

宁运旺,张 辉,戴 娟,等. 江苏省小麦化肥投入现状与影响因素分析——以苏州市和盐城市为例[J]. 江苏农业科学,2019,47(15):269–273. doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2019.15.062

# 江苏省小麦化肥投入现状与影响因素分析 ——以苏州市和盐城市为例

宁运旺<sup>1</sup>, 张 辉<sup>1</sup>, 戴 娟<sup>2</sup>, 张永春<sup>1</sup>

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所/农业农村部江苏耕地保育科学观测实验站, 江苏南京 210014;

2. 江苏省淮安市淮安区南闸镇农技推广服务中心, 江苏淮安 223001)

**摘要:**基于江苏省苏州和盐城地区 937 个样本农户的实证调查,分析小麦化肥投入现状及其影响因素。结果表明:(1)苏州和盐城地区小麦氮肥投入分别为  $267.4 \pm 57.3$ 、 $300.9 \pm 76.6$  kg/hm<sup>2</sup>,比推荐施肥分别超出 87.0%、89.2%;钾肥分别投入  $65.9 \pm 17.0$ 、 $35.9 \pm 29.2$  kg/hm<sup>2</sup>,比推荐施肥超出 37.3% 和不足 38.1%。(2)苏州地区小麦的规模种植比例、机条播比例和施肥次数均显著高于盐城地区,而盐城地区的配方肥使用比例显著高于苏州地区,苏州和盐城地区的有机肥使用比例均较低。(3)影响苏州地区小麦氮肥投入的前 3 个种植行为分别是施肥次数、产量以及是否使用有机肥,影响盐城地区小麦氮肥投入的前 3 个种植行为分别是所在县(市、区)、施肥次数、播种方式。因此建议应针对不同地区指定小麦减肥措施,重点在于加强配方肥使用技术推广和减少施肥次数。

**关键词:**江苏省小麦;化肥投入;影响因素;氮肥;农户调查;磷肥;钾肥;化肥折纯

**中图分类号:** S512.106 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2019)15–0269–04

小麦是世界总产量第二大粮食作物,施肥对小麦有明显的增产作用<sup>[1]</sup>。早在 2008 年我国已有 75% 农户小麦施肥过量<sup>[2]</sup>。过量施肥不但会造成经济效益下降,还会影响资源环境<sup>[3]</sup>。为此,我国于 2005、2015 年先后开展测土配方施肥和化肥零增长行动,并于 2016 年立项支持“化学肥料和农药减施增效综合技术研发”,要求到 2020 年主要农作物化肥氮磷减施 20%。江苏省是长江中下游的主要小麦产区之一,小麦是江苏省第二大粮食作物,播种面积和总产量均列全国第 5,但对于江苏省小麦施肥现状,目前了解还严重不足,较近的相关报道在 2011 年,苏北、苏中和苏南地区小麦平均施氮量分别为 323.0、226.9、203.2 kg/hm<sup>2</sup>,其中苏北地区有 52% 农户氮肥施用过量<sup>[4]</sup>。近年来,一些与江苏省小麦施肥有关的因素如土壤养分状况<sup>[5]</sup>、小麦品种<sup>[6]</sup>、栽培措施<sup>[7]</sup>等均已发生变化,加上多年测土配方施肥的大力推进,江苏省小麦施肥现状如何尚未可知。本研究通过对 2013—2015 年江苏省苏州市和盐城市小麦施肥现状进行调查,旨在对江苏省小麦化肥投入及影响因素进行分析,以期从事化肥减施工作的同行和相关部门提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查内容

根据调查目的,调查内容主要与小麦化肥投入相关。具体指标包括农户地址、种植规模、籽粒产量、是否使用配方肥、

施肥次数和不同生育期化肥投入数量。

### 1.2 调查方法

以苏州市和盐城市分别作为江苏省南北的代表地级市,其中从苏州市现辖的 9 个区(县、市)随机选择 6 个、盐城市现辖的 9 个区(县、市)中随机选择 5 个进行调查。每个区(县、市)随机 1~4 个乡镇,每个乡镇 2~6 个村,每个村 3~15 户,以表格问卷形式对 2013—2015 年的水稻施肥状况进行调查。苏州市共调查 6 个区(县、市)、10 个乡镇、22 个自然村、121 户,获得 351 份有效调查问卷;盐城市共调查 5 个区(县、市)、12 个乡镇、23 个自然村、196 户,获得 586 份有效调查问卷。具体样点分布见表 1。

### 1.3 数据处理

用 SPSS 19.0 软件分析和处理数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦施肥状况的总体描述

由表 2 可见,苏州地区小麦氮、磷、钾和化肥折纯投入量分别为  $(267.40 \pm 57.30)$ 、 $(59.70 \pm 15.60)$ 、 $(65.90 \pm 17.00)$ 、 $(393.00 \pm 64.50)$  kg/hm<sup>2</sup>,氮磷钾投入比例为 1.00 : 0.22 : 0.25;盐城地区小麦氮、磷、钾和化肥折纯投入量分别为  $(300.90 \pm 76.60)$ 、 $(74.00 \pm 25.50)$ 、 $(35.90 \pm 29.20)$ 、 $(410.80 \pm 90.10)$  kg/hm<sup>2</sup>,氮磷钾投入比例为 1.00 : 0.25 : 0.12。根据苏州市和盐城市的小麦平均籽粒产量[分别为  $(5.03 \pm 0.91)$  t/hm<sup>2</sup> 和  $(6.01 \pm 0.76)$  t/hm<sup>2</sup>],对照农业农村部《2016 年秋冬主要农作物施肥指导意见》,苏州市长江中下游冬小麦区的氮磷钾施用量应分别在 143、60、48 kg/hm<sup>2</sup> 左右;盐城华北大雨养冬小麦区的氮磷钾施用量应分别在 159、72、58 kg/hm<sup>2</sup> 左右。苏州地区小麦氮肥投入超出 87.0%、磷肥投入较为合理、钾肥投入超出 37.3%,盐城地区小麦氮肥投入超 89.2%、

收稿日期:2018–04–17

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFD02200500);江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(16)1001]。

作者简介:宁运旺(1966—),男,安徽安庆人,研究员,主要从事大田作物养分管理与施肥研究。E-mail:ningyunwang460@sina.com。

表 1 小麦施肥调查样点分布

地级市	区 (县、市)	乡镇	自然村	调查户数 (户)	调查样本数 (份)
苏州	吴江	盛泽镇;汾湖镇	前跃村、星谊村;大潮村、雪巷村	15	33
	张家港	园区镇;杨舍镇	常东村、常西村;南新村、东莱村	40	120
	太仓	双凤镇	庆丰村、新闾村	20	60
	相城	望亭镇;北桥镇	迎湖村、何家角村;石桥村、丰泾村	16	48
	昆山	陆家镇;千灯镇	陈巷村、夏桥村、邹家角村;陶桥村、大潭村、新泾村	10	30
	常熟	虞山镇	永红村;三星村	20	60
小计	6	10	22	121	351
盐城	滨海	滨淮镇;正红镇	新岭村、合新村;仁杰村、大滩村、陈坍村、复兴村、朱集村	37	109
	响水	南河镇;小尖镇	太平村、薛荡村;毕圩村、朱圩村	40	120
	射阳	四明镇;临海镇	建华村、建中村;盐店村、六垛村	39	117
	建湖	恒济镇;近湖镇	居委会村、建河村;太平村、裕丰村	40	120
	东台	富安镇;安丰镇;五烈镇;梁垛镇	建团村;同明村;谢庄村;梁西村	40	120
小计	5	12	23	196	586
合计	11	22	45	317	937

表 2 小麦化肥投入的总体描述

试验点	指标	样本数(份)	极小值	极大值	均值	标准差	变异系数(%)
苏州市	籽粒产量(t/hm <sup>2</sup> )	350	3.75	7.20	5.03	0.91	18.0
	施氮量(kg/hm <sup>2</sup> )	351	157.50	538.50	267.40	57.30	21.4
	施磷量(kg/hm <sup>2</sup> )	351	33.75	135.00	59.70	15.60	26.1
	施钾量(kg/hm <sup>2</sup> )	351	33.75	135.00	65.90	17.00	25.7
	化肥折纯	351	256.50	673.50	393.00	64.50	16.4
盐城市	籽粒产量(t/hm <sup>2</sup> )	586	4.05	9.00	6.01	0.76	12.7
	施氮量(kg/hm <sup>2</sup> )	586	72.50	608.30	300.90	76.60	25.4
	施磷量(kg/hm <sup>2</sup> )	586	0	236.30	74.00	25.50	34.5
	施钾量(kg/hm <sup>2</sup> )	586	0	136.50	35.90	29.20	81.2
	化肥折纯(kg/hm <sup>2</sup> )	586	72.45	720.80	410.80	90.10	21.9

磷肥投入较为合理、钾肥投入不足 38.1%。

2.2 小麦种植行为

由图 1 可知,苏州市和盐城市的小麦种植在规模种植比例、配方肥使用比例、机条播比例和施肥次数上均存在显著差异,其中苏州市的规模种植比例、机条播比例和施肥次数分别

达到 92.2%、52.1%、3.4 次,分别显著高于盐城市的 18.0%、27.6%、2.8 次;而盐城市的配方肥使用比例为 18.8%,显著高于苏州的 0.0%。苏州市和盐城市的有机肥使用比例均较低,均只有 2.6%。

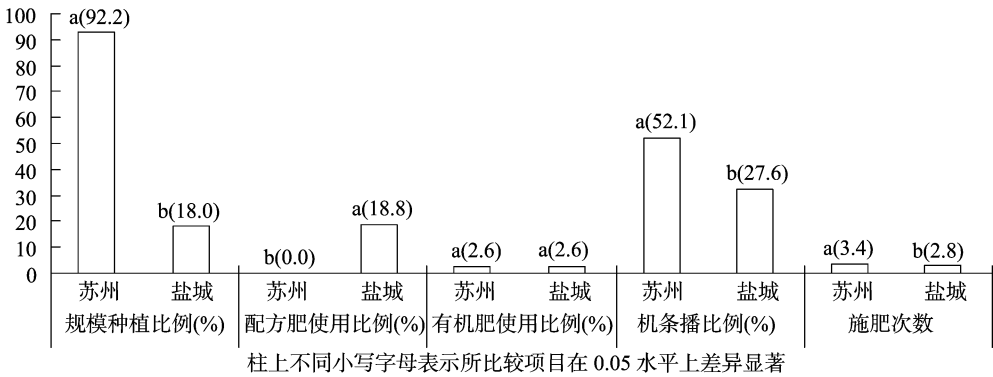


图1 苏州、盐城市的小麦种植行为差异

2.3 种植行为对小麦化肥投入的影响

不同种植行为对小麦化肥投入有不同的影响(表 3)。年度间变化方面,苏州地区 2015 年化肥折纯投入比 2013—2014 年显著降低 7.2%~7.3%,其中氮肥投入显著降低 9.8%~13.4%,磷钾肥投入与推荐施肥比较均在合理范围之内;盐城地区连续 3 年化肥投入总量和氮磷钾投入结构均无

显著变化。在种植规模影响方面,苏州地区规模种植对氮磷钾和化肥折纯投入均无显著影响;而盐城的规模种植化肥折纯投入反而显著增加 12.8%,其中氮肥投入显著增加 14.2%,磷肥投入显著减少 11.6%,钾肥投入增加 56.4%。播种方式影响方面,苏州地区机条播和撒播对化肥折纯和氮肥投入均无显著影响,但机条播能显著增加磷肥投入

(10.1%)、降低钾肥投入(10.6%);盐城地区机条播化肥折纯投入比撒播显著降低 19.4%,其中氮肥投入显著降低 27.7%,钾肥投入显著增加 31.8%,磷肥投入无显著变化。有机肥使用的影响方面,苏州地区使用有机肥显著降低了化肥折纯投入 15.7%,其中氮肥显著降低 28.1%、钾肥显著增加 36.3%;盐城地区使用有机肥对化肥折纯、氮磷投入均无显著影响,钾肥投入显著增加 48.7%。配方肥使用的影响方

面,苏州地区小麦无配方肥使用;盐城地区使用配方肥显著增加了化肥折纯投入(10.3%),其中氮肥投入显著增加 14.3%。施肥次数的影响方面,苏州和盐城的化肥折纯投入均随施肥次数增加而呈显著增加趋势,但盐城施肥 5 次比 4 次化肥折纯投入显著降低,其中苏州施肥次数在 3 次以下、盐城施肥次数在 2 次以下时,施氮量均显著降至 250 kg/hm<sup>2</sup> 以下。

表 3 不同区域和小麦种植行为的化肥投入

类别	分类	样本数(户)		氮(kg/hm <sup>2</sup> )	
		苏州	盐城	苏州	盐城
年度	2013	109	196	284.5±54.7a	306.0±69.1a
	2014	121	196	273.0±62.9a	299.3±80.6a
	2015	121	194	246.3±46.7b	297.4±79.6a
种植规模	规模种植户	321	105	265.4±54.4a	334.6±23.7a
	分散种植户	27	478	272.1±61.7a	293.0±81.9b
播种方式	机条播	183	162	268.0±52.8a	235.6±82.1b
	撒播	168	424	266.7±62.0a	325.9±57.3a
有机肥	使用有机肥	9	15	193.5±11.3b	281.1±123.2a
	不使用有机肥	342	571	269.3±56.7a	301.4±75.0a
配方肥	使用配方肥	0	110	—	335.0±54.1a
	不使用配方肥	351	476	267.4±57.3	293.0±78.8b
施肥次数	1 次	0	3	—	102.8±0.0e
	2 次	6	221	207.8±11.6b	247.7±67.7d
	3 次	201	264	234.7±40.4b	322.2±51.4c
	4 次	144	93	315.6±14.4a	369.1±65.3b
	5 次	0	5	—	381.1±42.7a

类别	分类	磷(kg/hm <sup>2</sup> )		钾(kg/hm <sup>2</sup> )		化肥折纯(kg/hm <sup>2</sup> )	
		苏州	盐城	苏州	盐城	苏州	盐城
年度	2013	56.0±14.9b	76.5±24.0a	62.8±17.8b	34.3±30.5a	403.3±60.0a	416.8±80.9a
	2014	61.9±15.1a	71.2±26.0a	68.0±15.6a	36.0±29.1a	402.9±71.9a	406.5±94.4a
	2015	60.7±16.3a	74.2±26.3a	66.8±17.2ab	37.5±28.0a	373.8±56.3b	409.2±94.4a
种植规模	规模种植户	60.0±15.9a	66.8±22.5b	66.5±17.3a	51.0±19.6a	391.9±62.2a	452.5±44.2a
	分散种植户	55.7±11.2a	75.6±25.9a	60.7±11.3a	32.6±29.9b	388.5±67.8a	401.2±90.1b
播种方式	机条播	62.4±16.8a	70.7±29.8a	62.4±16.8b	43.5±24.7a	392.7±61.7a	349.8±97.4b
	撒播	56.7±13.7b	75.2±23.6a	69.8±16.3a	33.0±30.3b	393.3±67.6a	434.1±75.1a
有机肥	使用有机肥	50.0±10.5a	82.7±45.2a	89.0±6.0a	52.8±53.4a	332.5±64.6b	416.6±175.5a
	不使用有机肥	59.9±15.6a	73.7±24.8a	65.3±16.7b	35.5±28.2b	394.6±5.3a	410.6±87.0a
配方肥	使用配方肥	—	74.8±24.0a	—	34.7±21.8a	—	444.6±71.4a
	不使用配方肥	59.7±15.6	73.8±259.9a	65.9±17.0	36.2±30.6a	393.0±64.5	403.0±92.2b
施肥次数	1 次	—	33.8±0.0c	—	33.8±0.0ab	—	170.3±0.0e
	2 次	52.5±6.8a	72.0±23.9b	52.5±6.8b	30.1±26.6b	312.8±13.6c	349.9±71.7d
	3 次	57.9±16.3a	72.6±22.6b	68.8±18.2a	35.4±28.8a	361.4±53.7b	430.2±68.0c
	4 次	62.5±14.4a	83.3±32.9a	62.5±14.4ab	51.7±31.4a	440.5±47.0a	504.0±70.5a
	5 次	—	82.1±43.6ab	—	30.4±27.7ab	—	493.6±44.1bc

注:—表示无此项操作;同列数据后不同小写字母表示比较项目间施肥量差异显著( $P<0.05$ );种植规模缺失 3 个数据,导致苏州、盐城总样本数分别为 348,583 户。

2.4 偏相关分析

相关分析结果(表 4)表明,对苏州地区而言,影响小麦化肥投入的最大养分投入是氮,而影响化肥折纯和氮肥投入最大的 3 个种植行为相同,分别是施肥次数、产量和是否使用有机肥,其中施肥次数和产量均与化肥折纯和氮肥投入呈极显著正相关,而随着有机肥使用,化肥折纯和氮肥投入均极显著减少。对盐城地区小麦化肥投入影响最大的养分也是氮,对化肥折纯投入影响最大的 3 个种植行为分别是施肥次数、所

在县(市、区)和播种方式,而对氮肥投入影响最大的 3 个种植行为分别是所在县(市、区)、施肥次数和播种方式。

3 结论与讨论

盐城市和苏州市分属黄淮冬麦区和长江中下游冬麦区,由于气候、土壤等自然条件差异,盐城地区小麦产量一直高于苏州地区。氮是小麦产量的主要养分限制因子,我国从 20 世纪 50 年代开始使用化肥,小麦施氮就一直有较好的增产效

表 4 影响小麦化肥投入种植行为的偏相关分析

指标	区域	施氮量	施磷量	施钾量	产量	县(市、区)	年份	大户	播种方式	有机肥	配方肥	施肥次数
化肥折纯	苏州	0.890***	0.569***	0.275***	0.221***	-0.119*	-0.191***	0.041	0.026	-0.155**		0.623***
	盐城	0.935***	0.351***	0.329***	0.206***	0.594***	-0.037	0.219***	-0.418***	0.011	0.183***	0.627***
施氮量	苏州		0.205***	-0.142**	0.332***	-0.159**	-0.283***	-0.006	0.048	-0.216***		0.709***
	盐城		0.188***	0.100*	0.223***	0.644***	-0.048	0.209***	-0.527***	-0.041	0.218***	0.607***
施磷量	苏州			0.499***	0.133*	-0.206***	0.121*	0.081	0.182**	-0.101		0.152**
	盐城			-0.283***	-0.020	0.096*	-0.034	-0.132**	-0.081	0.056	0.016	0.147***
施钾量	苏州				-0.378***	0.269***	0.096	0.094	-0.227***	0.221***		-0.138*
	盐城				0.070	0.064	0.042	0.243***	0.162***	0.094*	-0.020	0.214***

注:变量赋值:种植规模(规模种植户1,分散种植户0)、播种方式(机条播1、撒播0)、肥料结构(有机肥1、化肥0;配方肥1、普通肥0)、施肥次数(1~5),苏州县(市、区)(1=吴江,2=太仓,3=张家港,4=常熟,5=相城,6=昆山);盐城县市(1=东台,2=响水,3=射阳,4=建湖,5=滨海)。\*、\*\*、\*\*\* 分别表示在0.05、0.01、0.001 水平上显著相关。

果<sup>[8]</sup>,磷钾肥只有在养分缺乏土壤上才会对小麦有增产效果<sup>[9]</sup>。随着复合肥的大量使用以及秸秆还田的大力推进,近30年来江苏省土壤速效磷、钾均呈上升趋势<sup>[5]</sup>,磷钾肥料效果已有所下降。本次调查结果表明,氮肥投入与盐城和苏州地区小麦产量均呈极显著正相关(苏州: $y = 0.3x + 254.2$ ,  $r^2 = 0.0741^{***}$ ;盐城: $y = 0.14x + 357.70$ ,  $r^2 = 0.0467^{***}$ ),而磷钾肥投入与盐城小麦产量均无显著相关性,钾肥投入甚至与苏州地区小麦产量呈负相关(表4)。如果按照氮肥价格4.33元/kg,小麦籽粒价格2.50元/kg计算,小麦氮肥投入的边际产量临界值为1.73kg/kg,盐城和苏州地区的氮肥投入边际产量均远低于临界值。结果表明,不经济施肥可能是盐城和苏州地区小麦氮肥投入严重过量的原因之一,从经济角度科学引导农户控制氮肥投入非常必要。

小麦生长包括苗期、分蘖期、拔节孕穗期和灌浆成熟期等4个阶段,由于小麦生育期较长、不同生长阶段对养分需求也有所差异,传统上需施肥3~4次<sup>[10-11]</sup>,而根据农业农村部2016年小麦施肥指导意见,合理施肥次数为2次,即基肥和拔节孕穗肥。本次调查中,盐城和苏州地区的平均施肥次数分别为2.8、3.4次,进一步分析显示,施肥次数是影响氮肥和化肥折纯投入的最大施肥行为,当盐城和苏州地区施肥次数均为2次时,其施氮量分别为247.7、207.8kg/hm<sup>2</sup>,比3~4次施肥时的施氮量分别减少23.1%~32.9%、11.5%~34.2%,但仍比推荐施氮量分别高出55.8%、45.3%。说明施肥次数较多也是盐城和苏州地区小麦氮肥投入过量的原因之一。

为减少化肥投入,近年来我国政府大力推动测土配方施肥和有机肥部分替代化肥策略,但受农民年龄、文化程度、家庭收入等的影响,测土配方施肥真正应用到农户的仅为15%左右,有的地方还不到10%<sup>[12]</sup>;有机肥虽然农户使用比例较高<sup>[13]</sup>,但用在小麦田的也非常少,甚至几乎不用<sup>[14]</sup>。近年来,随着农业规模化种植比例不断扩大<sup>[15]</sup>,人们对农业新技术包括测土配方施肥和有机肥推广应用抱有更多期待。前人调查指出,新技术的接受程度主要受农户年龄结构和文化程度影响,受种植规模的影响较小<sup>[16]</sup>,本次调查的随机样本也显示种植规模和新技术推广无必然联系,苏州和盐城地区的规模种植户比例分别为92.2%、18.0%,而采用配方肥的水稻种植户分别为0、18.8%,采用有机肥的农户比例均为2.6%。另一方面,从本次调查结果看,盐城地区规模种植户

的氮肥投入反而显著高于分散种植户,分别为(334.6±23.7)、(293.0±81.9)kg/hm<sup>2</sup>,苏州地区的规模种植户氮肥投入则与分散种植户无显著性差异;盐城地区使用配方肥反而显著增加了氮肥投入。从覆盖面和效果看,新技术推广远未达到预期。本次调查还发现,同一地区的不同县(市、区)之间氮肥和化肥折纯投入差异较大,其中盐城地区不同县市之间的差异还是影响氮肥投入的最大因素。如盐城地区不同县市配方肥使用比例多的有43.6%、少的只有0.2%,施肥次数多的有3.3次、少的只有2.3次;且配方肥和施肥次数都对小麦化肥投入有显著性影响。提示应根据不同县市的具体情况采取不同的化肥减施措施。

苏州地区小麦氮、磷、钾和化肥折纯投入量分别为(267.4±57.3)、(59.7±15.6)、(65.9±17.0)、(393.0±64.5)kg/hm<sup>2</sup>,其中氮肥投入超出80.7%、磷肥投入较为合理、钾肥投入超出37.3%;盐城地区小麦氮、磷、钾和化肥折纯投入量分别为(300.9±76.6)、(74.0±25.5)、(35.9±29.2)、(410.8±90.1)kg/hm<sup>2</sup>,其中氮肥投入超89.2%、磷肥投入较为合理、钾肥投入不足38.1%。

比较苏州和盐城地区的小麦种植行为差异,苏州地区的规模种植比例、机条播比例和施肥次数均显著高于盐城地区,而盐城地区的配方肥使用比例显著高于苏州地区,苏州和盐城地区的有机肥使用比例均较低。

对化肥折纯投入影响最大的养分是氮肥,而影响氮肥投入的种植行为与区域有关。影响苏州地区小麦氮肥投入的前3个种植行分别是施肥次数、产量和是否使用有机肥,影响盐城地区小麦氮肥投入的前3个种植行为分别是所在县(市、区)、施肥次数和播种方式。

参考文献:

[1]王旭,李贞宇,马文奇,等.中国主要生态区小麦施肥增产效应分析[J].中国农业科学,2010,43(12):2469-2476.  
[2]张卫峰,马文奇,王雁峰,等.中国农户小麦施肥水平和效应的评价[J].土壤通报,2008,39(5):1049-1055.  
[3]李贞宇,王旭,高志岭,等.我国不同区域小麦施肥资源环境影响的生命周期评价[J].农业环境科学学报,2010,29(7):1417-1422.  
[4]马立珩,张莹,隋标,等.江苏省水稻过量施肥的影响因素分析[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2011,32(2):48-52,80.

尚 洁. 木蹄层孔菌产锰过氧化物酶的碳氮源优化及酶学性质[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(15): 273–277.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.15.063

# 木蹄层孔菌产锰过氧化物酶的碳氮源优化及酶学性质

尚 洁

(北方民族大学生物科学与工程学院, 宁夏银川 750021)

**摘要:** 锰过氧化物酶是环境工程研究领域广泛关注的酶之一, 它能够促进生物燃料合成, 促使木质素和污染物降解等工业生物过程更好进行。研究木蹄层孔菌产锰过氧化物酶的最适碳源和氮源, 揭示锰过氧化物酶的培养方式、最适 pH 值和 pH 耐受性、最适温度和温度耐受性、金属离子对其影响等特征。木蹄层孔菌在静置培养时产锰过氧化物酶显著高于振荡培养。小麦麸皮 23 g/L 和蛋白胨 2 g/L 是最佳组合的碳源和氮源。锰过氧化物酶在 pH 值为 4.5 或温度为 50 ℃ 时酶活力最高。酶在 pH 值 4.0~4.5 或温度 30 ℃ 以下处理 24 h 后, 仍可保持 80% 以上的酶活力。底物为愈创木酚时, 锰过氧化物酶的  $K_m$  值为 0.34 mmol/L,  $V_{max}$  为 0.12 mmol/L · min。当添加的金属离子浓度为 1 mmol/L, 与对照相比,  $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Ba^{2+}$ 、 $Co^{2+}$  和  $Na^+$  可极显著抑制 MnP 活力。当添加的金属离子浓度为 10 mmol/L, 与对照相比, 除  $Mg^{2+}$  外, 其他金属离子均能极显著抑制酶的活力。 $Mg^{2+}$  1、10 mmol/L 对酶的活力没有影响。木蹄层孔菌适合在静置培养时产锰过氧化物酶, 最适碳源和氮源分别为小麦麸和蛋白胨, 酶在室温和偏酸性环境中耐受性较好, 并对  $Mg^{2+}$  有较好耐受性。

**关键词:** 木蹄层孔菌; 锰过氧化物酶; 碳氮源; 酶学性质

**中图分类号:** S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)15-0273-05

木质素是自然界中在数量上仅次于纤维素的第二大生物高分子材料, 在能源和日用化工品应用方面具有巨大的潜在价值。锰过氧化物酶 (MnP, E. C. 1.11.1.13) 是一种含有血红素和  $Mn^{2+}$  结合部位的过氧化物酶, 它在木质素降解过程中发挥着重要的作用。MnP 通过氧化  $Mn^{2+}$  为  $Mn^{3+}$  直接氧化木质素, 并将  $Mn^{3+}$  分泌到胞外。了解聚天然和合成木质素, MnP 还具有修复工业废料的巨大潜能, 如降解难处理的工业污染物。MnP 能够有效地进行合成染料的脱色, 如甲基橙<sup>[1]</sup>和三苯甲烷类染料<sup>[2]</sup>, 这种潜在的能力已经引起了广泛的关

注。除了染料脱色, 白腐真菌分泌的 MnP 还可以用于降解持久性有机污染物, 如多环芳烃<sup>[3]</sup>、2,4,6-三硝基甲苯<sup>[4]</sup>和联苯中间代谢物<sup>[5]</sup>。如何提高白腐真菌 MnP 产量, 提高酶的活性成为人们日益关心的问题。因此, 产酶条件的优化和酶学特性的研究, 将有助于 MnP 的产量增加, 酶活力的提高, 使 MnP 能够在未来更好地应用于各个领域。木蹄层孔菌 (*Fomes fomentarius*) 是担子菌门的一种白腐真菌, 常见于桦树和杨树, 广泛存在于非洲、亚洲、欧洲和北美洲, 在我国主要分布于东北地区、西北地区和西南地区。前期研究发现, 木蹄层孔菌能够有效降解白桦中的木质素, 保留较高含量的纤维素和较低含量的 1% NaOH 和苯醇抽出物<sup>[6]</sup>, 在白桦生物转化中具有潜在的应用价值。本研究进行了木蹄层孔菌产 MnP 的碳氮源优化及酶学性质研究, 旨在为今后 MnP 的利用提供相关理论依据。

收稿日期: 2018-03-30

基金项目: 北方民族大学校级科研项目 (编号: 2018XYZSK05); 宁夏自然科学基金 (编号: NZ17110)。

作者简介: 尚 洁 (1979—), 女, 宁夏中卫人, 博士, 副教授, 主要从事白腐真菌木质纤维素降解研究。E-mail: shangjie@126.com。

[5] 徐 茂, 王绪奎, 顾祝军, 等. 江苏省环太湖地区速效磷和速效钾含量时空变化研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 983–990.

[6] 张巧凤, 吴纪中, 颜 伟, 等. 江苏省沿海地区小麦品种更替与演变分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(6): 1179–1187.

[7] 龚金龙, 张洪程, 常 勇, 等. 稻麦“双迟”栽培模式及其周年生产力的综合评价[J]. 中国水稻科学, 2011, 25(6): 629–638.

[8] 林 葆, 李家康. 我国化肥的肥效及其提高的途径——全国化肥试验网的主要结果[J]. 土壤学报, 1989, 26(3): 273–279.

[9] 谭德水, 刘兆辉, 江丽华. 中国冬小麦施肥历史演变及阶段特征研究进展[J]. 中国农学通报, 2016, 32(12): 13–19.

[10] 黄丽君. 苏南地区中、弱筋小麦高产节肥栽培模式研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2016.

[11] 张洪程, 陈长林, 刘金明. 江苏江北丘陵小麦生育特性及高产栽

培技术模式的研究[J]. 耕作与栽培, 1990(5): 38–44.

[12] 苏毅清, 王志刚. 农户施用测土配方肥及效果满意度的影响因素[J]. 湖南农业大学学报 (社会科学版), 2014, 15(6): 25–31.

[13] 杨泳冰, 胡 浩, 王益文. 农户以商品有机肥替代化肥的行为分析[J]. 湖南农业大学学报 (社会科学版), 2012, 13(6): 1–7.

[14] 陶俊生, 徐粉粉, 李明华. 农户生态行为的影响因素研究——基于杭州市农民有机肥施用的调查[J]. 江南论坛, 2016(4): 27–29.

[15] 肖龙铎, 张 兵. 土地流转与农户内部收入差距扩大——基于江苏 39 个村 725 户农户的调查分析[J]. 财经论丛 (浙江财经大学学报), 2017, 224(9): 10–18.

[16] 杨 慧. 影响太湖流域农户化肥投入的因素分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.