

# 营口南部海岸景观格局及土地利用时空变化分析

刘富强, 王敏, 吴涛 (浙江师范大学地理与环境科学学院, 浙江金华 321004)

**摘要** 为明确 1990—2015 年营口南部海岸景观格局和土地利用的时空变化, 采用景观生态学的方法, 结合地理信息系统空间分析和统计功能进行定量研究。结果表明: 2005 年为明显的过渡时期, 在此之前营口南部海岸生态过程稳定, 景观边界形状的复杂度和破碎度变化不大, 土地利用方式及面积变化相对较小; 2005 年以后, 生态过程活跃度有所下降且不再处于稳定状态, 由于受到人类生产活动的干预, 土地利用方式和面积也发生了巨大的变化, 从原先的盐田—养殖池塘景观转变为盐田—养殖池塘—工业城镇的复合式景观。

**关键词** 土地利用; 景观格局; 转移矩阵

中图分类号 F301.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)27-0198-05

## Spatio-temporal Variation of Land Use and Landscape Pattern in South Coast of Yingkou

LIU Fu-qiang, WANG Min, WU Tao (College of Geography and Environmental Science, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004)

**Abstract** In order to define spatio-temporal variation of land use and landscape pattern in south coast of Yingkou during 1990-2015, the function of spatial analysis and statistical in GIS and method of landscape ecology were used to quantitatively study. The results showed that 2005 as the obvious transition period, the ecological processes was stable before 2005, complexity and fragmentation of landscape boundary shape change was small, the land use mode and area change was relatively small; since 2005, the ecological process has declined and was no longer in stable condition, the land use mode and the area have changed greatly due to the interference of human activities. From the original salina-breed pond landscape, it was transformed into a compound landscape in the salina-breed pond-industrial towns.

**Key words** Land use; Landscape pattern; Transfer matrix

海岸是陆海相互作用最为剧烈的地区, 同时也是人类活动最为密集的地区<sup>[1]</sup>。随着我国沿海地区社会经济的快速发展, 海洋资源开发利用力度的不断加大, 海岸与近岸海域承受的资源环境压力也日益增大。20 世纪 80 年代国际景观生态学会 (IALE) 成立以来, 景观生态学在国内外取得了长足发展, 景观格局评价、景观格局变化与驱动机制研究、景观格局与生态/非生态过程之间的耦合关系、景观格局优化与设计等理论方法在植被与生物多样性保护、土地利用管理、森林资源经营与保护、城市生态安全维护等领域得到了广泛的应用<sup>[2]</sup>。

20 世纪 90 年代以来, 土地利用变化一直是国内外很多学者的研究热点<sup>[3]</sup>。近 30 年来, 营口南部海岸土地利用空间格局发生了巨大的变化。笔者从景观生态学的角度运用地理信息系统空间分析方法研究了营口南部海岸不同时期海岸空间格局的变化特征, 以期当地海岸开发与规划提供科学借鉴。

## 1 数据来源与研究方法

**1.1 研究区域概况** 营口市南部海岸 (122°5′~122°25′E、40°25′~40°40′N) 位于辽东湾顶部, 大辽河入海口以南, 营口市市区渤海大街至盖州团山基岩海岸之间, 区域总面积 300 km<sup>2</sup>。该区域原为平坦开阔的辽东湾淤泥质滩涂湿地, 20 世纪中期在全国围海晒盐热潮下, 淤泥质滩涂被围海建造盐田, 发展海水晒盐产业。20 世纪末海盐业发展缓慢, 沿海部分水交换通畅的盐田、滩涂被划分改造成鱼、虾等水产养殖池塘, 形成盐田—养殖池塘复合景观格局。21 世纪以来, 随

着辽宁沿海经济带发展战略规划的提出与实施, 大片低产盐田被回填成为营口市城市规模扩展、沿海产业基地建设的拓展空间, 海岸景观转变为工业城镇—盐田—围海养殖复合景观格局。

**1.2 数据来源及预处理** 收集到研究区域 5 期质量较好的遥感影像, 参数见表 1。

在研究区域内均匀布设并测量地面控制点 25 个, 利用 ERDAS IMAGE 9.2 对各期卫星遥感影像进行精校正<sup>[4]</sup>。利用精校正好的 GF-1 卫星遥感影像和 SPOT-5 卫星遥感影像对比检查其他精校正影像的校正效果。在现场踏勘基础上, 将研究区域景观类型划分为盐田、养殖池塘、建设地、道路、堤坝、农田、草地、湖泊、湿地、取排水口、荒草地和芦苇湿地共 12 种景观类型。以遥感影像特征库为基础, 在 ArcGIS 10.0 软件支持下, 首先对 2005 年采集的 SPOT-5 卫星遥感影像和 2015 年采集的 GF-1 遥感影像进行人机交互式判读<sup>[5]</sup>, 目视解译得到 2005 和 2015 年研究区景观格局矢量数据。然后以 2005 年研究区景观格局矢量数据为基础, 叠加 1990 和 2000 年卫星遥感影像, 根据遥感影像信息, 目视解译修改成 1990 和 2000 年研究区景观格局矢量数据; 以 2015 年研究区景观格局矢量数据为基础, 叠加 2010 年卫星遥感影像, 根据遥感影像信息, 目视解译修改成 2010 年研究区景观格局矢量数据。采用现场 GPS 验证点, 对遥感影像解译的各期数据景观斑块类型进行精度评价, 计算得出 1990、2000、2005、2010 和 2015 年遥感影像整体解译精度分别为 95%、96%、99%、98% 和 100%。

## 1.3 研究方法

**1.3.1 景观格局指数计算** 景观格局指数在景观生态学研究中被广泛应用<sup>[6]</sup>。根据研究区域景观分布特征、研究目的、研究内容以及景观格局指数的生态学意义, 在类型、斑块

**基金项目** 浙江省大学生科技创新计划暨新苗人才计划项目 (2017R404027)。

**作者简介** 刘富强 (1993—), 男, 甘肃张掖人, 硕士研究生, 研究方向: 海岸空间格局变化。

**收稿日期** 2017-07-19

及景观水平尺度上选取 7 个景观格局指数,分别为景观面积 (TA)、香浓多样性指数 (SHDI)、斑块密度 (PD)、边缘密度 (ED)、景观形状指数 (LSI)、平均分维数 (FRAC\_MN)、总边缘长度 (TE),在 Fragstats 软件中进行相关计算。

表 1 各期卫星遥感影像参数

Table 1 Parametric of satellite remote sensing images in different period

序号 No.	数据资料 Data	轨道 Track	获取时期 Acquisition period	分辨率 Resolution//m
1	Landsat TM	51/40	1990-08	28.5
2	Landsat ETM	120/32	2000-07	28.5
3	SPOT-5	292/268	2005-08	5.0
4	SPOT-5	292/268	2010-09	5.0
5	GF-1	ZY2108	2015-06	2.0

**1.3.2 土地利用变化。**土地利用转移矩阵反映了某一时段研究区域从初期到末期各种土地利用类型面积转化的动态信息。土地利用转移矩阵的通用形式见公式(1)<sup>[7]</sup>。利用所收集的数据资料,并基于 ArcGIS 平台空间分析和统计功能,对研究区域 5 期的用地类型数据进行面积计算和统计。

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ s_{n1} & \cdots & s_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $s$  代表面积; $n$  代表转移前后的土地利用类型数; $i, j$  分

别代表转移前与转移后土地利用类型; $S_{ij}$  代表转移前的  $i$  地类转换成转移后的  $j$  地类的面积。

## 2 结果与分析

**2.1 景观格局指数变化** 在 Fragstats 软件中计算出整个研究区域 1990、2000、2005、2010 年以及 2015 年 7 个类型及景观水平尺度上的景观格局指数,分别为景观面积 (TA)、香浓多样性指数 (SHDI)、斑块密度 (PD)、边缘密度 (ED)、景观形状指数 (LSI)、平均分维数 (FRAC\_MN)、总边缘长度 (TE),计算结果见表 2。

表 2 景观格局指数计算结果

Table 2 Calculation results of landscape pattern index

年份 Year	TA	PD	TE	ED	LSI	FRAC_MN	SHDI
1990	27 574.24	3.010 0	2 276 980	82.576 3	36.022 7	1.085 2	1.217 0
2000	27 758.20	2.925 3	2 089 760	75.284 4	33.143 3	1.082 0	1.212 4
2005	27 941.21	3.063 6	2 371 770	84.884 3	37.308 8	1.086 6	1.224 6
2010	29 658.29	2.262 4	1 959 300	66.062 5	30.732 9	1.077 2	1.892 8
2015	30 239.15	1.997 4	1 765 545	58.386 1	27.771 6	1.074 2	1.871 2

由表 2 可知,1990—2015 年景观面积 (TA) 逐渐增大,而 2005—2015 年增加速度最快,这种变化主要与营口南部海岸围垦面积增大有关。

研究期间营口市南部海岸地区斑块密度 (PD) 和边缘密度 (ED) 在 1990—2005 年变化不大,表明生态过程较为稳定,2005 年以后持续下降,表明研究区生态过程活跃程度不断下降。而景观形状指数 (LSI) 与平均分形维数 (FRAC\_MN) 也呈现出同样的变化趋势,说明 1990—2005 年整体的景观边界形状复杂程度与破碎程度在自然状态下变化不大,2005 年后持续下降,表明景观形状在人为活动驱使下趋于规则化发展。2005—2010 年香农多样性指数 (SHDI) 呈现明显增大趋势,表明在此段时期内,土地利用类型增加且趋于均衡化分布。

**2.2 土地利用类型变化** 1990—2015 年土地利用类型变化见图 1。图 1 直观地反映了 25 年来研究区域土地利用类型的时空变化状况。从整体变化上来看,1990—2005 年土地利用类型变化不大,而 2005 年之后,研究区域土地利用类

型变化较为剧烈。主要在于大量的低效盐田回填,且随着该区域经济发展战略的转移,西南部地区大面积围填海,形成了大片的养殖池塘,2010—2015 年西南部出现大面积绿地和草地;北部地区由于城市化进程加快,城市规模向南扩张,使得建筑用地面积增大;而南部的大面积盐田转变为草地。

营口南部海岸在研究期间,1990—2000 年共新增土地面积 252.89  $\text{hm}^2$ ,其中围海养殖用地占用地比例的 74%,2000—2005 年,新增土地面积 180.62  $\text{hm}^2$ ,围海养殖用地占 96%,2005—2010 年营口南部海岸西南部由于剧烈的人类活动和围垦,新增土地面积最多,达 1 718.08  $\text{hm}^2$ ,围海养殖用地占 85%,2010—2015 年新增土地面积 581.34  $\text{hm}^2$ ,围海养殖用地占 99.98% (表 3)。

1990—2000 年土地利用面积转移矩阵见表 4。由表 4 可知,这一时期土地利用变化相对稳定。少量的草地全部转化为道路。道路面积转出量大于转入量,减少 257  $\text{hm}^2$ ,主要转变为堤坝和养殖池塘。而堤坝面积转出量与转入量基本持

平。湖泊、建设用地、农田面积净变化量相对较小。湿地面积减小了 286 hm<sup>2</sup>, 主要转变为水口和农田。水口、盐田和养殖池塘面积变化剧烈, 大面积水口主要转变为盐田。盐田和养殖池塘流向相对单一, 1 157 hm<sup>2</sup> 的盐田转变为养殖池塘,

占盐田转出面积的 100%, 养殖池塘转变为盐田的面积为 828 hm<sup>2</sup>, 占总转出面积的 93.5%。因此, 这一时期土地利用的特征大体可概括为小部分的盐田和养殖池塘的相互转换。

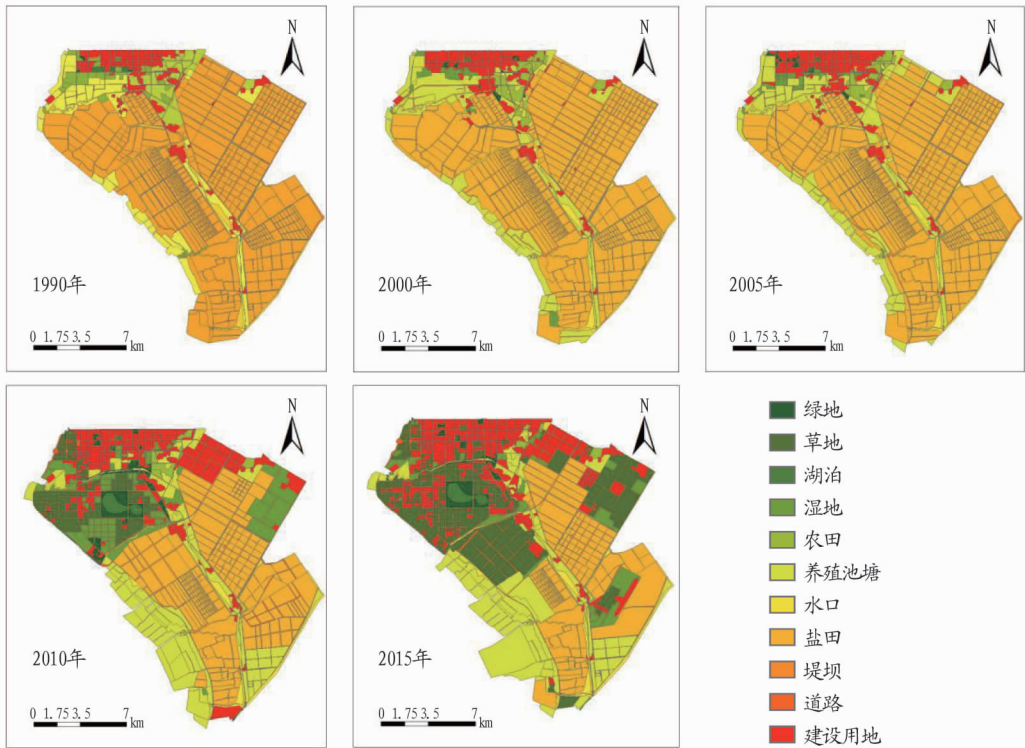


图1 各个时期土地利用状况

Fig.1 Land use map

表3 不同时间段新增土地及其利用类型

Table 3 Newly added land and its use type at different time periods

hm<sup>2</sup>

年份 Year	土地利用类型 Land use type										新增总面积 Newly added total area
	道路 Road	堤坝 Dams	荒草地 Wasteland	建设用地 Construction land	芦苇湿地 Reed wetlands	绿地 Green land	湿地 Wetlands	水口 Water outlet	盐田 Salina	养殖池塘 Breed pond	
1990—2000	0.93	5.81	—	0.10	—	—	—	—	59.73	186.32	252.89
2000—2005	—	—	—	—	—	—	—	6.42	—	174.20	180.62
2005—2010	70.54	—	89.15	4.51	1.36	16.03	71.69	0.77	—	1 464.03	1 718.08
2010—2015	0.01	—	—	—	—	—	—	0.03	0.02	581.28	581.34

2000—2005年土地利用面积转移矩阵见表5。可见道路、湖泊、绿地、农田、湿地和水口流向较为单一, 且转出面积相对较小。堤坝主要转变为建设用地和道路, 建设用地面积有少量增加。盐田的转入主要是养殖池塘, 而转出方向较多, 使得盐田面积减少了 535 hm<sup>2</sup>。养殖池塘面积也有所减少。这一时期土地利用最大的特征是水口面积增大, 而盐田和养殖池塘总面积减小。

2005—2010年土地利用面积转移矩阵见表6。这一时期堤坝大面积减少, 出现了荒草地和芦苇湿地, 主要来源于初期的水口和低效盐田。建设用地净增量为 4 552 hm<sup>2</sup>, 水口和湿地面积有所增加, 主要来源于低效盐田。盐田面积减少

了 12 622 hm<sup>2</sup>, 其中近 50% 转变为建设用地, 24% 转变为养殖池塘。养殖池塘面积增加, 大部分来源于低效盐田。因此, 2005—2010年土地利用变化剧烈, 主要特征可概括为盐田大规模减少, 转为建设用地、湿地、水口和养殖池塘。

2010—2015年土地利用面积转移矩阵见表7。这一时期出现了大片草地, 面积为 6 391 hm<sup>2</sup>, 主要集中在研究区中部地区, 主要来源于荒草地、湿地和盐田。道路、湖泊面积变化基本持平, 建设用地持续增加, 主要来自盐田、荒草地和湿地。湿地面积减少了 1 523 hm<sup>2</sup>, 盐田减少了 3 286 hm<sup>2</sup>, 而养殖池塘面积变化不大。此时期最大的特征为草地面积不断增长, 建筑用地持续增加, 而盐田持续大面积减少。

表 4 1990—2000 年土地利用面积转移矩阵

Table 4 Land use transition matrix from 1990 to 2000

hm<sup>2</sup>

土地利用类型 Land use type	草地 Grassland	道路 Road	堤坝 Dams	湖泊 Lake	建设用地 Construc- tion land	绿地 Green land	农田 Farmland	湿地 Wetlands	水口 Water outlet	盐田 Salina	养殖池塘 Breed pond	2000 年 合计 Total in 2000
道路 Road	92	880	—	—	—	—	—	—	—	—	2	974
堤坝 Dams	—	199	2 218	173	26	—	—	—	—	—	—	2 616
湖泊 Lake	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—	—	5
建设用地 Construction land	—	—	73	—	1 366	11	37	—	—	—	55	1 543
绿地 Green land	—	—	—	—	—	—	118	—	—	—	—	118
农田 Farmland	—	—	—	—	—	—	174	78	—	—	—	252
湿地 Wetlands	—	—	—	—	—	—	—	137	—	—	—	137
水口 Water outlet	—	—	—	—	—	—	—	177	196	—	—	373
盐田 Salina	—	29	141	—	—	—	—	31	703	18 009	828	19 741
养殖池塘 Breed pond	—	123	200	—	50	—	—	—	—	1 157	210	1 741
1990 年合计 Total in 1990	92	1 231	2 632	173	1 447	11	329	423	899	19 166	1 095	27 498

表 5 2000—2005 年土地利用面积转移矩阵

Table 5 Land use transition matrix from 2000 to 2005

hm<sup>2</sup>

土地利用类型 Land use type	道路 Road	堤坝 Dams	湖泊 Lake	建设用地 Construc- tion land	绿地 Green land	农田 Farmland	湿地 Wetlands	水口 Water outlet	盐田 Salina	养殖池塘 Breed pond	2005 年合计 Total in 2005
道路 Road	—	176	—	—	—	—	—	—	29	122	327
堤坝 Dams	5	2 139	—	73	—	—	—	—	141	201	2 559
湖泊 Lake	—	77	—	—	—	—	—	—	—	—	77
建设用地 Construction land	—	269	5	1 415	5	—	—	—	—	50	1 744
绿地 Green land	—	—	—	—	123	87	—	—	—	—	210
农田 Farmland	—	—	—	—	—	165	12	—	—	—	177
湿地 Wetlands	—	—	—	—	—	—	128	175	12	—	315
水口 Water outlet	—	—	—	—	—	—	—	198	698	—	896
盐田 Salina	—	—	—	21	—	—	—	—	18 163	1 144	19 328
养殖池塘 Breed pond	9	—	—	34	—	—	—	—	820	224	1 087
2000 年合计 Total in 2000	14	2 661	5	1 543	128	252	140	373	19 863	1 741	26 721

表 6 2005—2010 年土地利用面积转移矩阵

Table 6 Land use transition matrix from 2005 to 2010

hm<sup>2</sup>

土地利用类型 Land use type	道路 Road	堤坝 Dams	湖泊 Lake	建设用地 Construc- tion land	绿地 Green land	农田 Farmland	湿地 Wetlands	水口 Water outlet	盐田 Salina	养殖池塘 Breed pond	2010 年合计 Total in 2010
道路 Road	—	2 031	—	987	3	10	7	16	4	88	3 146
堤坝 Dams	—	—	—	15	168	117	182	—	—	—	482
湖泊 Lake	—	—	—	—	—	—	7	91	—	76	174
荒草地 Wasteland	—	—	—	—	—	—	—	593	635	—	1 228
建设用地 Construction land	—	—	—	—	—	—	—	—	6 277	39	6 316
芦苇湿地 Reed wetlands	—	—	—	—	—	—	—	—	141	47	188
绿地 Green land	—	—	—	—	—	—	—	—	564	17	581
农田 Farmland	—	—	—	—	—	—	—	—	171	23	194
湿地 Wetlands	—	—	—	—	—	—	—	—	1 017	161	1 178
水口 Water outlet	—	—	—	—	—	—	—	—	1 413	84	1 497
盐田 Salina	39	87	1	138	1	—	—	36	6 135	331	6 768
养殖池塘 Breed pond	—	518	76	624	38	50	126	159	3 032	226	4 849
2005 年合计 Total in 2005	39	2 636	77	1 764	210	177	322	895	19 389	1 092	26 601

表7 2010—2015年土地利用面积转移矩阵  
Table 7 Land use transition matrix from 2010 to 2015

hm<sup>2</sup>

土地利用类型 Land use type	道路 Road	堤坝 Dams	湖泊 Lake	荒草地 Wasteland	建设用地 Construction land	芦苇湿地 Reed wetlands	绿地 Green land	农田 Farmland	湿地 Wetlands	水口 Water outlet	盐田 Salina	养殖池塘 Breed pond	2015年合计 Total in 2015
草地 Grassland	—	167	—	1 463	464	163	60	13	1 834	11	2 077	139	6 391
道路 Road	1 121	17	—	—	—	—	—	—	—	2	166	—	1 306
堤坝 Dams	10	441	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	451
湖泊 Lake	—	—	241	—	—	—	—	—	—	—	—	—	241
建设用地 Construction land	28	1	—	396	3 406	—	38	99	396	5	415	158	4 942
绿地 Green land	—	—	4	—	4	2	509	—	24	—	—	—	543
农田 Farmland	—	—	—	—	—	—	—	75	—	—	—	51	126
湿地 Wetlands	21	16	6	10	63	11	—	34	449	16	524	136	1 286
水口 Water outlet	—	2	—	—	—	—	—	—	22	864	14	1	903
盐田 Salina	86	153	—	—	—	—	—	—	—	8	7 192	310	7 749
养殖池塘 Breed pond	12	76	—	—	61	—	—	74	84	8	647	4 737	5 699
2010年合计 Total in 2010	1 278	873	251	1 869	3 998	176	607	295	2 809	914	11 035	5 532	29 637

从以上分析可以看出,研究区域用地类型变化几乎都受到了人类活动的干预,随着当地经济发展战略重心的转移,土地利用空间格局在2005年后也随之发生了巨大的变化。

### 3 结论

(1)从生态学的角度来看,1990—2005年研究区域自然状态下生态过程相对稳定,景观边界形状复杂度和破碎度变化不大;2005年以后生态过程活跃度下降,不再处于稳定状态,景观边界复杂度和破碎度减小,土地利用类型增加并呈均衡化分布。

(2)从土地利用变化来看,2005年之前,土地利用类型面积的转化主要集中在盐田和养殖池塘上,且转化面积相对较小,整体土地利用方式和面积变化不大;2005年之后,随着营口南部海岸经济发展战略重心的转移,围填海不断加剧,原来大面积的低效盐田被回填,在西南部地区出现大量的鱼

虾养殖池塘,中部地区出现大面积的草地,北部由于城市化蔓延,建设用地持续增加。

### 参考文献

- [1] 骆永明. 中国海岸带可持续发展中的生态环境问题与海岸科学发展[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(10): 1133-1142.
- [2] 索安宁, 关道明, 孙永光, 等. 景观生态学在海岸带地区的研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36(11): 3167-3175.
- [3] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14.
- [4] 吴涛, 赵冬至, 张丰收, 等. 基于高分辨率遥感影像的大洋河口湿地景观格局变化[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1833-1840.
- [5] WALZ U, STEIN C. Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany [J]. Journal for nature conservation, 2014, 22(3): 279-289.
- [6] 肖翠, 解雪峰, 吴涛, 等. 浙江西门岛湿地景观格局与人为干扰度动态变化[J]. 应用生态学报, 2014, 25(11): 3255-3262.
- [7] 陶蕴之, 张甜, 梁琦珍, 等. 基于转移矩阵的环渤海土地利用研究[J]. 绿色科技, 2016(2): 4-7.
- [8] of enzymes for efficient extraction, modification, and development of functional properties of lime pectin [J]. Food hydrocolloids, 2014, 40(11): 273-282.
- [9] 陈小举, 吴学凤, 姜绍通, 等. 响应面法优化半纤维素酶提取梨渣中可溶性膳食纤维工艺[J]. 食品科学, 2015, 36(6): 18-23.
- [10] 李梁, 聂成玲, 薛蓓, 等. 响应面法优化酶辅助提取苹果梨渣中可溶性膳食纤维工艺及品质分析[J]. 中国食品添加剂, 2017(1): 156-163.
- [11] THOMASSEN L V, VIGSNÆS L K, LICHT T R, et al. Maximal release of highly bifidogenic soluble dietary fibers from industrial potato pulp by minimal enzymatic treatment [J]. Applied microbiology and biotechnology, 2011, 90(3): 873-884.
- [12] THOMASSEN L V, LARSEN D M, MIKKELSEN J D, et al. Definition and characterization of enzymes for maximal biocatalytic solubilization of prebiotic polysaccharides from potato pulp [J]. Enzyme & microbial technology, 2011, 49(3): 289-297.
- [13] 令博, 田云波, 吴洪斌, 等. 微生物发酵法制取葡萄皮渣膳食纤维的工艺优化[J]. 食品科学, 2012, 33(15): 178-182.
- [14] 王庆玲, 朱莉, 孟春棉, 等. 微生物发酵法制备番茄皮渣膳食纤维工艺优化[J]. 粮食与油脂, 2014(9): 52-55.
- [15] 赵振玲, 于功明, 刘洪武, 等. 海藻酸钠对面条质构影响的研究[J]. 粮食加工, 2008, 33(1): 78-81.
- [16] 刘云, 蒲彪, 张瑶. 膳食纤维在功能性肉制品中的应用[J]. 肉类研究, 2007(4): 30-32.
- [17] 陈思奇. 膳食纤维饮料生产工艺的研究[J]. 饮料工业, 2011, 14(8): 27-29.

(上接第109页)

- [18] MATEOS-APARICIO I, MATEOS-PEINADO C, RUPÉREZ P. High hydrostatic pressure improves the functionality of dietary fibre in okara by-product from soybean [J]. Innovative food science & emerging technologies, 2010, 11(3): 445-450.
- [19] XIONG X H, ZHAO L P, CHEN Y M, et al. Effects of alkali treatment and subsequent acidic extraction on the properties of soybean soluble polysaccharides [J]. Food & bioprocess processing, 2014, 94: 239-247.
- [20] KOSMALA M, MILALA J, KOŁODZIEJCZYK K, et al. Dietary fiber and cell wall polysaccharides from plum (*Prunus domestica* L.) fruit, juice and pomace: Comparison of composition and functional properties for three plum varieties [J]. Food research international, 2013, 54(2): 1787-1794.
- [21] GAMEL T H, ABDEL-AAL E S M, AMES N P, et al. Enzymatic extraction of beta-glucan from oat bran cereals and oat crackers and optimization of viscosity measurement [J]. Journal of cereal science, 2014, 59(1): 33-40.
- [22] VILLANUEVASUÁREZ M J, PÉREZCÓZAR M L, REDONDOCUENCA A. Sequential extraction of polysaccharides from enzymatically hydrolyzed okara byproduct: Physicochemical properties and *in vitro* fermentability [J]. Food chemistry, 2013, 141(2): 1114-1119.
- [23] MEYER A S, DAM B P, LÆRKE H N. Enzymatic solubilization of a pectinaceous dietary fiber fraction from potato pulp: Optimization of the fiber extraction process [J]. Biochemical engineering journal, 2009, 43(1): 106-112.
- [24] DOMINIAK M, SØNDERGAARD K M, WICHMANN J, et al. Application