.6"E、43°15'57.8"N	895.0
	YL-39	沙枣地	81°21'17"E、43°19'4"N	1 768.0
	YL-40	巩留县乌图布拉克村	82°17'5"E、43°30'32"N	775.4
	YL-53	特克斯林地	81°46'00"E、43°10'00"N	1 237.0
	YL-56	特克斯森林公园	81°50'27.29"E、43°11'32.7"N	1 206.50
	YL-59	喀拉峻山中冠木	81°59'37"E、43°51'°4"N	1 495.30
耕地	YL-01	察县苜蓿地	81°10'39.4"E、43°43'50.4"N	749.6
	YL-03	察县水稻地	81°10'37.3"E、43°46'21.5"N	686.0
	YL-04	巩留葵花地	82°16'2.4"E、43°33'6.5"N	776.7
	YL-05	巩留牛场大营盘村玉米地	82°16'4.5"E、43°29'32.4"N	773.0
	YL-06	特克斯县托尔库勒村小麦地	81°46'23.4"E、43°10'24.6"N	548.0
	YL-16	新源县库尔萨依村棉花地	83°16'30.06"E、43°25'17.15"N	956.0
	YL-17	察县甜菜地	81°17'00"E、43°73'00"N	755.0
	YL-19	尼勒克县省道 315 苜蓿地	83°13'35.74"E、43°50'23"N	1 020.0
	YL-20	昭苏县小麦地	81°19'58.03"E、43°08'39.03"N	1 749.0
	YL-30	察布察尔烟草基地	81.17°00'E、43.73°00'N	745.9
	YL-31	昭苏县小麦地	81°19'52.08"E、43°08'14.83"N	1 749.7
	YL-32	尼勒克喀拉苏乡玉米地	82°13'00"E、43°50'00"N	977.0
	YL-42	玉米地	81°46'23.4"E、43°10'24.6"N	1 227.4
	YL-51	察县玉米地	81°18'9.05"E、43°73'24.65"N	751.5
	YL-57	巩留县阿克吐别克乡亚麻地	81°55'43.07"E、43°29'42.08"N	1 044.0
	YL-58	巩留县甜菜地	82°16'00"E、43°29'00"N	1 043.7
	YL-61	新源县喀拉布拉乡	82°37'59.26"E、43°26'09"N	835.0
草地	YL-08	昭苏县乌尊布拉克乡	81°17'43"E、43°8'37"N	755.0
	YL-11	那拉提镇恰勒科迭村	83°56'59"E、43°20'42"N	1 309.4
	YL-27	那拉提镇格勒科迭村	83°56'00"E、43°20'00"N	1 320.0
	YL-41	新源县库尔萨依村	83°10'30.06"E、43°25'17.15"N	956.0
	YL-60	特克斯托尔库勒村	81°48'24.34"E、43°12'13.97"N	1 227.6
	YL-60	特克斯托尔库勒村	81°48'24.34"E、43°12'13.97"N	1 227.6
园地	YL-09	巩留县萨尔布群葡萄地	81°58'36.3"E、43°32'28.3"N	851.0
	YL-10	新源县喀拉布拉乡苹果地	83°37'58.06"E、43°25'57.88"N	836.0
	YL-54	新源县阿拉玛勒乡野果林	81°36'18.80"E、43°22'41.42"N	1 409.0
	YL-54	新源县阿拉玛勒乡野果林	81°36'18.80"E、43°22'41.42"N	1 409.0

植物的生长离不开氮、磷、钾,速效氮、速效磷、速效钾是植物所需氮素、磷素、钾素的直接来源,也体现了土壤实际提供氮肥、磷肥和钾肥的能力^[12]。同一土层深度速效氮含量为耕地>园地>林地>草地,速效磷含量为园地>耕地>草地>林地,速效钾含量为园地>林地>耕地>草地(表 2),这一方面可能与覆被植物种类不同有关,另一方面可能与相关微生物活动强弱有关^[12]。

2.2 不同土地利用方式不同深度下土壤酶活性

2.2.1 蔗糖酶 土壤蔗糖酶是转化酶中的一种,与土壤中的养分含量关系十分密切,微生物数量和土壤呼吸强度对土壤蔗糖酶的影响较大,水解产物葡萄糖为植物与部分微生物提供营养源^[15]。本研究发现蔗糖酶含量随土壤深度增加而降低,并且在 0~20 cm 与 20~40 cm 之间落差相对较大,这是由于枯枝落叶和植物残根主要在 20 cm 以上(图 1)。表层林地比耕地、草地、园地分别高 4.54%、8.54%、5.58%,0~20 cm 林地比其他 3 种土地利用方式分别高出 4.10%、7.85%、4.77%,20~40 cm 林地比其他 3 种土地利用方式分

表 2 不同土地利用方式下土壤养分的含量

土地利用方式	土壤深度 (cm)	有机质含 量(mg/kg)	速效氮含 量(mg/kg)	速效磷含 量(mg/kg)	速效钾含 量(mg/kg)
林地	表层	46.75	7.30	7.01	116.13
	0~20	43.20	6.69	6.51	111.32
	20~40	35.63	4.62	5.53	97.74
	40~60	30.03	4.59	4.72	90.17
耕地	表层	71.35	11.88	7.79	86.45
	0~20	68.75	11.18	7.51	81.90
	20~40	55.32	6.52	6.29	69.71
	40~60	53.11	5.88	5.68	67.90
草地	表层	63.07	5.30	7.70	62.75
	0~20	60.40	4.98	7.47	60.55
	20~40	48.52	3.22	5.62	49.78
	40~60	45.99	2.73	4.89	45.36
园地	表层	71.60	7.83	7.97	123.62
	0~20	70.27	7.05	7.36	117.92
	20~40	58.65	4.53	6.91	100.96
	40~60	58.86	3.90	6.66	98.57

别高出 2.76%、6.50%、3.01%，40~60 cm 林地比其他 3 种土地利用方式分别高出 2.57%、6.49%、2.74%（图 1），这表明林地蔗糖酶活性较高，土壤呼吸强度较强，同时与之有关的微生物数量也较多。

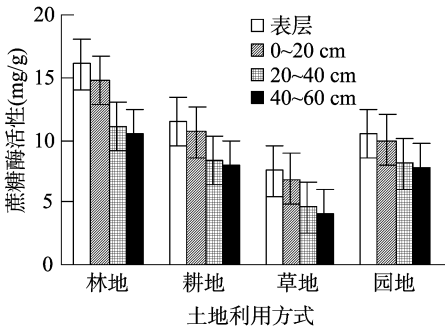


图1 不同土地利用方式下蔗糖酶活性状况

2.2.2 过氧化氢酶 土壤过氧化氢酶是反映土壤中微生物活动强弱与氧化程度的一种水解酶，其酶活性强弱体现了土壤能量和物质之间的转化^[16]。本研究发现随着土层厚度增加，过氧化氢酶含量随之降低，除耕地外，林地、草地、园地在 20~40、40~60 cm 过氧化氢酶含量变化较大，其中耕地和草地在表层和 0~20 cm 相差不大（图 2）。表层林地比其他 3 种利用方式分别高 0.71%、1.51%、0.99%，0~20 cm 林地比其他 3 种利用方式分别高 0.73%、1.47%、1.01%，20~40 cm 林地比其他 3 种利用方式分别高 0.60%、1.42%、1.12%，40~60 cm 林地比其他 3 种利用方式分别高 0.4%、1.25%、0.97%（图 2），这表明林地的土壤中微生物活动较强，其氧化能力较其他 3 种土地利用方式强。

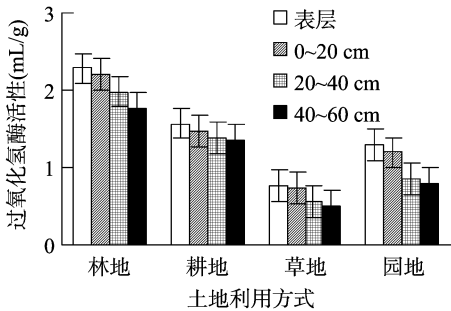


图2 不同土地利用方式下过氧化氢酶活性状况

2.2.3 脲酶 土壤脲酶是一种重要的土壤酶，土壤中的尿素只有在脲酶的存在下才能被植物吸收，而它的活性可以反映土壤氮素状况^[2,17]。本研究发现，随着土壤深度增加，脲酶随之减少，4 种土地利用方式在 0~20 cm 和 20~40 cm 落差较大（图 2）。表层林地比耕地、草地、园地的分别高 0.17%、0.72%、0.37%，0~20 cm 林地比其他 3 种土地利用方式分别高 0.11%、0.67%、0.32%，20~40 cm 林地比其他 3 种土地利用方式分别高 0.01%、0.48%、0.18%，40~60 cm 林地比其他 3 种土地利用方式分别高 0.01%、0.43%、0.14%（图 2），这表明林地的覆被植物吸收氮的能力较强，耕地和园地由于耕作方式、种植作物不同等因素使其脲酶活性比草地高。

2.3 不同土地利用方式养分和酶活性的相关性分析

大量研究表明土壤养分与土壤酶活性之间存在不同的相关性。本研究分别对林地、耕地、草地、园地 4 种不同土地利

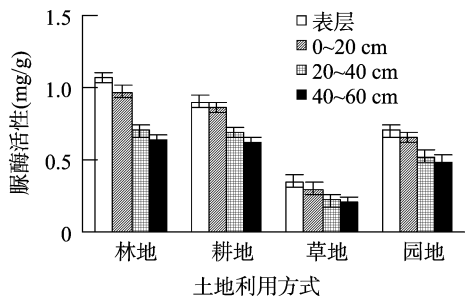


图3 不同土地利用方式下脲酶含量状况

用方式下的酶活性和养分进行了相关性分析，结果发现林地的蔗糖酶活性与速效氮呈极显著相关，与有机质、速效磷和速效钾呈显著相关；过氧化氢酶活性与速效磷相关性不显著，与有机质、速效磷和速效钾呈极显著相关；脲酶活性与速效氮和速效磷呈极显著相关，与有机质和速效钾呈显著相关。耕地蔗糖酶活性与速效氮和速效磷成极显著相关，与有机质和速效钾呈显著相关；过氧化氢酶活性与速效磷呈显著相关，与有机质、速效氮和速效钾相关性不显著；脲酶活性与速效磷呈显著相关，与有机质、速效氮和速效钾呈极显著相关。草地蔗糖酶活性和过氧化氢酶活性与养分的 4 个指标皆呈极显著相关，脲酶活性与养分的 4 个指标皆呈显著相关。园地的蔗糖酶活性、过氧化氢酶活性、脲酶与有机质、速效氮和速效磷呈极显著相关，与速效钾呈显著相关（表 3）。由此可知，在 4 种不同土地利用方式下蔗糖酶活性和脲酶活性均与养分（有机质、速效氮、速效磷、速效钾）联系密切，而过氧化氢酶活性随着土地利用方式的改变，其与养分的相关性也随之改变，但都呈正相关。

表 3 不同土地利用方式养分和酶活性的相关性分析

土地利用方式	酶	有机质	速效氮	速效磷	速效钾
林地	蔗糖酶	0.975 *	0.997 **	0.984 *	0.970 *
	过氧化氢酶	0.995 **	0.926	0.991 **	0.996 **
	脲酶	0.985 *	0.992 **	0.992 **	0.981 *
耕地	蔗糖酶	0.988 *	0.994 **	1.000 **	0.983 *
	过氧化氢酶	0.948	0.941	0.973 *	0.936
	脲酶	0.993 **	0.991 **	0.988 *	0.999 **
草地	蔗糖酶	1.000 **	0.999 **	0.996 **	0.994 **
	过氧化氢酶	0.999 **	1.000 **	0.998 **	0.997 **
	脲酶	0.986 *	0.981 *	0.978 *	0.970 *
园地	蔗糖酶	0.997 **	0.999 **	0.999 **	0.951 *
	过氧化氢酶	0.995 **	1.000 **	0.999 **	0.958 *
	脲酶	0.991 **	0.999 **	0.999 **	0.968 *

注：* 表示差异达显著水平（ $P < 0.05$ ），** 表示差异达极显著水平（ $P < 0.01$ ）。

3 结论

不同土地利用方式下土壤酶与土壤养分含量存在一定的差异性。蔗糖酶、过氧化氢酶、脲酶活性为林地 > 耕地 > 园地 > 草地。林地由于树叶凋落、累积，为微生物提供大量营养物质，使微生物大量繁殖，与之相关的酶也随之增加；耕地和园地因为耕作方式和施肥状况使之 3 种酶活性不弱。有机质和速效氮含量为耕地 > 园地 > 林地 > 草地，速效磷含量为园地 > 耕地 > 草地 > 林地，速效钾含量为园地 > 林地 > 耕地 >

草地、园地和耕地因定期施肥和定期翻耕,因此养分相对较高。

根据对3种土壤酶的分析可知,土壤酶的活性与土层深度有关,酶活性在0~60 cm随土层增加而降低,这与植物枯枝落叶和残根集中在土壤表层有关。而通过对不同土地利用方式养分和酶活性的相关性分析可知土壤酶活性与有机质、速效氮、速效磷、速效钾有一定的相关,这与薛蕙等^[3]和梁毅等^[15]的结论基本相符。

土地的利用方式对土壤养分含量高低和土壤酶活性强弱会有影响,因此合理的土地管理方式和施肥可以提高农业生产效益,为防止土地荒漠化、盐碱化等土地问题提供科学依据。同时,增加覆被植物种类可以间接提高土壤肥力,进而提高生态系统的稳定性。

参考文献:

- [1] 赵瑞芬,张一弓,张强,等. 不同土地利用方式对土壤养分状况的影响——以太原市为例[J]. 中国农学通报,2011,27(14): 262-266.
- [2] 王莹,刘淑英,王平,等. 不同土地利用方式对秦王川灌区土壤酶活性及土壤养分的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2013(5): 107-113.
- [3] 薛蕙,李占斌,拳鹏,等. 不同土地利用方式对于热河谷地区土壤酶活性的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(18): 3768-3777.
- [4] 陈彩虹,叶道碧. 4种人工林土壤酶活性与养分的相关性研究[J]. 中南林业科技大学学报,2010,30(6): 64-68.
- [5] 桂东伟,雷加强,曾凡江,等. 绿洲边缘不同土地利用方式下的土

(上接第370页)

产纤维素酶深层液体发酵条件试验结果拟合良好,可用此回归方程对该菌株产纤维素酶深层液体发酵条件进行优化分析。采用 Design Expert 8.0.6 软件获取滤纸酶活力极大值,方法为:选取 Optimization→Numerical→Criteria,选定指标“滤纸酶活力”;Goal 设定为 maximize→Solution,从 Solution 寻找最大响应值为 12.23 U/mL,此时葡萄糖含量为 4.44%、豆饼粉含量为 0.67%、接种量为 2.95%、装瓶量为 67.61 mL。考虑试验的实际情况,确定最优条件为葡萄糖含量为 4.4%、豆饼粉含量为 0.7%、接种量为 3.0%、装瓶量为 67.6 mL,此条件测定得该菌株相应的滤纸酶活力为 (12.32 ± 0.41) U/mL ($n=6$)。优化前采用基础发酵培养基培养该菌株对应的平均酶活力为 (0.45 ± 0.02) U/mL ($n=6$),优化后菌株产纤维素酶活力提高了 27.4 倍。

3 结论

本试验采用 DNS 染色法,通过 Box-Behnken 试验设计及响应面分析,对以 Tu-115 菌株产纤维素酶的深层液体发酵条件进行优化,得到由影响产纤维素酶活力发酵的各因素变量构成的二次方程,该模型回归显著,对试验结果拟合良好。在此基础上,确定 Tu-115 菌株产纤维素酶的深层液体发酵最优工艺条件,为该菌株的大规模发酵和应用奠定了良好基础。采用响应面法能很好地预测产纤维素酶的深层液体发酵条件,方法简单易行,结果可靠,具有一定的实用和推广价值。

- 壤质量变化及分析[J]. 环境科学,2010,31(9): 2248-2253.
- [6] 贡璐,张雪妮,吕光辉,等. 塔里木河上游典型绿洲不同土地利用方式下土壤质量评价[J]. 资源科学,2012,34(1): 120-127.
- [7] 林明珠,谢世友,林玉石. 喀斯特山地不同土地利用方式土壤养分特征研究[J]. 中国水土保持,2009(9): 8-10.
- [8] 阳利永,吴献花,赵斌,等. 滇池柴河流域不同土地利用方式土壤养分剖面分异[J]. 水土保持研究,2012,19(5): 95-99.
- [9] 任勃,杨刚,谢永宏,等. 洞庭湖区不同土地利用方式对土壤酶活性的影响[J]. 生态与农村环境学报,2009,25(4): 8-11.
- [10] 刘梦云,常庆瑞,齐雁冰,等. 宁南山区不同土地利用方式土壤酶活性特征研究[J]. 中国生态农业学报,2006,14(3): 67-70.
- [11] 陈新燕. 不同土壤管理方式对南疆干旱区梨园土壤性质的影响[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2012.
- [12] 王莹. 秦王川灌区不同土地利用方式土壤活性有机碳库、土壤酶活性和土壤养分研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2013.
- [13] 高勇,伍宇春,黎磊,等. 岩溶区不同土地利用方式下土壤养分的剖面分布特征[J]. 广东农业科学,2014,41(17): 69-73.
- [14] 王莉,张强,牛西午,等. 黄土高原丘陵区不同土地利用方式对土壤理化性质的影响[J]. 中国生态农业学报,2007,15(4): 53-56.
- [15] 梁毅,杨慧,曹建华,等. 不同土地利用方式下土壤养分和酶活性的变化[J]. 广西师范大学学报:自然科学版,2013,31(1): 125-129.
- [16] 李文凤,房翠翠,牛玉昊,等. 高原地区不同农作物土壤酶活性与土壤养分关系研究[J]. 北方园艺,2014(12): 159-161.
- [17] 王兵,刘国彬,薛蕙. 退耕地养分和微生物量对土壤酶活性的影响[J]. 中国环境科学,2010,30(10): 1375-1382.

参考文献:

- [1] 潘春梅,王辉,任敏. 纤维素酶液体发酵工艺条件的响应面分析优化[J]. 环境科学与技术,2008,31(8): 120-124.
- [2] 杨丽娜,张建,龚月生. 响应面法优化 *Bacillus subtilis* NP29 产纤维素酶发酵条件的研究[J]. 饲料工业,2012,33(14): 48-52.
- [3] 孙君社,李雪,董秀芹. 纤维素酶高产菌株的选育及产酶条件的研究[J]. 北京林业大学学报,2002,24(2): 85-87.
- [4] 李悦,薛桥丽,李世俊,等. 响应面法优化小刺青霉 16-7 产纤维素酶液体发酵工艺[J]. 食品科学,2014,35(17): 137-145.
- [5] 褚以文. 微生物培养基优化方法及其 OPTI 优化软件[J]. 国外医药:抗生素分册,1999,20(2): 58-60,66.
- [6] 胡丽娟,薛高尚,卢向阳,等. 响应面法优化芽孢杆菌 25-2 产纤维素酶发酵条件[J]. 酿酒科技,2012(4): 21-26.
- [7] 陈帅,刘琨毅,郑佳,等. 基于响应面法优化酿酒黄水酶促酯化条件的研究[J]. 食品工业科技,2012,33(12): 205-209.
- [8] 王琳,赵荷娟,魏启舜,等. 双孢蘑菇子实体多糖的响应面法优化提取及其纯化[J]. 江苏农业学报,2014,30(5): 1139-1146.
- [9] 姜军坡,朱宝成,王世英. 以滤纸酶活力为指标优化解淀粉芽孢杆菌 Tu-115 菌株产纤维素酶液体发酵条件[J]. 饲料工业,2014,35(20): 43-47.
- [10] 尚伟,姜军坡,王世英,等. 兔源益生菌 Tu-115 菌株鉴定及其产纤维素酶固体发酵条件优化[J]. 饲料工业,2012,33(2): 55-60.
- [11] 周向军,高义霞. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定芥菜多糖含量的研究[J]. 安徽农业科学,2009(35): 17297-17298,17308.