

陆泰良, 陆安祥, 阳爱民, 等. 广西桂林市主要桃园土壤养分状况及重金属、抗生素污染评价[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(19): 232–241.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.19.042

广西桂林市主要桃园土壤养分状况 及重金属、抗生素污染评价

陆泰良¹, 陆安祥², 阳爱民¹, 梁瑞郑¹, 李海炎¹, 万保雄¹

(1. 广西特色作物研究院, 广西桂林 541004; 2. 北京农业质量标准与检测技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 利用五点采样法采集桂林市 11 个主要规范化管理桃园土壤样品, 测定土壤理化性质, 评价桃园土壤肥力、重金属与抗生素污染生态风险。所调查桃园土壤深度为 0~20、20~40 cm 的土壤 pH 值平均值分别为 5.61、5.56。深度在 0~20 cm 的土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量平均值分别为 25.56 g/kg、1.33 g/kg、100.49 mg/kg、205.58 mg/kg, 在 20~40 cm 的含量分别为 20.50 g/kg、1.11 g/kg、64.81 mg/kg、151.58 mg/kg, 随着土壤深度加深, 土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量呈下降趋势。深度在 0~20 cm 土壤样品达到《绿色食品 产地环境质量》分级标准 I 级、II 级、III 级的比例分别为 72.73%、27.27%、0, 在 20~40 cm 的比例分别为 45.45%、45.46%、9.09%。深度在 0~20 cm 土壤 As、Hg、Cr、Ni、Cu、Zn、Cd、Pb 的平均含量分别为 19.38、0.18、85.89、29.25、29.72、98.21、0.19、34.53 mg/kg, 在 20~40 cm 平均含量分别为 19.44、0.19、81.90、29.29、29.38、99.36、0.16、34.55 mg/kg, 土壤不同深度重金属含量差异不大。土壤重金属中高等潜在风险、中等潜在风险、低潜在风险桃园占比分别为 9.09%、63.64%、27.27%。所调查桃园有 36.36% 的土壤检测出抗生素。其中, 罗红霉素 (ROX) 的检出率最高, 为 27.27%; 诺氟沙星 (NFC)、恩诺沙星 (ENR)、环丙沙星 (CFC)、土霉素 (OTC) 的检出率均为 9.09%。抗生素风险评价结果显示, ROX 在部分果园污染程度表现为中风险, 其他被检出抗生素在被检果园污染程度表现均为低风险。

关键词: 桃园; 土壤肥力; 生态风险; 重金属; 抗生素; 污染评价

中图分类号: X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)19-0232-09

桂林地区是广西桃主产区和优势区域, 种植面积 1.13 万 hm^2 , 主要栽培区集中在灌阳、全州、灵川等县, 种植模式以家庭农户种植为主, 桃园分散, 种植面积小 (小于 1.0 hm^2), 管理粗放, 品种老旧。随着现代农业的高速发展, 桂林市由企业经营的大面积、规范化管理桃园数量逐渐增加, 但整体数量相对偏少。土壤是果树的生长载体, 营养物质的主要来源, 为桃树生长发育提供养分, 随着农药、化肥大量使用, 土壤中重金属与抗生素含量不断积累, 严重危害土壤和农产品质量安全^[1-2]。重金属污染具有隐蔽性、长期性、难以恢复性和不可逆性等特点, 对生态环境和人体健康构成严重威胁^[3-5]。抗

生素污染是近年来仅次于重金属污染的研究热点问题。应用于畜禽的抗生素多达 30%~90% 通过畜禽粪便或尿液排出^[6], 未经处理后被用于加工成有机肥, 导致抗生素以原型或代谢产物的形式进入到土壤后, 破坏土著微生物群落, 诱导抗性细菌和抗性基因的产生^[7-9]。

国内对桃园土壤研究多为肥力分析^[10-11], 重金属污染研究少有报道^[12], 暂无桃园抗生素污染评价相关报道。广西地区的重金属污染研究主要在耕地与农田, 研究区域集中在桂西南、桂西北地区, 研究结果发现广西地区耕地、农田 Cd 污染问题最突出, 污染程度最大, 污染超标率最高, 是主要重金属污染元素^[13-16]。As 污染程度仅次于 Cd, 其中在广西河池都安县耕地污染超标问题突出^[17], 其 As 含量超标率远远超过全国和广西水平, 而在广西大新县有 91.00% 的农田土壤点位 As 含量超标^[18]。广西地区抗生素污染研究对象主要为江、河、湖水体及其沉积物, 污染严重的抗生素种类主要有磺胺类、喹诺酮类、大环内酯类, 其中氧氟沙星^[19]、恩诺沙星^[20]、磺胺甲基异恶唑^[21-22]、甲氧苄氨嘧啶^[23]、

收稿日期: 2021-06-07

基金项目: 国家现代农业产业技术体系专项 (编号: CARS-30); 科技先锋队“强农富民”“六个一”专项行动 (编号: 桂农科盟 202104-2); 广西特色作物试验站项目 (编号: TS202108)。

作者简介: 陆泰良 (1990—), 男, 广西北流人, 硕士, 助理研究员, 主要从事桃资源与栽培研究。E-mail: 595315654@qq.com。

通信作者: 万保雄, 硕士, 副研究员, 主要从事桃资源与栽培研究。

E-mail: wan77118@163.com。

红霉素^[24]是常见高污染抗生素。目前尚未有广西桃园肥力分析、土壤重金属及抗生素安全评价的报道,由于施肥、施药措施不同于其他农作物,桃园土壤重金属与抗生素污染状况与其他农作物存在差异。因此,本研究依据国家土壤环境质量二级标准、《绿色食品 产地环境质量》以及《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》对广西桂林市主要规范化管理的桃园主要养分、重金属与抗生素污染等环境质量进行评价,为广西桃产业健康发展提供参考。

表 1 调查采样桃园基本情况

编号	地点	面积 (hm ²)	品种	管理方式	土壤类型	经度	纬度
I	桂林市恭城县莲花镇东科村	5.9	南方金蜜	自然生草	黄壤	110°92′75.69″E	24°78′74.77″N
II	桂林市灵川县海洋乡	8.2	中油 15 号	自然生草	黄壤	110°57′27.14″E	25°31′18.19″N
III	桂林市全州县鲁水村	5.8	红不软	自然生草	黄壤	111°13′84.07″E	25°70′02.00″N
IV	桂林市灌阳县文市镇	15.6	春美	自然生草	黄壤	111°20′84.29″E	25°68′27.82″N
V	桂林市灌阳县新街江口村	4.5	锦绣黄桃	自然生草	黄壤	111°12′19.45″E	25°42′05.65″N
VI	桂林市灌阳县苏家村	9.6	春美	自然生草	黄壤	111°11′63.90″E	25°42′78.39″N
VII	桂林市灌阳县仁江村	7.8	春美	自然生草	黄壤	111°15′46.41″E	25°46′88.77″N
VIII	桂林市灌阳县灌阳镇长坪村	8.9	春美	自然生草	黄壤	111°19′99.95″E	25°50′75.48″N
IX	桂林市临桂区东山村	14.6	南桂桃 1 号	自然生草	黄壤	110°32′22.46″E	24°92′70.16″N
X	桂林市七星区朝阳乡	3.5	中油 13 号	自然生草	黄壤	110°33′46.71″E	25°27′93.16″N
XI	桂林市永福县百寿镇	6.7	鹰嘴桃	自然生草	黄壤	109°89′71.45″E	24°80′34.94″N

1.2 土壤样品采集和前处理

试验于 2020 年 9 月进行。采用 5 点采样法取样,根据桃园面积大小,每公顷设置 1 个采样区,每个采样区设置 5 个采样位点,从采样区东、南、西、北、中 5 个位点进行取样,采样位点距离控制在 80 ~ 300 m。用竹削刀分别取 0 ~ 20 cm 与 20 ~ 40 cm 深处土壤,将同个桃园不同采样区中 5 个位点同深度土样混合后用四分法取舍,标记为该桃园土样品。保留 2.00 kg 土壤样品装入布袋中标记并带回实验室,样品经充分风干后剔除石块、残根等杂物,在瓷钵上充分研细后用 0.25 mm 尼龙筛除杂质。

1.3 样品测定

土壤 pH 值及有机质、全氮、有效磷、速效钾含量测定参考《土壤农化分析》^[25-26]进行;土壤中 As、Hg、Cr、Ni、Cu、Zn、Cd、Pb 含量测定采用电感耦合等离子体发射光谱法^[27]进行;桂林市 11 个主要桃园 0 ~ 20 cm 土壤抗生素含量测定采用液相谱-质谱联用法^[28]进行;测定的抗生素种类包括喹诺酮类

1 材料与方法

1.1 桃园概况

桂林市位于我国广西东北部,南岭山系西南部,地处湘桂走廊南端,109°36′50″ ~ 111°29′30″E、24°15′23″ ~ 26°23′30″N,年平均气温 19.1 ℃,年平均降水量 1 887.6 mm,年平均日照时数为 1 447.1 h,无霜期 285 d。选取种植面积大于 3.0 hm²、常规化管理桃园作为研究对象,共调查桃园 11 个,基本情况见表 1。

(诺氟沙星、洛美沙星、恩诺沙星、环丙沙星)、氯霉素类(氟苯尼考、氯霉素)、大环内酯类(红霉素、罗红霉素、泰乐菌素)、四环素类(金霉素、四环素、土霉素、强力霉素)以及其他(林可霉素、头孢噻吩),共 15 种。每个测定项目重复 3 次,取平均值。

1.4 土壤肥力评价方法

基于全国第二次土壤普查养分分级标准^[29](表 2)与《绿色食品 产地环境质量》(NY/T 391—2013)^[30](表 3)对桂林市桃园土壤肥力进行评价分析。

1.5 桃园土壤重金属污染评价方法

1.5.1 单因子污染指数分析 采用单因子污染指数法^[31]简单评价主要污染因子的污染状况,其计算公式为:

$$P_i = C_i / S_i。$$

式中: P_i 为重金属 i 的单项污染指数; C_i 为重金属 i 的含量实际值,mg/kg; S_i 为样品重金属 i 含量的限量标准值,mg/kg,以《土壤环境质量 农用地土壤

表 2 土壤养分分级标准

级别	描述	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	pH 值
1	很丰富	>40	>2	>40	>200	>8.5(强碱性)
2	丰富	30~40	1.5~2	20~40	150~200	7.5~8.5(弱碱性)
3	适量	20~30	1.0~1.5	10~20	100~150	6.5~7.5(中性)
4	缺乏	10~20	0.75~1.0	5~10	50~100	5.5~6.5(弱酸性)
5	很缺乏	6~10	0.5~0.75	3~5	30~50	4.5~5.5(酸性)
6	极缺乏	<6	<0.5	<3	<30	<4.5(强酸性)

表 3 绿色食品产地环境质量的土壤肥力分级标准

指标	I 级	Ⅱ级	Ⅲ级
有机质含量(g/kg)	>20	15~20	<15
全氮含量(g/kg)	>1.0	0.8~1.0	<0.8
有效磷含量(mg/kg)	>10	5~10	<5
速效钾含量(mg/kg)	>100	50~100	<50

污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)中污染风险筛选值作为限量标准值^[32],农用地土壤污染风险筛选值部分内容见表 4。土壤单项污染指数分级标准见表 5。

表 4 农用地土壤污染风险管控标准 mg/kg

pH 值	As	Hg	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
pH≤5.5	40	1.3	150	60	150	200	0.3	70
5.5<pH<6.5	40	1.8	150	70	150	200	0.3	90

表 5 单因子污染指数评价等级

单因子污染指数	等级划分	污染评价
$P_i \leq 0.7$	1	安全
$0.7 < P_i \leq 1.0$	2	警戒级
$1.0 < P_i \leq 2.0$	3	轻度污染
$2.0 < P_i \leq 3.0$	4	中度污染
$P_i > 3.0$	5	重度污染

1.5.2 内梅罗综合污染指数分析 利用内梅罗综合污染指数法^[31]评价桂林市桃园土壤重金属污染状况,计算公式为:

$$P_{\text{综}} = [(\max P_i^2 + \overline{P_i^2})/2]^{1/2}。$$

式中: $P_{\text{综}}$ 为土壤综合污染指数; $\max P_i$ 为土壤中单项污染物指数最大值; P_i 为土壤中各污染物的指数平均值。综合污染指数评价等级见表 6。

1.5.3 潜在生态危害指数分析 利用潜在生态危害指数分析法^[33],对桂地区桃园土壤重金属污染生

表 6 综合污染指数评价等级

等级划分	综合污染指数	污染程度	污染水平
一	$P_{\text{综}} \leq 0.7$	安全	清洁
二	$0.7 < P_{\text{综}} \leq 1.0$	警戒级	尚清洁
三	$1.0 < P_{\text{综}} \leq 2.0$	轻度污染	土壤污染超过背景值,作物开始污染
四	$2.0 < P_{\text{综}} \leq 3.0$	中度污染	土壤、作物均受到中度污染
五	$P_{\text{综}} > 3.0$	重度污染	土壤、作物受污染已相当严重

态风险程度进行评估。其计算公式如下:

$$E_i = T_i (C_i / C_n) ;$$

$$RI = \sum_{i=1}^8 E_i。$$

式中: E_i 为重金属*i*的潜在生态危害指数; C_i 为土壤中重金属*i*的实测含量,mg/kg; C_n 为重金属*i*的地区背景值^[34],mg/kg,具体数值见表 7; T_i 为重金属*i*的毒性响应系数^[35],具体数值见表 8; RI 为多种重金属的综合潜在生态危害指数,本研究中 RI 分级标准参照姚波等的方法^[36]分为 5 个等级(表 9)。

表 7 广西土壤重金属背景值 mg/kg

重金属	背景值
As	16.41
Hg	0.11
Cr	80.11
Ni	20.50
Cu	19.97
Zn	55.29
Cd	0.13
Pb	20.08

1.6 抗生素生态风险评估

根据欧洲风险评估技术指导文件,用风险商值法(risk quotients, RQs)对桂林市桃园土壤抗生素进行生态风险评估^[37~39]。抗生素的 RQ 值按下式算^[40]:

表 8 土壤重金属毒性响应系数

重金属	毒性响应系数
As	10
Hg	40
Cr	2
Ni	5
Cu	5
Zn	1
Cd	0
Pb	5

表 9 潜在生态危害指数及 RI 分级标准

E_i	RI	污染评价
$E_i < 40$	$RI \leq 110$	低潜在生态风险
$40 \leq E_i < 80$	$110 < RI \leq 220$	中等潜在生态风险
$80 \leq E_i < 160$	$220 < RI \leq 440$	中高等潜在生态风险
$160 \leq E_i < 320$	$440 < RI \leq 880$	高等潜在生态风险
$E_i \geq 320$	$RI > 880$	极高等潜在生态风险

$$RQs = MEC/PNEC。$$

式中:MEC 为实测环境浓度, $\mu\text{g}/\text{kg}$; PNEC 是指用于抗生素耐药性选择的预测无效应浓度, $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。参考欧洲委员会指导文件,生态风险划分为 3 个等

级: $RQs \leq 0.1$ 为低风险; $0.1 < RQs < 1$ 为中风险; $RQs \geq 1$ 为高风险。

1.7 数据分析

试验数据采用 SPSS 22.0 统计软件和 Excel 2013 进行分析。

2 结果与分析

2.1 桂林市不同桃园土壤酸碱度分析

土壤酸碱度与土壤养分形态特征及桃树生长密切相关。桃树适合在弱酸性土壤中生长,土壤 pH 值在 5.5 ~ 6.5 之间为宜。由表 10 可知,桂林市桃园土壤 pH 值在 4.8 ~ 6.5 之间,在调查的 11 个桃园不同土壤深度样品中,深度在 0 ~ 20 cm 土壤 pH 平均值为 5.61,变异系数为 8.68%。深度在 20 ~ 40 cm 土壤 pH 平均值为 5.56,变异系数为 9.08%。同一个果园不同深度土壤 pH 值无明显差别。根据分级标准,深度在 0 ~ 20 cm 土壤样品中,介于 4.5 ~ 5.5 酸性样本比例为 45.45%,介于 5.5 ~ 6.5 的弱酸性土壤样本占 55.55%,未检测到弱碱性或碱性样本。深度在 20 ~ 40 cm 的土壤样品中,酸性样本比例为 45.45%,弱酸性土壤样本占 55.55%,未检测到弱碱性或碱性样本。

表 10 不同桃园土壤 pH 值统计分析

土壤深度 (cm)	土壤 pH 值											平均值	变幅	标准差	变异系数 (%)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI				
0 ~ 20	5.8	5.8	5.4	5.5	5.5	6.5	5.2	5.4	4.9	6.5	5.2	5.61	4.9 ~ 6.5	0.49	8.68
20 ~ 40	5.8	5.9	5.4	5.5	5.8	6.3	5.1	5.3	4.8	6.4	4.9	5.56	4.8 ~ 6.4	0.51	9.08

2.2 桂林市不同桃园土壤肥力现状评估分析

2.2.1 不同桃园土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量特征分析 由表 11 可知,所调查的 11 个桃园土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量丰缺明显,不同土壤深度也有不同程度差异。深度在 0 ~ 20 cm 的土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量平均值分别为 25.56 g/kg、1.33 g/kg、100.49 mg/kg、205.58 mg/kg,变幅分别为 16.60 ~ 35.60 g/kg、1.03 ~ 1.78 g/kg、19.20 ~ 260.30 mg/kg、105.00 ~ 358.00 mg/kg。深度在 20 ~ 40 cm 的土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量平均值分别为 20.50 g/kg、1.11 g/kg、64.81 mg/kg、151.68 mg/kg,变幅分别为 13.40 ~ 29.70 g/kg、0.88 ~ 1.40 g/kg、15.70 ~ 203.00 mg/kg、93.00 ~ 211.00 mg/kg。同一桃园不同深度土壤肥力不同,随着深度增加肥力呈下降趋

势,从 0 ~ 20 cm 到 20 ~ 40 cm 土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量降幅分别为 19.80%、16.54%、35.51%、26.22%。

2.2.2 不同桃园土壤肥力现状分析及分布频率

由表 12 可知,根据全国第二次土壤普查养分分级标准,11 个桃园 0 ~ 20 cm 土壤有机质含量达到丰富水平、适宜水平、缺乏水平的比例分别为 36.36%、36.36%、27.28%,20 ~ 40 cm 分别为 0、45.45%、54.55%。0 ~ 20 cm 土壤全氮含量处于丰富水平、适量水平、缺乏水平的比例分别为 27.27%、72.73%、0,20 ~ 40 cm 分别为 0、81.81%、18.19%。0 ~ 20 cm 土壤有效磷含量处于很丰富水平、丰富水平、适量水平的比例分别为 72.73%、18.18%、9.09%,20 ~ 40 cm 分别为 63.64%、27.27%、9.09%。0 ~ 20 cm 土壤速效钾含量处于很丰富水

表 11 桃园土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量

指标	土壤深度 (cm)	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
平均值	0 ~ 20	25.56	1.33	100.49	205.58
	20 ~ 40	20.50	1.11	64.81	151.68
变幅	0 ~ 20	16.60 ~ 35.60	1.03 ~ 1.78	19.20 ~ 260.30	105.00 ~ 358.00
	20 ~ 40	13.40 ~ 29.70	0.88 ~ 1.40	15.70 ~ 203.00	93.00 ~ 211.00
变异系数(%)	0 ~ 20	23.96	15.96	76.50	36.55
	20 ~ 40	22.20	14.81	77.42	26.70
标准差	0 ~ 20	6.12	0.21	75.18	75.14
	20 ~ 40	4.65	0.16	52.50	40.52

表 12 桂林市主要桃园土壤养分分级统计分析及分布频率

指标	土壤深度 (cm)	养分分级分布频率(%)			
		很丰富水平	丰富水平	适量水平	缺乏水平
有机质含量	0 ~ 20	0	36.36	36.36	27.28
	20 ~ 40	0	0	45.45	54.55
全氮含量	0 ~ 20	0	27.27	72.73	0
	20 ~ 40	0	0	81.81	18.19
有效磷含量	0 ~ 20	72.73	18.18	9.09	0
	20 ~ 40	63.64	27.27	9.09	0
速效钾含量	0 ~ 20	45.45	18.18	36.37	0
	20 ~ 40	18.18	27.27	45.45	0

平、丰富水平、适量水平的比例分别为 45.45%、18.18%、36.37%，20 ~ 40 cm 分别为 18.18%、27.27%、45.45%。根据《绿色食品 产地环境质量》土壤肥力分级标准(NY/T 391—2013)，桂林市桃园深度在 0 ~ 20 cm 土壤样品达到分级标准Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级的比例分别为 72.73%、27.27%、0，20 ~ 40 cm 分别为 45.45%、45.46%、9.09%。桂林市桃园土壤有机质含量达到丰富以上水平的果园占比

偏低,大多处于适量及缺乏水平。测试结果说明桂林市桃园土壤主要养分总体处于较好水平。

2.3 桂林市桃园土壤重金属污染状况及其安全评价

2.3.1 土壤重金属含量特征分析 由表 13 可知,桂林市 0 ~ 20 cm 土壤 As、Hg、Cr、Ni、Cu、Zn、Cd、Pb 含量的平均值分别为 19.38、0.18、85.89、29.95、29.72、98.21、0.19、34.53 mg/kg,变异系数分别为 52.74%、48.19%、31.97%、39.64%、34.64%、37.94%、25.52%、27.27%;20 ~ 40 cm 的平均值分别为 19.44、0.19、81.90、29.29、29.38、99.36、0.16、34.55 mg/kg,变异系数分别为 51.93%、53.89%、30.97%、39.71%、38.88%、37.10%、31.87%、31.62%。不同深度土壤重金属含量无明显差异,土壤重金属含量均低于《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》中的风险筛选值,未检测到有果园土壤重金属超标情况,结果说明桂林市桃园土壤重金属污染整体处于安全范围。

表 13 桂林市主要桃园土壤重金属含量特征分析

项目	土样深度 (cm)	重金属含量(mg/kg)							
		As	Hg	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
平均值	0 ~ 20	19.38	0.18	85.89	29.95	29.72	98.21	0.19	34.53
	20 ~ 40	19.44	0.19	81.90	29.29	29.38	99.36	0.16	34.55
变幅	0 ~ 20	4.28 ~ 39.60	0.10 ~ 0.40	42.40 ~ 145.00	13.80 ~ 54.20	17.80 ~ 46.40	56.10 ~ 161.00	0.14 ~ 0.29	22.80 ~ 50.20
	20 ~ 40	4.19 ~ 38.40	0.096 ~ 0.45	40.50 ~ 143.00	15.00 ~ 55.90	15.60 ~ 47.00	58.50 ~ 172.00	0.072 ~ 0.23	20.80 ~ 52.20
变异系数(%)	0 ~ 20	52.74	48.19	31.97	39.64	34.64	37.94	25.52	27.27
	20 ~ 40	51.93	53.89	30.97	39.71	38.88	37.10	31.87	31.62
标准差	0 ~ 20	10.22	0.09	27.46	11.59	10.29	37.26	0.05	9.41
	20 ~ 40	10.09	0.10	25.36	11.34	9.95	36.86	0.05	10.93

2.3.2 土壤重金属单因子污染指数和综合污染指数评价 以污染风险筛选值作为限量标准值,采用单因子污染指数与内梅罗综合污染指数法综合评

价桂林市 11 个桃果园深度为 0 ~ 20 cm 土壤重金属污染情况。由表 14 可以看出,平均单因子污染指数排序为 Cd > Cr > Zn = As > Ni > Pb > Cu > Hg,污染

程度最严重的为 Cd,在所调查桃园中重金属单因子污染指数平均值为 0.60,其次为 Cr,污染程度最轻的为 Hg。11 个桃园土壤样品中 Hg 和 Cu 单因子污染指数均未超过 0.70,污染等级为安全,污染水平为清洁水平。As、Cr、Ni、Zn、Cd、Pb 单因子污染指数大于 0.7,污染程度处于警戒值的果园占比分别为 18.18%、27.27%、9.09%、18.18%、45.45%、9.09%。As、Cr、Ni、Zn、Cd、Pb 单因子污染指数小于 0.7,污染等级为安全的果园占比分别为 81.81%、72.73%、91.91%、81.81%、54.55%、91.91%。所

调查 11 个桃园土壤重金属综合污染指数排序为 IX > X > VIII > III > II > VII > IV > VI > XI > V > I。综合污染指数大于 0.7、污染程度处于警戒值的有 VIII、IX、X 桃园,综合污染指数分别为 0.70、0.83、0.78。综合污染指数小于 0.7、污染等级为安全的果园有 III、II、VII、IV、VI、XI、V、I,综合污染指数分别为 0.59、0.58、0.57、0.56、0.55、0.53、0.39、0.38。综合污染指数评价污染程度为安全等级占 72.73%,污染程度为警戒级占 27.27%,说明桂林市桃园重金属综合污染情况大部分处于安全等级。

表 14 桂林市主要桃园土壤重金属污染评价结果

桃园编号	单因子污染指数(P_i)								综合污染指数($P_{\text{综}}$)	污染程度
	As	Hg	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb		
I	0.20	0.08	0.42	0.20	0.12	0.28	0.47	0.25	0.38	安全
II	0.34	0.06	0.49	0.36	0.17	0.43	0.73	0.34	0.58	安全
III	0.33	0.09	0.74	0.39	0.14	0.41	0.50	0.33	0.59	安全
IV	0.36	0.08	0.46	0.40	0.16	0.41	0.70	0.35	0.56	安全
V	0.39	0.05	0.39	0.29	0.13	0.30	0.47	0.23	0.39	安全
VI	0.51	0.22	0.62	0.47	0.25	0.63	0.53	0.38	0.55	安全
VII	0.11	0.09	0.28	0.28	0.12	0.35	0.73	0.61	0.57	安全
VIII	0.65	0.21	0.64	0.68	0.31	0.80	0.80	0.72	0.70	警戒级
IX	0.99	0.19	0.97	0.90	0.26	0.81	0.50	0.63	0.83	警戒级
X	0.64	0.09	0.71	0.60	0.23	0.66	0.97	0.43	0.78	警戒级
XI	0.83	0.14	0.56	0.40	0.30	0.34	0.50	0.60	0.53	安全
平均值	0.49	0.12	0.57	0.45	0.20	0.49	0.60	0.44	0.59	
标准差	0.26	0.06	0.18	0.19	0.07	0.19	0.62	0.16	0.13	

2.3.3 土壤重金属潜在生态危害指数评价 由表 15 可知,11 个果园 RI 表现为 VI > VIII > IX > X > XI > IV > II > VII > I > III > V, RI 平均值 148.38。其中,VI 果园的 RI 最高,为 225.30,V 果园最低,为 94.81。所调查果园中,土壤重金属中高等潜在风险果园为 VI,占比 9.09%。中等潜在风险果园为 VIII、IX、X、XI、IV、II、VII,占比 63.64%。低潜在风险果园为 I、III、V,占比 27.27%。从污染元素来看,Hg 是土壤潜在生态危害指数最高的元素,所调查果园 E_i 平均值达到 66.05, E_i 值高达 145.45,尤其在 VI 果园表现出中高等潜在生态风险。其次为 Cd,所调查果园 E_i 平均值为 43.43。潜在生态危害指数最低的元素为 Zn, E_i 平均值为 1.78。结果说明,桂林市桃园土壤重金属潜在生态危害整体表现为中等潜在生态风险,IX > X > VIII > III > II > VII > IV > VI > XI > V > I。

2.4 不同桃园土壤抗生素含量及污染风险评价

2.4.1 不同桃园土壤抗生素含量分析 由表 16 可

知,桂林市桃园土壤共测出喹诺酮类、大环内酯类、四环素类 3 类抗生素。喹诺酮类检测出诺氟沙星(NFC)、恩诺沙星(ENR)、环丙沙星(CFC),其中,NFC 在 IX 桃园中检测出,含量为 0.83 $\mu\text{g}/\text{kg}$,ENR 在 IX 桃园中检测出,含量为 0.48 $\mu\text{g}/\text{kg}$,CFC 在 X 桃园中检测出,含量为 1.01 $\mu\text{g}/\text{kg}$;大环内酯类只检测到罗红霉素(ROX)残留,且检出率最高,在 I、V 和 X 桃园土壤样品均有检测出,含量分别为 28.70、26.94、20.71 $\mu\text{g}/\text{kg}$;四环素类 OTC 只在 X 桃园中检测出,含量为 0.95 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。11 个果园土壤样品中有 4 个桃园土壤样品检测到抗生素残留,检出率为 36.36%。其中,罗红霉素(ROX)的检出率最高,为 27.27%,诺氟沙星(NFC)、恩诺沙星(ENR)、环丙沙星(CFC)、土霉素(OTC)的检出率均为 9.09%。X 果园土壤样品同时检测出有 CFC、ROX 与 OTC 3 种抗生素残留,IX 桃园土壤样品同时检测出 NFC 和 ENR 2 种抗生素残留,I 与 V 桃园土壤样品中只检测出 ROX 残留,其余桃园土壤样品均未检出抗生素残留。

表 15 各桃园土壤重金属潜在生态危害指数评价结果

编号	E_i								RI	污染评价
	As	Hg	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb		
I	4.78	54.55	1.59	3.37	4.66	1.01	32.31	5.68	107.94	低潜在生态风险
II	8.23	36.36	1.82	6.22	6.23	1.54	50.77	7.64	118.82	中等潜在生态风险
III	8.10	43.64	2.77	5.66	5.16	1.47	34.62	5.68	107.09	低潜在生态风险
IV	8.65	50.91	1.74	6.90	6.16	1.47	48.46	7.84	132.13	中等潜在生态风险
V	9.57	35.64	1.47	4.90	4.76	1.09	32.31	5.08	94.81	低潜在生态风险
VI	12.43	145.45	2.33	8.10	9.39	2.26	36.92	8.42	225.30	中高等潜在生态风险
VII	2.61	43.64	1.06	4.10	4.46	1.27	50.77	10.68	118.58	中等潜在生态风险
VIII	15.78	98.18	2.41	9.93	11.62	2.89	55.38	12.50	208.70	中等潜在生态风险
IX	24.13	90.91	3.62	13.22	9.61	2.91	34.62	10.93	189.95	中等潜在生态风险
X	15.48	61.82	2.67	10.17	8.71	2.39	66.92	9.74	177.90	中等潜在生态风险
XI	20.17	65.45	2.10	5.90	11.09	1.24	34.62	10.38	150.96	中等潜在生态风险

表 16 桂林市主要桃园土壤抗生素含量 $\mu\text{g}/\text{kg}$

编号	喹诺酮类			大环内酯类	四环素类
	诺氟沙星	恩诺沙星	环丙沙星	罗红霉素	土霉素
I	ND	ND	ND	28.70	ND
II	ND	ND	ND	ND	ND
III	ND	ND	ND	ND	ND
IV	ND	ND	ND	ND	ND
V	ND	ND	ND	26.94	ND
VI	ND	ND	ND	ND	ND
VII	ND	ND	ND	ND	ND
VIII	ND	ND	ND	ND	ND
IX	0.83	0.48	ND	ND	ND
X	ND	ND	1.01	20.71	0.95
XI	ND	ND	ND	ND	ND

注:ND 表示没有检测到。

2.4.2 不同桃园土壤抗生素污染风险评价 利用风险熵值法对 11 个桃园土壤的抗生素污染风险进行评价,根据表 17 中不同抗生素土壤无效应浓度 ($PNEC_{\text{soil}}$)^[41-45] 计算 RQ_s 值。经分析,NFC 在 IX 桃园的 RQ_s 值为 0.028,生态风险表现为低风险;ENR 在 IX 桃园的 RQ_s 值为 0.038,生态风险表现为低风险;CFC 在 X 桃园的 RQ_s 值为 0.002,生态风险表现为低风险;ROX 在 I、V、X 桃园的 RQ_s 值分别为 0.99、0.93、0.71,生态风险均表现为中风险;OTC 在 X 桃园的 RQ_s 值为 0.002 2,生态风险表现为低风险。结果说明,桂林市桃园土壤中抗生素含量均无超标现象,生态风险评估整体处于低风险水平。

3 讨论与结论

酸性土壤广泛分布于我国热带、亚热带地区,

表 17 预测土壤中目标抗生素的无影响浓度

化合物	登记号	EC_{50} (mg/L)	$PENC_{\text{wather}}$ ($\mu\text{g}/\text{L}$)	K_d (L/kg)	$PENC_{\text{soil}}$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
诺氟沙星	70458-96-7	22.0	22.0	1.349	29.68
恩诺沙星	93106-60-6	0.049	0.049	260	12.74
环丙沙星	85721-33-1	1.1	1.1	419	458.7
罗红霉素	364-25-0	0.316	0.316	725	29.10
土霉素	79-57-2	1.04	1.04	417	433.68

注: EC_{50} 为半最大效应浓度,相关数据来自文献[42,44-45];
 $PENC_{\text{wather}} = EC_{50}/1\ 000$; K_d 为土壤-水分配系数,相关数来自文献
[41-42]; $PENC_{\text{soil}} = PENC_{\text{wather}} \cdot K_d$ ^[42]。

在黄壤土砖红壤、赤红壤、红壤土等表现明显。广西处于亚热带地区,高温多雨、湿热同季的特点导致铁铝氧化物明显富积,使土壤盐基饱和度较低,土壤酸度高^[46]。在调查的 11 个桃园土壤样品中,绝大部分土壤 pH 值 > 5.0,均为酸性与弱酸性土壤,无强酸性土壤,桃园土壤酸碱度总体处于适宜范围。

土壤有机质含量是反映土壤肥力的重要指标之一,对多种土壤酶活性、土壤微生物种群有重要影响,在培肥地力、改善作物品质及风味等方面具有重要作用。增施有机肥是恢复和提高地力最直接、最有效的措施,可促进土壤团粒结构形成,增强土壤通气性,提高土壤保水、保肥和保温能力^[47]。在调查的 11 个桃园中,72.72% 的桃园土壤有机质含量处于适量以上水平,但没有很丰富水平桃园,有机质含量整体处于中上水平。土壤是树体矿质营养元素的主要来源,90.91% 的桃园土壤有效磷处于丰富以上水平,66.64% 的桃园土壤速效钾含量处

于丰富以上水平,大量元素均没有缺乏水平桃园。所调查的桃园土壤养分均达到绿色食品产地水平,其中达到绿色食品产地质量分级标准 I 级、II 级水平的土壤占 90.91%,说明桂林市桃园土壤肥力整体处于较高水平。研究表明,长期施用有机肥^[48]与果园生草^[49]有利于果园土壤有机质累积,本研究调查的桃园保持果园自然生草,生态条件较好。

利用单因子污染指数法、内梅罗综合污染指数法、潜在生态风险指数法评价桂林市桃园土壤重金属污染状况,Cd 污染最为突出,其次为 Cr、Zn。所检测重金属中单因子污染指数最高为 IX 桃园的 As,单因子污染指数为 0.99,As 含量为 39.60 mg/kg,但低于农用地土壤污染风险管控标准中污染风险筛选值(40.00 mg/kg)。其次是 IX 桃园的 Cr,污染指数为 0.97,含量 145.00 mg/kg,仍低于风险筛选值(150.00 mg/kg)。与邓齐玉等的研究结果^[50]相一致,广西境内土壤 Cd 含量超标现象较为普遍,全区境内绝大多数点位土壤 Cd 含量在 0.3 mg/kg 以上,高 Cd 含量(>5 mg/kg)的空间插值斑块集中覆盖柳州地区、桂林中部和东北部地区。Xiao 等研究表明,土壤中 Cr 主要来源于成岩作用^[51]。桃园土壤中重金属的来源除与土壤属性有关,还与长期施用有机肥有关。吴荣等在冬小麦—夏玉米轮作模式中连续 10 年配施有机肥,10 年后土壤中全量 Cd、Cr、Hg、Cu、Zn 在 5 个施肥处理中均有富集现象^[52]。倪治华等调查浙江省历年商品有机肥、农家堆肥和畜禽粪便样品,在 1 000 余份的样本中,As、Cd、Pb、Cu、Hg 均有发现超标,畜禽粪便重金属残留是成品有机肥中重金属污染的主要来源^[53]。因此本研究认为,桂林市桃园土壤重金属含量除受土壤母质影响,还可能与果园长期施用未经处理禽畜粪便生产的有机肥有关。所调查桃园土壤中重金属污染评价结果中部分处于警戒级,但未发现桃园土壤重金属超标现象,说明桂林市的桃园土壤重金属污染整体处于安全。实际生产中建议施用绿色有机肥,减少重金属在土壤的积累。

桂林市桃园土壤检测出抗生素有 NFC、ENR、CFC、ROX、OTC,其中 ROX 检测出的果园数量最多、含量最高,在 I、V、X 桃园的检测含量分别为 28.70、26.94、20.71 $\mu\text{g/kg}$,但低于 ROX 土壤无效应浓度(29.10 $\mu\text{g/kg}$)。ROX 在 I、V、X 桃园的 RQ_c 值分别为 0.99、0.93、0.71,生态风险均表现为中风险。张慧敏等对比施用与未施用畜禽粪便的

土壤中四环素类抗生素残留量,发现施用畜禽粪便土壤中四环素类抗生素含量提高了十几乃至几十倍^[54]。马鸣超等对采集的 51 个生物有机肥样品进行了大环内酯类(泰乐菌素)、四环素类、喹诺酮类、磺胺类和酰胺醇类等 5 类 11 种抗生素残留量测定,所有生物有机肥样品均检出抗生素残留^[9]。刘锋等调查福建厦门市和莆田市畜禽养殖场的畜禽粪便、粪肥等样品,发现大环内酯类抗生素污染以 ROX 为主^[55]。因此,本研究认为桂北桃园土壤中抗生素来源与长期使用含鸡粪、牛粪等畜禽粪便的有机肥有关。污染评价结果显示,ROX 污染在桂林市桃园生态风险均表现为中风险,其余检出抗生素生态风险表现为低风险,说明桂林市桃园土壤抗生素污染整体处于安全水平。在实际生产中还需提高警惕,合理使用安全有效的有机肥,减少抗生素摄入。建议广西各桃产区土壤管理制度大面积示范推广自然生草(培养优势良性杂草)或人工种草,改善果园微环境,逐渐提高土壤有机质和肥力,为桃产业绿色安全发展奠定良好基础。

桂林市桃园土壤酸碱度适合桃树生长,土壤肥力状况整体为中上水平,重金属含量无超标,风险评价处于中等潜在风险水平,抗生素污染风险评价整体处于低风险水平。可见,桂林市主要桃园土壤整体环境质量良好。

参考文献:

- [1]王紫艳,杨桂玲,虞铁俊,等. 有机肥施用对农产品质量安全及土壤环境的影响研究[J]. 农产品质量与安全,2020(4):67-73.
- [2]谢文凤,吴 彤,石岳骄,等. 国内外有机肥标准对比及风险评价[J]. 中国生态农业学报(中英文),2020,28(12):1958-1968.
- [3]Duan X W, Zhang G L, Rong L, et al. Spatial distribution and environmental factors of catchment - scale soil heavy metal contamination in the dry - hot valley of Upper Red River in southwestern China[J]. Catena,2015,135:59-69.
- [4]安 婧,宫晓双,陈宏伟,等. 沈抚灌区农田土壤重金属污染时空变化特征及生态健康风险评价[J]. 农业环境科学学报,2016,35(1):37-44.
- [5]蔡 娜,谢 静,党华美,等. 贵州省主要猕猴桃果园土壤重金属安全评价[J]. 江苏农业科学,2019,47(1):255-260.
- [6]Sarmah A K, Meyer M T, Boxall A B A. A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment[J]. Chemosphere, 2006,65(5):725-759.
- [7]Briones R M, Sarmah A K, Padhye L P. A global perspective on the use, occurrence, fate and effects of anti - diabetic drug metformin in natural and engineered ecosystems[J]. Environmental Pollution,

- 2016,219:1007–1020.
- [8] Lin H, Sun W C, Zhang Z L, et al. Effects of manure and mineral fertilization strategies on soil antibiotic resistance gene levels and microbial community in a paddy – upland rotation system [J]. *Environmental Pollution*, 2016, 211: 332–337.
- [9] 马鸣超, 姜 昕, 曹凤明, 等. 我国生物有机肥质量安全风险分析及其对策建议[J]. *农产品质量与安全*, 2017(5): 44–48.
- [10] 刘 伟, 李桂祥, 董晓民, 等. 行间生草对桃园土壤养分及桃果实品质的影响[J]. *山东农业科学*, 2016, 48(4): 79–82.
- [11] 吴 兵. 古田水蜜桃土壤现状探析[J]. *中国农业文摘(农业工程)*, 2019, 31(2): 45–48.
- [12] 崔 萌, 孙向阳, 李素艳, 等. 北京市桃主产区土壤重金属空间结构特征及来源[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2019, 48(2): 238–243.
- [13] 徐业梅, 张超兰, 黎 宁, 等. 广西环江县农田土壤重金属空间变异及分布特征[J]. *广西科学*, 2018, 25(6): 701–708.
- [14] 黄子龙, 林清梅, 李春林, 等. 广西宜州市土壤重金属元素地球化学特征[J]. *矿产与地质*, 2019, 33(2): 348–352.
- [15] 单志强, 石少明, 马荣锴, 等. 广西贵港柑桔产区土壤重金属污染及生态风险评价[J]. *四川环境*, 2020, 39(4): 136–141.
- [16] 王佛鹏, 肖乃川, 周 浪, 等. 桂西南地球化学异常区农田重金属空间分布特征及污染评价[J]. *环境科学*, 2020, 41(2): 876–885.
- [17] 吴 洋, 杨 军, 周小勇, 等. 广西都安县耕地土壤重金属污染风险评价[J]. *环境科学*, 2015, 36(8): 2964–2971.
- [18] 赵辛金, 吴天生, 钟晓宇, 等. 广西典型岩溶区重金属高背景区农田土壤生态风险综合评价[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(22): 252–261.
- [19] 莫敏敏, 黄亮亮, 王 倩, 等. 广西青狮潭水库水体喹诺酮类抗生素的分布特征及生态风险评价[J]. *湖泊科学*, 2019, 31(1): 124–133.
- [20] 王志芳, 雷 燕, 肖 俊, 等. 广西罗非鱼主产区养殖池塘抗生素残留状况分析[J]. *南方农业学报*, 2019, 50(4): 891–897.
- [21] 周如琼, 范航清, 何斌源. 养殖排放农药和抗生素在红树林区中残留的初步研究[J]. *广西植物*, 2010, 30(6): 776–780.
- [22] 薛保铭, 杨惟薇, 王英辉, 等. 钦州湾水体中磺胺类抗生素污染特征与生态风险[J]. *中国环境科学*, 2013, 33(9): 1664–1669.
- [23] 彭 聪, 巴俊杰, 胡 芬, 等. 广西会仙岩溶湿地典型抗生素污染特征及生态风险评估[J]. *环境科学学报*, 2019, 39(7): 2207–2217.
- [24] 伍婷婷, 张瑞杰, 王英辉, 等. 邕江南宁市区段表层沉积物典型抗生素污染特征[J]. *中国环境科学*, 2013, 33(2): 336–344.
- [25] 中华人民共和国农业部. 土壤检测 第2部分: 土壤 pH 的测定: NY/T 1121.2—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [26] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [27] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [28] 孔晨晨, 张世文, 聂超甲, 等. 农用地土壤抗生素组成特征与积累规律[J]. *环境科学*, 2019, 40(4): 1981–1989.
- [29] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [30] 中华人民共和国农业部. 绿色食品 产地环境质量: NY/T 391—2013[S]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [31] 宋恒飞, 吴克宁, 刘霏珈. 土壤重金属污染评价方法研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(15): 11–14.
- [32] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行): GB 15618—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [33] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach[J]. *Water Research*, 1980, 14(8): 975–1001.
- [34] 广西环境保护科学研究所. 土壤背景值研究方法及广西土壤背景值[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 1992.
- [35] 李一蒙, 马建华, 刘德新, 等. 开封城市土壤重金属污染及潜在生态风险评价[J]. *环境科学*, 2015, 36(3): 1037–1044.
- [36] 姚 波, 杨爱萍, 陈华毅, 等. 珠江流域上游云贵地区农田土壤重金属污染状况及其风险性分析[J]. *农业环境科学学报*, 2020, 39(10): 2259–2266.
- [37] European Chemicals Bureau. Technical guidance document on risk assessment[R]. European Communities: European Commission Joint Research Center, 2003.
- [38] Hernando M D, Mezcuza M, Fernández – Alba A R, et al. Environmental risk assessment of pharmaceutical residues in wastewater effluents, surface waters and sediments [J]. *Talanta*, 2006, 69(2): 334–342.
- [39] Zhao J L, Ying G G, Liu Y S, et al. Occurrence and a screening – level risk assessment of human pharmaceuticals in the Pearl River system, South China[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2010, 29(6): 1377–1384.
- [40] Chen H Y, Jing L J, Teng Y G, et al. Characterization of antibiotics in a large – scale river system of China: Occurrence pattern, spatiotemporal distribution and environmental risks[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 618: 409–418.
- [41] Conkle J L, Lattao C, White J R, et al. Competitive sorption and desorption behavior for three fluoroquinolone antibiotics in a wastewater treatment wetland soil [J]. *Chemosphere*, 2010, 80(11): 1353–1359.
- [42] Wu X L, Xiang L, Yan Q Y, et al. Distribution and risk assessment of quinolone antibiotics in the soils from organic vegetable farms of a subtropical city, Southern China [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 487: 399–406.
- [43] Liu X H, Lu S Y, Guo W, et al. Antibiotics in the aquatic environments: a review of lakes, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 627: 1195–1208.
- [44] 朱宇恩, 苗佳蕊, 郑静怡, 等. 汾河沿岸农田土壤喹诺酮类抗生素残留特征及风险评估[J]. *环境科学学报*, 2019, 39(6): 1989–1998.
- [45] 涂 棋, 徐 艳, 李二虎, 等. 典型养鸡场及其周边土壤中抗生素的污染特征和风险评估[J]. *农业环境科学学报*, 2020, 39(1): 97–107.

任 妮,戴红君,张琤琤,等. 我国克氏原螯虾产业调查分析与发展对策建议[J]. 江苏农业科学,2021,49(19):241-245.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.19.043

我国克氏原螯虾产业调查分析与发展对策建议

任 妮,戴红君,张琤琤,陆学文

(江苏省农业科学院信息中心,江苏南京 210014)

摘要:克氏原螯虾是我国重要的淡水养殖品种之一,在我国渔业经济发展中起着重要的支撑作用。近年来,我国克氏原螯虾养殖面积和产量快速增长,养殖模式以虾稻连作为主;克氏原螯虾消费量爆发式增长,消费渠道和辐射面日益拓宽;克氏原螯虾精深加工发展迅速,流通体系日趋完善。通过对我国克氏原螯虾产业发展现状的调研分析,对今后我国克氏原螯虾产业发展趋势做出了初步预判:养殖面积增速放缓,产量持续快速攀升;消费需求和消费能力将持续增长;加工产业规模将保持增长态势;市场价格将保持显著季节性波动,同期价格稳中有降;提质增效将成为克氏原螯虾养殖盈利的重要渠道。最后,基于克氏原螯虾产业发展中存在的问题与面临的风险剖析,提出有效的政策建议,旨在为促进我国克氏原螯虾产业可持续健康发展提供参考。

关键词:克氏原螯虾;产业;现状;风险;对策

中图分类号:F326.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)19-0241-06

克氏原螯虾是我国重要的淡水养殖品种之一,适应力强,繁殖力高,生长快,养殖效益高,在我国发展前景广阔。我国作为世界最大的克氏原螯虾生产国和消费国,克氏原螯虾产业发展可谓一日千里,从最初的捕捞+餐饮逐渐发展成集苗种繁育、健康养殖、加工出口、餐饮物流、节庆文化于一体的完整产业链条,克氏原螯虾成为很多地区培育经济新动能、实施产业精准扶贫、促进农业产业结构调整的重要突破口。

收稿日期:2020-11-16

作者简介:任 妮(1983—),女,山东莱州人,博士,副研究员,主要从事农业大数据分析、知识组织与分析利用等研究。Tel:(025)84391658;E-mail:rn@jaas.ac.cn。

通信作者:陆学文,硕士,正高级会计师,主要从事农业信息服务研究。Tel:(025)84390284;E-mail:xuewen8888@sina.com。

我国已有很多克氏原螯虾不同养殖模式对比研究及其具体养殖技术方面的研究报道,夏贤福研究对比了池塘养殖克氏原螯虾3种养殖模式,发现轮捕轮放养殖模式的经济效益显著较高,但养殖技术与管理难度也更大^[1];张航利研究比较了上海崇明克氏原螯虾单养以及与清水蟹混养2种养殖模式,结果表明克氏原螯虾混养模式养殖产量和利润均高于单养模式^[2];刘德建开展了淡水池塘河蟹与克氏原螯虾生态混养试验并总结了混养技术^[3];王清华等研总结了江苏省南京市高淳克氏原螯虾池塘生态养殖技术,提出放养优质种苗、种植丰富的水草资源是克氏原螯虾养殖成功的重要因素^[4]。随着我国克氏原螯虾养殖面积的不断扩大与养殖技术的日趋成熟,克氏原螯虾产业得到进一步发展,如何充分利用当地克氏原螯虾产业实现精准扶

[46]袁金华,徐仁扣. 生物炭对酸性土壤改良作用的研究进展[J]. 土壤,2012,44(4):541-547.

[47]彭克明,裴保义. 农业化学(总论)[M]. 北京:农业出版社,1980.

[48]何 伟,王 会,韩 飞,等. 长期施用有机肥显著提升潮土有机碳组分[J]. 土壤学报,2020,57(2):425-434.

[49]朱先波,潘 亮,王华玲,等. 十堰猕猴桃果园生草生态效应的分析[J]. 农业资源与环境学报,2020,37(3):381-388.

[50]邓齐玉,赵银军,林 清,等. 广西重金属的区域性分布特征与土壤污染状况评价[J]. 环境工程,2019,37(1):164-171,92.

[51]Xiao C L,Jian H M,Chen L F,et al. Toxic metal pollution in the Yellow Sea and Bohai Sea, China: distribution, controlling factors

and potential risk[J]. Marine Pollution Bulletin,2017,119(1):381-389.

[52]吴 荣,刘善江,孙 昊,等. 长期化肥配施不同有机肥对土壤和玉米中重金属累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(11):2010-2019.

[53]倪治华,孙万春,林 辉,等. 浙江省畜禽粪源有机肥质量安全风险与控制对策[J]. 浙江农业学报,2020,32(2):299-307.

[54]张慧敏,章明奎,顾国平. 浙北地区畜禽粪便和农田土壤中四环素类抗生素残留[J]. 生态与农村环境学报,2008,24(3):69-73.

[55]刘 锋,廖德润,李 可,等. 畜禽养殖基地磺胺类喹诺酮类和大环内酯类抗生素污染特征[J]. 农业环境科学学报,2013,32(4):847-853.