生态与农村环境学报 2016，32（3）：512-516
Journal of Ecology and Rural Environment

黄河三角洲农作物秸秆资源综合评价——以东营市为例

吴从稳[1,2]，陈小兵[1①]，单晶晶[3]，尹春艳[3]，袁 玲[4]，张立宾[4]（1. 中国科学院海岸带环境过程重点实验室，山东 烟台 264003；2. 烟台大学生命科学学院，山东 烟台 264005；3. 中国科学院烟台海岸带研究所，山东 烟台 264003；4. 东营市农业科学院研究院，山东 东营 257091）

摘要：基于《东营市统计年鉴》(2004—2013 年)和《山东省统计年鉴》(2014 年)的统计数据,对东营市秸秆资源产量、密度特点及时空分布特征进行分析,并建立灰色预测模型对秸秆资源的未来变化进行预测。结果表明,2004—2013 年间,东营市年均秸秆资源产量为 147.51 万 t,并呈现波动上涨的趋势;秸秆资源区域分布中,广饶县所占比例最大,为 53.61%,其余从大到小依次为利津县、垦利县、东营区和河口区;不同县(区)秸秆资源的来源结构略有差异,但均以玉米、小麦和棉花为主;秸秆资源密度和人均占有秸秆资源量均呈现自北向南逐渐增大的变化趋势。最后,运用 GM(1,1)模型对未来 10 a 东营市秸秆资源产量进行预测,结果表明东营市秸秆产量将持续增长,2020 年可达 154.611 万 t。

关键词：黄河三角洲；东营市；秸秆资源；区域分布；灰色预测；综合评价
中图分类号：X712；S216.2 **文献标志码**：A **文章编号**：1673-4831(2016)03-0512-05
DOI：10.11934/j.issn.1673-4831.2016.03.027

Comprehensive Evaluation of Crop Straw Resources in the Yellow River Delta：A Case Study of Dongying. *WU Cong-wen*[1,2], *CHEN Xiao-bing*[1], *SHAN Jing-jing*[3], *YIN Chun-yan*[3], *YUAN Ling*[4], *ZHANG Li-bin*[4] (1. Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2. College of Life Science, Yantai University, Yantai 264005, China; 3. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 4. Dongying Agricultural Science Research Institute, Dongying 257091, China)

Abstract: Based on the data contained in the Dongying Statistical Yearbook (2004-2013) and Shandong Statistical Yearbook (2014), yields, densities and spatio-temporal distributions of crop straw resources in Dongying were analyzed and in addition, a grey prediction model (GM) was established to predict changes in the crop straw resources in future. Results show that during the period from 2004 to 2013, Dongying produced on average 147.51×10^4 t of crop straw every year, and the yields fluctuated aong a rising trend; in Dongying City, crop straw resources were distributed mostly, about 53.61%, in Guangrao County, followed by Lijin County, Kenli County, Dongying District and Hekou District; the resources were composed mainly of corn stalk, wheat straw and cotton stalk, but varied slightly from county (district) to county (district) proportion; and a gradually rising trend from the north to the south of Dongying was observed in density and per capita quantity of straw resources. In the end, crop straw production in Dongying City for the next 10 years was predicted with the GM (1,1) model, with results indicating that the yield of crop straw will keep on rising steadily and may reach up to 154.611×10^4 t in 2020.

Key words: the Yellow River Delta; Dongying City; crop straw; regional distribution; grey prediction; comprehensive evaluation

秸秆资源的综合利用不仅能产生新的经济效益,还能有效降低因秸秆丢弃和焚烧引起的资源浪费和环境污染[1],是促进低碳循环农业发展的重要途径之一。有研究表明,秸秆还田配施氮肥可以提高土壤有机质水平[2],免耕与秸秆还田相结合能很好地提升土壤酶活性[3]。为了加快农作物秸秆综合利用进程,农业部根据国务院办公厅印发的《关于加快推进农作物秸秆综合利用的意见》,首次组织完成了全国范围内的农作物秸秆资源专项调查,并制定了农业行业标准 NY/T 1701—2009《农作物秸秆资源调查与评价技术规范》[4]。崔明等[5]以农作物秸秆的理论资源量、人均资源量和单位播种面积资源量对秸秆资源进行分析,在全国划分出秸秆

收稿日期：2015-06-08
基金项目：中科院海岸研究所部署项目(Y254021031)；公益性行业(海洋)科研专项(201105020)；公益性行业(农业)科研专项(200903001)
① 通信作者 E-mail：xbchen@yic.ac.cn

资源重点开发利用区、适度开发利用区和限制开发利用区。

通过对黄河三角洲地区气候特点、地形地貌、水文特征、土壤特点以及农业种植特征进行分析认为，东营市是该区域内农业生产最具代表性的地区之一。近年东营市全年播种面积约 28 万 hm^2，并呈现不断增长趋势[6]，伴随产生了丰富的农作物秸秆资源。如何合理、高效利用秸秆资源是当地发展循环农业和保护生态环境的重要环节。至今，已有不少类似研究对中国其他地区的农作物秸秆资源进行统计分析[7-8]，但对该地区农作物资源产量、结构及分布特征却鲜有报道。为此，以黄河三角洲中心城市——东营市为例，筛选出适宜当地的秸秆系数，并从时间、地域分布等角度，对该地区的秸秆资源量及其分布特征进行分析评价，以期为当地秸秆资源综合利用与生态高效农业的发展提供理论依据和决策参考。

1　数据来源与评价方法

1.1　数据来源

作物产量基础数据来自 2004—2013 年《东营市统计年鉴》[6]中农作物产量数据及 2014 年《山东省统计年鉴》[9]中东营市农业数据。主要作物类型包括小麦、稻谷、玉米、高粱、大豆、薯类、油料作物、棉花以及蔬菜、瓜果类 9 大类。秸秆系数的选取对秸秆产量的估算结果影响很大。为确保估算结果的可靠性，搜集和整理了全国大量文献资料，并结合当地农业生产实际，选取较为符合东营地区的秸秆系数，如表 1 所示。

1.2　指标计算方法

1.2.1　秸秆资源产量

采用秸秆系数法对每年的秸秆资源产量进行估算。秸秆系数也称草谷比，是作物秸秆产量与相应农作物经济产量之间的比值[8]。

$$S_t = \sum_{i=1}^{n} C_i \times \lambda_i 。\tag{1}$$

式(1)中，S_t 为秸秆资源产量，t；C_i 为第 i 种农作物的经济产量，t；λ_i 为第 i 种农作物的秸秆系数。

1.2.2　秸秆资源密度

秸秆资源密度是单位种植面积上获得的秸秆资源量，是衡量某一地区秸秆资源能否规模化利用的重要指标之一。

$$R_d = \frac{S_t}{S_a} 。\tag{2}$$

式(2)中，R_d 为秸秆资源密度，$t \cdot hm^{-2}$；S_a 为某地区总种植面积，hm^2。

表 1　各种农作物的秸秆系数

Table 1　Crop straw coefficient relative to variety of crop

作物种类	秸秆系数	参考文献
小麦	1.33	[10-11]
稻谷	0.96	[12-13]
玉米	1.34	[11,14-15]
高粱	2.00	[7,16]
大豆	1.60	[16-17]
薯类	0.50	[7,16-19]
花生	0.80	[7,20]
芝麻	2.50	[12,17,19]
油菜籽	1.50	[7,14]
棉花	2.61	[12,17-18,21]
蔬菜、瓜果类	0.10	[12,22]

1.2.3　人均占有秸秆资源量

由于农作物秸秆资源主要分布在农村地区，故计算过程中选择农村人口作为计算基准。

$$R_a = \frac{S_t}{P_a} 。\tag{3}$$

式(3)中，R_a 为人均秸秆资源量，$t \cdot 人^{-1}$；P_a 为某地区农村总人口，人。

1.3　秸秆资源的灰色预测

1.3.1　灰色预测模型

灰色预测模型简称 GM 模型，GM(1,1)表示 1 阶 1 个变量的模型。利用 GM(1,1)模型，根据东营市秸秆资源历史数据，对未来秸秆量进行预测。GM(1,1)模型预测的具体过程[23]如下：

由原始数列序列 $x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \cdots, x^{(0)}(n)\}$ 作依次累加，得到 $x^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \cdots, x^{(1)}(n)\}$，其中 $x^{(0)}$ 为非负原始序列，$x^{(1)}$ 为 $x^{(0)}$ 的 1－AGO(即一次累加)序列，$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^{k} X_0(i), k = 1,2,\cdots,n$。

构建累加矩阵 $\boldsymbol{B}$ 与常规项向量 $\boldsymbol{y}$，即

$$\boldsymbol{B} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2}[x^1(1) + x^1(2)] & -\frac{1}{2}[x^1(2) + x^1(3)] & \cdots & -\frac{1}{2}[x^1(n-1) + x^1(n)] \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \end{pmatrix}, \tag{4}$$

$$\boldsymbol{y} = [x^0(2) \quad x^0(3) \quad \cdots \quad x^0(n)]^{\mathrm{T}} 。 \tag{5}$$

用最小二乘法求灰色参数 α,即

$$\alpha = (ab)^{\mathrm{T}} = (\boldsymbol{B}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B})^{-1}\boldsymbol{B}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{y} 。 \tag{6}$$

将灰色参数 α 代入时间响应函数,即

$$\hat{x}^1(t) = \left[x^0(1) - \frac{b}{a}\right]\mathrm{e}^{-a(t-t_0)} + \frac{b}{a} 。 \tag{7}$$

对 $\hat{x}^1(t)$ 求导还原,得到

$$\begin{aligned}\hat{x}^0(t+1) &= \hat{x}^1(t+1) - \hat{x}^1(t) \\ &= \left[x^0(1) - \frac{b}{a}\right](1 - \mathrm{e}_a)\mathrm{e}^{-at}, \\ & t = 1,2,\cdots,n,n+1 。\end{aligned} \tag{8}$$

1.3.2 精度检验与预测

采用残差检验对模型预测精度进行检验。残差检验具体过程如下:首先按照预测模型计算 $\hat{x}^1(k)$,将其累减生成 $\hat{x}^0(k)$,再计算原始序列 $x^0(k)$、$\hat{x}^0(k)$ 的绝对误差序列 $[\Delta^0(t) = |x^0(k) - \hat{x}^0(k)|, k = 1,2,\cdots,n]$ 和相对误差序列 $\left[\Phi^0(k) = \frac{\Delta^0(k)}{x^0(k)} \times 100\%, k = 1,2,\cdots,n\right]$。

残差检验有2种评判标准:一种是比较平均相对误差($\bar{\Delta}$)与显著性水平 α(一般取值0.01 ~ 0.05)的大小,若 $\bar{\Delta} < \alpha$,则预测模型合格;另外一种是判断相对误差平均值的大小,≤1%认为模型精确等级为1级,>1% ~ 5%为2级,>5% ~ 10%为3级,>10% ~ 20%为4级[24]。

1.4 数据处理

采用Excel 2013和ArcView 3.3软件进行数据处理和作图。

2 结果与分析

2.1 作物秸秆资源产量

由表2可知,东营市秸秆资源总产量总体呈波动上升趋势,2004—2011年上升幅度较大,年平均增长率约为5.00%,但2012和2013年有较大幅度下降,这是由于夏季降雨过多形成涝害,进而导致夏玉米和棉花等作物严重减产。至2013年,全市总播种面积为 2.88×10^5 hm^2,比2004年增加 5.49×10^4 hm^2,年平均增长率约为2.38%;秸秆资源产量为136.78万t,比2004年增加21.15万t,年平均增长率约为1.88%。其中,玉米秸秆、小麦秸秆和棉花秸秆是该市秸秆资源的主要来源,分别占秸秆资源总量的34.43%、33.16%和18.21%。

表2 2004—2013年东营市主要作物秸秆资源产量

Table 2 Yield of crop straw in Dongying in 2004-2013 relative to crop 万t

年份	小麦	稻谷	玉米	高粱	大豆	薯类	油料作物	棉花	蔬菜、瓜果类	合计
2004	24.92	2.51	35.05	0.42	2.25	0.20	0.47	28.01	21.81	115.64
2005	37.20	3.41	41.76	0.46	2.53	0.15	0.45	27.25	22.28	135.48
2006	43.50	3.08	51.87	0.19	2.24	0.14	0.45	32.25	22.55	156.29
2007	37.77	4.03	49.90	0.43	1.59	0.19	0.52	30.20	22.39	147.02
2008	39.20	4.58	50.06	0.22	1.32	0.10	0.34	35.57	22.88	154.26
2009	43.69	4.75	55.38	0.08	1.20	0.12	0.42	35.67	21.43	162.74
2010	43.82	4.26	55.02	0.06	0.79	0.12	0.40	30.83	19.07	154.35
2011	46.92	2.64	57.31	0.06	0.64	0.10	0.28	38.93	15.82	162.69
2012	45.77	2.92	50.31	0.39	0.67	0.08	0.26	33.58	15.84	149.80
2013	45.35	2.12	47.10	0.65	0.48	0.07	0.22	24.91	15.89	136.78

由图1可以看出,2004—2013年间,玉米秸秆和小麦秸秆所占比例总体呈浮动上升趋势,棉花秸秆所占比例则呈波浪型变化,而蔬菜藤蔓及瓜果残余物所占比例呈前稳后降的趋势。全市秸秆资源年平均产量为147.51万t,其中,玉米秸秆年平均产量为49.38万t,约占33.48%;小麦秸秆年平均产量为40.81万t,约占27.67%;棉花秸秆年平均产量为31.72万t,约占21.50%;蔬菜藤蔓及瓜果残余物年平均产量为20.00万t,约占13.56%。由此可知,2004—2013年玉米秸秆和小麦秸秆在秸秆资源中所占比例逐渐增加,棉花秸秆所占比例在20% ~ 30%间浮动,蔬菜、瓜果类所占比例整体下降,高粱、稻谷、大豆、薯类和油料作物秸秆所占比例在5%以下,且较稳定。

2.2 秸秆资源区域分布特点

由图2可见,广饶县作物秸秆资源最为丰富,年产量为80.31万t,远大于其他各县区。这主要是因为东营市各县(区)土地盐渍化程度分布不均[25],广饶县内土壤较其他县区更为肥沃[26],土地利用效率高,作物单产量大。其余各县区秸秆年产量由高到低依次为利津县、垦利县、东营区和河口区,分别占全市秸秆资源总量的17.80%、11.25%、10.76%

和 6.32%。从各县区不同作物种类的秸秆资源量来看，各县区的秸秆资源均以小麦、玉米、棉花及蔬菜、瓜果类为主，但不同作物种类在不同地区所占比例有所不同。其中，广饶县秸秆资源中玉米秸秆和小麦秸秆所占比例较大，分别为 44.73% 和 37.60%；利津县、垦利县和河口区秸秆资源均以棉花秸秆所占比例最大，分别占各县区秸秆总产量的 35.84%、46.41%和 65.33%；东营区秸秆资源中小麦秸秆、玉米秸秆和棉花秸秆所占比例比较接近，分别占该区秸秆总产量的 27.64%、26.90% 和 27.35%。

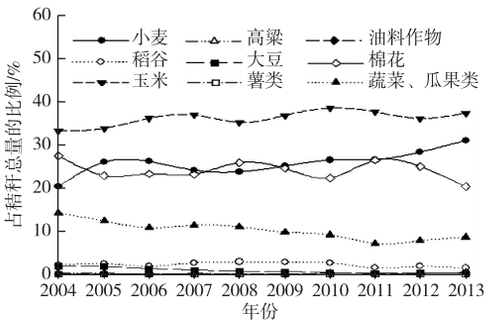

图 1　2004—2013 年东营市不同作物秸秆资源比例的变化

Fig. 1　Variation of the composition of crop straw resources in percentage in Dongying in the years from 2004 to 2013

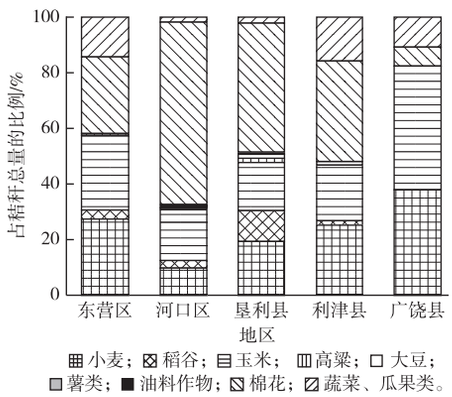

图 2　2012 年东营市各县区秸秆资源构成特点

Fig. 2　Composition of crop straw resources in 2012 relative to county (district)

2.3　秸秆资源密度

2012 年东营市平均作物秸秆资源密度为 525.09 t · km^{-2}。其中，广饶县秸秆资源密度最高，为 805.57 t · km^{-2}，比全市平均水平高 53.41%。其次为东营区，为 468.06 t · km^{-2}，为全市平均水平的 89.14%。利津县与垦利县秸秆资源密度较为接近，分别为 382.32 和 354.59 t · km^{-2}。河口区秸秆资源密度最低，为 288.74 t · km^{-2}，相当于全市平均水平的 54.99%。整体来看，东营市秸秆资源密度呈现自北向南逐渐增大的趋势，这主要是受黄河流向变化、距海距离、土质特点以及种植结构的影响所致。

2.4　人均占有秸秆资源量

人均占有秸秆资源量是判别区域内秸秆能源化综合利用的重要指标[7]。2012 年，东营市人均占有秸秆资源量为 1 346.07 kg · 人$^{-1}$，比山东省全省平均水平高 34.5%。其中，广饶县人均占有秸秆资源量最高，为 1 845.69 kg · 人$^{-1}$，相当于全市平均水平的 1.37 倍。河口区、东营区、利津县和垦利县人均占有秸秆资源量均低于全市平均水平，分别为 1 230.72、1 053.70、998.12 和 954.07 kg · 人$^{-1}$，分别相当于全市平均水平的 91.43%、78.28%、74.15%和 70.88%。整体来看，除河口区外，人均占有秸秆资源量与秸秆资源密度的空间变化规律类似，均呈现自北向南逐渐增大的趋势。河口区变化趋势不一致的原因主要是由于该地区农村人口相对较少，仅为全市的 6.91%，而种植面积却占全市总种植面积的 11.49%。

2.5　灰色预测结果

根据 2004—2013 年东营市秸秆资源统计数据，利用 GM(1,1)模型对东营市未来 10 a 的秸秆资源产量进行预测，如表 3 所示。

表 3　东营市秸秆资源产量预测结果

Table 3　Prediction of yield of crop straw in Dongying City in 2020

年份	实际产量/万 t	预测产量/万 t	绝对误差/万 t	相对误差/%
2004	116.107	116.107	0.000	0.00
2005	135.929	150.444	−14.515	−10.68
2006	156.733	150.686	6.047	3.86
2007	147.540	150.929	−3.389	−2.30
2008	154.600	151.171	3.429	2.22
2009	163.166	151.414	11.752	7.20
2010	154.746	151.658	3.088	2.00
2011	162.971	151.902	11.069	6.79
2012	150.058	152.146	−2.088	−1.39
2013	136.998	152.391	−15.393	−11.24
2014		152.636		
2015		152.881		
2016		153.127		
2017		153.373		
2018		153.620		
2019		153.867		
2020		154.114		
2021		154.362		
2022		154.611		

利用残差检验方法对预测结果进行检验,东营市秸秆资源产量预测结果的平均相对误差为4.77%,符合1%~5%的残差判断标准,认定模型为残差合格模型,预测结果合格。

3 结论

(1)东营市秸秆资源丰富,年均秸秆资源产量为147.51万t,并呈现波动上涨趋势,2004—2013年年平均增长率为1.88%,其中玉米、小麦、棉花以及蔬菜、瓜果类是该地秸秆资源的主要来源,且玉米和小麦秸秆资源产量逐年递增,棉花秸秆产量占比在20%~30%间浮动,蔬菜、瓜果类秸秆逐年递减。

(2)从资源总量区域分布来看,广饶县所占比例最大,其余依次为利津县、垦利县、东营区和河口区。不同县区秸秆资源的比例略有差异,但均以玉米、小麦和棉花为主。

(3)2012年东营市秸秆资源密度为525.09 t·km^{-2},高于山东省平均水平,区域内呈自北向南逐渐增大趋势,其中以广饶县最大,比全市平均水平高53.41%。除河口区外,人均占有秸秆资源量与秸秆资源密度表现出类似规律。

(4)通过灰色模型对东营市未来秸秆资源量进行预测得出,东营市秸秆资源量呈现不断增长的趋势,2020年可达154.611万t。

参考文献:

[1] 祝斌,朱先磊,张元勋,等.农作物秸秆燃烧$PM_{2.5}$排放因子的研究[J].环境科学研究,2005,18(2):29-33.

[2] 李炜,乔玉强,陈欢,等.秸秆还田配施氮肥对砂浆黑土有机质组分与碳库管理指数的影响[J].生态与农村环境学报,2014,30(4):475-480.

[3] 路怡青,朱安宁,张家宝,等.免耕和秸秆还田对小麦生长期内土壤酶活性的影响[J].生态与农村环境学报,2013,29(3):329-334.

[4] 农业部.农业部组织完成首次全国农作物秸秆资源专项调查[EB/OL].(2014-03-08)[2015-10-17].http://www.gov.cn/gzdt/.

[5] 崔明,赵立欣,田宜水,等.中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价[J].农业工程学报,2008,24(12):291-296.

[6] 东营市统计局.东营市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2004—2013.

[7] 杨艳丽,张培栋.山东省秸秆资源储量及其分布特征评价[J].可再生能源,2011,29(4):144-149.

[8] 朱建春,李荣华,张增强,等.陕西作物秸秆的时空分布、综合利用现状与机制[J].农业工程学报,2013,29(增刊1):1-9.

[9] 山东省统计局.山东省统计年鉴[EB/OL].(2014-11-20)[2015-10-26].http://www.statssd.gov.cn/col/col211/index.html.

[10] 刘兆晔,于经川,杨久凯,等.小麦生物产量、收获指数与产量关系的研究[J].中国农学通报,2006,22(2):182-184.

[11] 谢光辉,韩东倩,王晓玉,等.中国禾谷类大田作物收获指数和秸秆系数[J].中国农业大学学报,2011,16(1):1-8.

[12] 毕于运.秸秆资源评价与利用研究[D].北京:中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,2010.

[13] 韩鲁佳,闫巧娟,刘向阳,等.中国农作物秸秆资源及其利用现状[J].农业工程学报,2002,18(3):87-91.

[14] 王晓玉,薛帅,谢光辉.大田作物秸秆量评估中秸秆系数取值研究[J].中国农业大学学报,2012,17(1):1-8.

[15] 李从锋,刘鹏,董树亭,等.细胞质雄性不育玉米的根系特性和氮效率研究[J].中国农业科学,2008,41(11):3573-3579.

[16] 钟华平,岳燕珍,樊江文.中国作物秸秆资源及其利用[J].资源科学,2003,25(4):62-67.

[17] 高利伟,马林,张卫峰,等.中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J].农业工程学报,2009,25(7):173-179.

[18] 毕于运,王道龙,高春雨,等.中国秸秆资源评价与利用[M].北京:中国农业科学技术出版社,2008:5.

[19] 李铁冰,杨改河,楚莉莉,等.中国农村户用沼气主要发酵原料资源量的估算[J].资源科学,2009,31(2):231-237.

[20] 毕于运,王亚静,高春雨.中国主要秸秆资源数量及其区域分布[J].农机化研究,2010,3(3):1-7.

[21] 谢光辉,王晓玉,韩东倩,等.中国非禾谷类大田作物收获指数和秸秆系数[J].中国农业大学学报,2011,16(1):9-17.

[22] 冯蕾.江苏省秸秆资源评价与规模化能源利用发展研究[D].南京:南京农业大学,2010.

[23] 唐启义,冯明光.实用统计分析及其DPS数据处理系统[M].北京:科学出版社,2002:626-627.

[24] 陈华友.组合预测方法有效性理论及其应用[M].北京:科学出版社,2008:103.

[25] 王红.黄河三角洲土壤盐分时空变异研究[D].南京:南京大学,2005.

[26] 王金荣.东营市土壤[R].东营:东营市土壤肥料工作站,1988:159.

作者简介: 吴从稳(1987—),男,山东菏泽人,硕士生,主要从事高效农业及农副产品加工研究。E-mail:wucongwen@163.com

(**责任编辑:** 许 素)