

## 海菜花种植水对 2 种沉水植物抗逆性的影响

杨栋林<sup>1,2</sup>, 方轶男<sup>2</sup>, 潘巍<sup>2</sup>, 侯丛林<sup>2</sup>, 吴荻<sup>2</sup>, 廖文雪<sup>2\*</sup>

(1. 珍稀濒危动植物生态与环境保护教育部重点实验室, 广西桂林 541004; 2. 广西师范大学生命科学院, 广西桂林 541004)

**摘要** 海菜花(*Ottelia acuminata*)作为国家Ⅱ级保护植物,是一种既可观赏又可食用的植物。就海菜花生长过程中产生的次生物质,以种植水的形式对 2 种沉水植物(菹草和密刺苦草)的生长过程产生的影响进行研究。结果表明,密刺苦草在不同浓度的海菜花种植水中过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)活性明显下降,丙二醛(MDA)含量下降,总叶绿素浓度亦有明显的下降,说明密刺苦草对于海菜花种植水中的化感物质表现出明显抗性,海菜花对于密刺苦草的生长起抑制作用。菹草 SOD 活性出现了明显下降,MDA 含量呈先下降后上升的趋势,叶绿素浓度亦是先下降后上升,但是最初呈现的下降趋势均不明显。说明海菜花的化感作用对于密刺苦草比菹草的敏感,密刺苦草更容易受到海菜花化感物质的影响。

**关键词** 海菜花;种植水;沉水植物;抗逆性;影响

**中图分类号** Q 945 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2021)01-0066-04

**doi**: 10. 3969/j. issn. 0517-6611. 2021. 01. 017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Effects of Planting Water on Stress Resistance of Two Submerged Plants in *Ottelia acuminata*

YANG Dong-lin<sup>1,2</sup>, FANG Yi-nan<sup>2</sup>, PAN Wei<sup>2</sup> et al (1. Key Laboratory of Rare and Endangered Animals and Plants, Ministry of Education, Guilin, Guangxi 541004; 2. College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004)

**Abstract** As a secondary protected plant in China, *Ottelia acuminata* is an ornamental and edible plant. In this paper, the secondary substances produced during the growth of sea cauliflower were used to study the effects of planting water on the growth of two submerged plants (*Vallisneria natans* and *Potamogeton crispus*). The results showed that the peroxidase (POD) activity, the superoxide dismutase (SOD) activity and the malondialdehyde (MDA) content in different concentrations of sea cauliflower planting water significantly decreased, the chlorophyll concentration also decreased significantly, which indicated that *Vallisneria natans* showed obvious resistance to allelochemicals in *Ottelia acuminata* planting water, and *Ottelia acuminata* inhibited the growth of *Vallisneria natans*. The SOD activity of *Potamogeton crispus* showed a significant decline, the MDA content showed first decline and then upward trend, and the chlorophyll concentration also first declined and then increased, but the initial downward trend was not very obvious. It showed that the allelopathic effect of *Ottelia acuminata* was more sensitive to *Vallisneria natans* than *Potamogeton crispus*, which was more susceptible to the allelopathy of *Ottelia acuminata*.

**Key words** *Ottelia acuminata*; Planting water; Sediment plants; Resistance; Effect

海菜花(*Ottelia acuminata*),隶属水鳖科(Hydrocharitaceae)水车前属(*Ottelia Pers.*),一年生或多年生淡水湖泊特有的沉水植物<sup>[1]</sup>,既可作为观赏景观植物,又可作为人与一些水生动物的食物<sup>[2]</sup>,对环境要求较高,尤其是对水体污染较为敏感<sup>[3-4]</sup>,可作为水体环境指标性植物,是非常有研究价值的国家Ⅱ级保护植物<sup>[5]</sup>。

水生生态系统相对于陆生生态系统来说,表现得更为复杂,沉水植物的化感作用实验室验证和研究均较难开展试验,所以一直没有得到相应的重视。而近 2 年来我国水体污染较为严重,沉水植物作为湖泊主要生产者,对于调节湖泊生态平衡有着重要影响<sup>[6-7]</sup>。但近年来人们大多倾向于沉水植物对藻类植物的影响进行研究,而对沉水植物之间的相互关系相关的研究较少,笔者以 2 种沉水植物密刺苦草(*Vallisneria natans*)和菹草(*Potamogeton crispus*)为研究对象,对沉水植物之间的相互关系进行研究,对湖泊恢复建设中使用的复合恢复生态系统沉水植物间的搭配进行探讨。

## 1 材料与方

**1.1 材料** 该研究所使用的海菜花(*Ottelia acuminata*)、密刺苦草(*Vallisneria natans*)和菹草(*Potamogeton crispus*)均采

集于广西桂林市永福县百寿镇。选取生长健壮,根、茎、叶完好的植株用冰桶带回实验室,经自来水清洗干净,用蒸馏水进行预培养。

## 1.2 方法

**1.2.1 种植水的制备。**将一定鲜重的海菜花茁壮植株种植于装有 5 L 蒸馏水的大烧杯内,在温度为 25 ℃、光暗时间比 14 h:10 h,光强 4 000 lx 的条件下培养 7 d,取 3 L 种植水用 0.45 μm 的微孔滤膜过滤,并高温灭菌处理,取得种植水的母液,设 5 个重复。

**1.2.2 沉水植物的培养。**选取植株大小相似、株高 10~15 cm 的密刺苦草和菹草放入 350 mL 锥形瓶中,用陶瓷圈固定根部,每瓶 1 株,用蒸馏水(对照组)和海菜花种植水各 300 mL 进行为期 7 d 的培养,培养条件为 25 ℃、光暗时间比 14 h:10 h、光强 3 000 lx。为避免试验材料死亡影响试验数据,设 3 个平行的对照组,6 个平行的处理组。

**1.2.3 过氧化物酶(POD)活性的测定。**采用愈创木酚法<sup>[7]</sup>来测定 2 种沉水植物的 POD 活性,在 POD 的催化下,过氧化氢会与愈创木酚起氧化反应,生成褐色产物。

$$\text{POD 活性}[\mu\text{/(g}\cdot\text{min)}] = \frac{\Delta A_{470} \times V_T}{W \times V_S \times 0.01 \times t} \quad (1)$$

式中,ΔA<sub>470</sub>指反应时间内吸光度的变化值;V<sub>T</sub>指提取酶液的体积;W指植物叶片净鲜重;V<sub>S</sub>指试验所用酶液的体积;t为测量间隔时间(间隔 1 min)。

**基金项目** 广西高校科学技术研究项目(YB2014056);广西师范大学教育教学改革项目(2017XJGB40)。

**作者简介** 杨栋林(1971—),女,广西玉林人,高级实验师,硕士,从事生物化学与分子生物学实验教学工作。\*通信作者,讲师,硕士,从事细胞工程与分子生物学研究。

**收稿日期** 2020-05-25

**1.2.4 超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定。**采用氮蓝四唑(NBT)还原法<sup>[8]</sup>测定 SOD 活性,SOD 抑制氮蓝四唑在光下的反应。

在预冷的研钵中加入 0.5 g 植物叶片和 1 mL 磷酸缓冲液(pH=5.5),研磨成匀浆,用 4 mL 磷酸缓冲液分数次冲洗并放入 7 mL 离心管中,离心(3 600 r/min,10 min,4 ℃),上清液即为 SOD 粗提液。取 5 支试管,2 支为对照管、2 支为测定管、1 支为黑暗对照管。往试管中依次加入 1 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液(pH=5.5)、0.2 mL 130 mmol/L 甲硫氨酸(Met)溶液、0.2 mL 750 μmol/L NBT 溶液、0.2 mL 100 μmol/L EDTA-Na<sub>2</sub> 溶液、0.2 mL 核黄素溶液、0.05 mL 酶液和 1.15 mL 蒸馏水。混匀后,除黑暗对照组被置于黑暗处外,其他的试管均放在 4 000 lx 日光下反应 20 min(要求各管受光程度一致)。以不进行黑暗处理得到对照管作为空白对照,在 560 nm 波长下对其他试管进行吸光度测定。

**1.2.5 丙二醛(MDA)含量的测定。**采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法<sup>[9]</sup>测定 2 种沉水植物的 MDA 含量,MDA 与 TBA 在高温强酸条件下发生反应,生成有色产物。

分别取 2 种供试的水生植物叶片 0.5 g 放入研钵中,加入 5 mL 5% 三氯乙酸(TCA)溶液,研磨成匀浆后转入 7 mL 离心管,离心(6 000 r/min,10 min,4 ℃)。取 2 mL 离心后的上清液放入试管中,往试管中加入 2 mL 0.67% TBA,混合均匀后置于 100 ℃ 水浴锅中煮沸 30 min,取出试管静置冷却后再次离心。最后分别取适量的上清液置于 450、532、600 nm 波长下测定吸光度。

$$C(\mu\text{mol/L}) = 6.45(A_{532} - A_{600}) - 0.56A_{450} \quad (2)$$

式中, $A_{532}$ 、 $A_{450}$ 、 $A_{600}$  分别表示 532、450、600 nm 波长下的吸光度。

**1.2.6 脯氨酸含量的测定。**脯氨酸标准曲线、样本的提取、测定和计算方法参照李合生<sup>[10]</sup>的《植物生理生化试验原理和技术》。

**1.2.7 叶绿素含量的测定。**取 0.5 g 洗净的植物叶片,加入 3 mL 纯丙酮、适量石英砂和碳酸钙,研磨成匀浆后转入离心管中,用 80% 丙酮冲洗研钵,并将冲洗液一并转入离心管中。以 4 000 r/min 转速离心 10 min,将上清液用 80% 丙酮定容至 10 mL。取 0.5 mL 定容后的上清液,用 4 mL 80% 丙酮对上清液进行稀释,以 80% 丙酮作为对照,分别置于 663、645 nm 波长下测定吸光度。

$$C_a(\text{mg/L}) = 12.27A_{663} - 2.69A_{645} \quad (3)$$

$$C_b(\text{mg/L}) = 22.9A_{645} - 4.68A_{663} \quad (4)$$

$$CT = C_a + C_b \quad (5)$$

式中, $A_{663}$ 、 $A_{645}$  分别表示 663、645 nm 波长下的吸光度。

**1.3 数据处理及分析** 试验数据采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 统计软件进行处理和分析。

## 2 结果与分析

**2.1 海菜花种植水对 2 种沉水植物 POD 活性的影响** POD 是植物体内重要的呼吸酶类,其活性高低与酚类物质代谢息息相关。POD 活性的高低反映植物内在代谢的情

况,并且能够消除活性氧(ROS)和超氧阴离子自由基( $O_2 \cdot^-$ )对细胞的伤害<sup>[11]</sup>。

由表 1 可知,相对于蒸馏水,密刺苦草在海菜花种植水中 POD 活性由 196.357 7 U/(g·min) 下降至 56.432 7 U/(g·min),下降了 72%,具有显著性差异( $P < 0.05$ )。而菹草在海菜花种植水中,POD 活性由 169.537 1 U/(g·min) 下降至 86.875 4 U/(g·min),下降了 49%,也具有显著性差异( $P < 0.05$ ),且密刺苦草 POD 活性较菹草而言下降较为显著( $P < 0.05$ )。由此可知,海菜花种植水抑制了密刺苦草和菹草的 POD 活性,且密刺苦草受到的抑制作用更为严重。

表 1 海菜花种植水对 2 种沉水植物 POD 活性影响

Table 1 Effect of *Ottelia acuminata* planting water on the POD activity of two submerged plants U/(g·min)

组别 Group	密刺苦草 <i>Vallisneria natans</i>	菹草 <i>Potamogeton crispus</i>
对照组 Control group	196.357 7±0.674 3	169.537 1±0.627 5
海菜花种植水 Planting water of <i>Ottelia acuminata</i>	56.432 7±0.436 7*	86.875 4±0.673 1*

注: \*  $P < 0.05$

**2.2 海菜花种植水对 2 种沉水植物 SOD 活性的影响** SOD 是能够消除植物体在新陈代谢过程中产生的有害物质的一种活性物质,它几乎存在于所有生命物体体内,可以将有害的超氧阴离子自由基( $O_2 \cdot^-$ )转化为过氧化氢( $H_2O_2$ ),然后体内的过氧化氢酶(CAT)和 POD 可立即将转化的  $H_2O_2$  分解,生成水和氧<sup>[12]</sup>,因此,SOD 在生物体内活性的高低水平是生物体的衰老和死亡的体现。

由表 2 可知,相对于蒸馏水的对照,在海菜花种植水中,密刺苦草的 SOD 活性均有所下降,且下降呈显著差异( $P < 0.05$ ),说明海菜花化感作用对于密刺苦草的 SOD 活性有抑制作用;而在海菜花种植水中,菹草的 SOD 活性有轻微的下,下降并不明显( $P > 0.05$ ),说明海菜花种植水对菹草的 SOD 活性也有抑制作用,但是抑制作用表现得不明显。由此可见,海菜花在生长过程中产生的化感物质对供试的 2 种沉水植物的 SOD 活性都产生有害影响,不利于密刺苦草和菹草植物中  $O_2 \cdot^-$  的转换,对其生长产生负面影响,但是密刺苦草所受的海菜花种植水胁迫作用更为显著。

表 2 海菜花种植水对 2 种沉水植物 SOD 活性的影响

Table 2 Effect of *Ottelia acuminata* planting water on the SOD activity of two submerged plants U/g

组别 Group	密刺苦草 <i>Vallisneria natans</i>	菹草 <i>Potamogeton crispus</i>
对照组 Control group	23.009 8±1.404 3	39.742 7±1.133 2
海菜花种植水 Planting water of <i>Ottelia acuminata</i>	7.709 6±0.043 1*	29.075 6±0.769 3

注: \*  $P < 0.05$

**2.3 海菜花种植水对 2 种沉水植物 MDA 含量的影响** MDA 是脂类过氧化的主要产物,是较为常见的膜脂过氧化指标,在酸性和高温的条件下,可以与 TBA 反应,生成粉红色或者红色的稳定复合物,其吸收的最大波长为 532 nm<sup>[13]</sup>。植物衰老或环境改变受到胁迫时,自由基代谢失

调,植物组织和器官的膜脂质发生过氧化还原反应,从而生成MDA等物质,导致其体内MDA含量增加。

由表3可知,菹草在海菜花种植水中,MDA含量由0.915 μmol/L上升至0.981 μmol/L,上升了7.2%,表现不显著( $P>0.05$ ),说明菹草在海菜花种植水中脂类过氧化反应增多,植物表现衰老状态,即菹草对海菜花种植水中的化感物质表现出了抗性。密刺苦草在不同的海菜花种植水中,MDA含量呈现下降趋势,由0.901 μmol/L降低至0.337 μmol/L,下降趋势明显( $P<0.05$ ),其可能原因有:①海菜花的化感作用对密刺苦草的MDA的产生起抑制作用,也就是海菜花化感作用抑制了密刺苦草的膜脂质过氧化作用;②密刺苦草对于海菜花的化感作用较为敏感,在海菜花种植水的影响下,膜脂质过氧化作用强烈,MDA含量过高,膜脂质和细胞受到的伤害在高浓度的海菜花次生物质的影响中已近乎死亡。

表3 海菜花种植水对2种沉水植物MDA含量的影响

Table 3 Effect of *Ottelia acuminata* planting water on the MDA content in two submerged plants

组别 Group	菹草 <i>Potamogeton crispus</i>	密刺苦草 <i>Vallisneria natans</i>
对照组 Control group	0.915±0.014	0.901±0.977
海菜花种植水 Planting water of <i>Ottelia acuminata</i>	0.981±0.773	0.337±2.315*

注: \*  $P<0.05$

**2.4 海菜花种植水对2种沉水植物脯氨酸含量的影响** 脯氨酸是植物蛋白质的组分之一,植物体内脯氨酸含量在一定程度上反映了植物的抗逆性,研究表明,脯氨酸对于蛋白质的折叠、成熟与变性蛋白的清除起重要作用<sup>[14]</sup>,在逆境环境中,脯氨酸含量高的植物抗逆性较强。

根据图1的脯氨酸标准曲线可以得出线性回归方程  $y=0.0385x+0.2735$ ,用此方程可以计算出用海菜花种植水培养后2种沉水植物的脯氨酸含量(表4)。

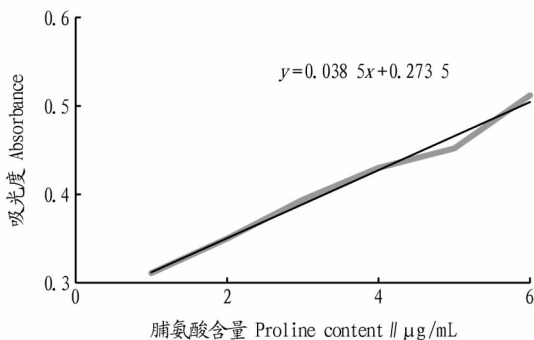


图1 脯氨酸标准曲线

Fig. 1 Proline standard curve

由表4可知,密刺苦草在海菜花种植水中比在蒸馏水对照中脯氨酸含量呈现明显的上升趋势( $P<0.05$ ),说明密刺苦草对于海菜花化感物质表现出了抗性,侧面表明了密刺苦草受到海菜花胁迫作用越明显。菹草在海菜花种植水中脯氨酸含量相对于蒸馏水(对照组),由9.9506 μg/mL上升至10.0156 μg/mL,且无明显变化( $P>0.05$ ),其可能原因有:①

菹草对于海菜花并没有表现出相对的抗性,也就是说菹草并没有受到海菜花次生物质的影响;②菹草对于海菜花种植水表现出了抗性,只是抗性并没有密刺苦草表现的明显。

表4 海菜花种植水对2种沉水植物脯氨酸含量的影响

Table 4 Effect of *Ottelia acuminata* planting water on the proline content in two submerged plants

组别 Group	密刺苦草 <i>Vallisneria natans</i>	菹草 <i>Potamogeton crispus</i>
对照组 Control group	8.350 6±0.131 0	9.950 6±0.162 7
海菜花种植水 Planting water of <i>Ottelia acuminata</i>	14.742 2±0.237 2*	10.015 6±0.152 9

注: \*  $P<0.05$

**2.5 海菜花种植水对2种沉水植物叶绿素含量的影响** 叶绿素(chlorophyll)是一类与光合作用(photosynthesis)有关的重要色素,叶绿素的含量是反映植物健康状态最常用的生态指标之一<sup>[15]</sup>。由表5可知,在一定浓度的海菜花种植水胁迫下,密刺苦草的叶绿素a与叶绿素b的浓度均表现出明显的下降趋势( $P<0.05$ ),海菜花种植水试验组密刺苦草的叶绿素a含量比对照组(蒸馏水组)下降57.9%,叶绿素b含量比对照组下降79.2%;海菜花种植水试验组菹草的叶绿素a含量比对照组下降7.6%,叶绿素b含量比对照组下降0.8%,下降趋势不显著( $P>0.05$ )。由公式(5)得知,总叶绿素含量受叶绿素a和叶绿素b的共同影响,由于密刺苦草的叶绿素a和叶绿素b含量都有所下降,所以其总叶绿素含量也呈现逐渐下降的趋势,且呈显著差异( $P<0.05$ )。植物体内总叶绿素含量下降表明该植物的健康状况出现了问题或者植物正在衰老甚至是死亡。从这一试验结果可知,海菜花化感物质对密刺苦草的生长产生了负面的影响。菹草在海菜花种植水中叶绿素a和叶绿素b的含量亦出现下降趋势,但下降的趋势并不明显( $P>0.05$ ),说明在同等情况下菹草的生长过程受到海菜花化感物质的抑制影响比同一生境的密刺苦草轻。

### 3 结论

通过对经海菜花种植水培养的2种水生植物(密刺苦草和菹草)叶片中POD活性、SOD活性、MDA含量、脯氨酸含量和叶绿素含量等指标的测定,发现密刺苦草在海菜花种植水中POD和SOD活性有明显的下降,MDA含量明显下降,总叶绿素含量亦有明显的下降。综上所述,海菜花生长过程中产生的化感物质对密刺苦草的生长产生了抑制作用,并且密刺苦草对于海菜花化感作用反应较为敏感。而菹草在上述的所有试验中,POD活性在海菜花种植水中变化并不明显,SOD活性有轻微下降,MDA含量呈增高,叶绿素含量表现下降趋势。由此可见,密刺苦草和菹草在海菜花种植水的培养过程中,也就是在正常的水域环境中,均受到海菜花分泌的化感物质的抑制作用,表现出了对海菜花化感物质的抗性,但这2种沉水植物中,密刺苦草所受的化感作用表现较为敏感,表现的抗逆性较差。

在利用水生植物进行水体污染治理中,应当选择合适且合理的沉水植物搭配,从该试验得出的结果可以看出,海菜

花与密刺苦草、菹草间存在竞争关系,密刺苦草与菹草对于海菜花化感物质表现出抗性,且密刺苦草抗性表现十分明显。所以在水体修复工程中对于沉水植物的选择,海菜花与

密刺苦草不应一起使用,否则密刺苦草有可能在修复过程中被海菜花所抑制,达不到修复预期试验效果。

表 5 海菜花种植水对 2 种沉水植物叶绿素含量的影响

Table 5 Effect of *Ottelia acuminata* planting water on the chlorophyll content in two submerged plants

组别 Group	密刺苦草 <i>Vallisneria natans</i>		菹草 <i>Potamogeton crispus</i>		mg/g
	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	
对照组 Control group	0.509 3±0.035 2	0.733 2±0.296 8	0.316 1±0.018 4	0.701 5±0.087 3	
海菜花种植水 Planting water of <i>Ottelia acuminata</i>	0.214 2±0.063 9*	0.152 4±0.092 8*	0.292 1±0.026 3	0.695 7±0.054 2	

注: \*  $P < 0.05$

## 参考文献

- [1] 中国科学院昆明植物研究所. 云南植物志: 第 4 卷[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 757-761.
- [2] 蒋柱檀, 李恒, 刀志灵, 等. 云南传统食用植物海菜花(*Ottelia acuminata*)的民族植物学研究[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版), 2010, 39(2): 163-168.
- [3] 翟书华, 杨晓虹. 不同激素处理对海菜花种子萌发特性的影响[J]. 种子, 2017, 36(8): 72-74.
- [4] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 18.
- [5] 汪松, 解焱. 中国物种红色名录[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [6] 陈锋, 孟永杰, 帅海威, 等. 植物化感物质对种子萌发的影响及其生态学意义[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(1): 36-46.
- [7] 肖溪, 楼莉萍, 李华, 等. 沉水植物化感作用控藻能力评述[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 705-712.
- [8] CRAMER G R, ABDEL-BASSET R, SEEMANN J R. Salinity-calcium in-

- teractions on root growth and osmotic adjustment of two corn cultivars differing in Salt Tolerance [J]. Journal of plant nutrition, 1990, 13(11): 1453-1462.
- [9] 王学奎, 黄见良. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2015.
- [10] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [11] 罗龙海, 范三红, 张美祥, 等. 小麦种子过氧化物酶的纯化及其部分酶学性质[J]. 农业生物技术学报, 2008, 16(1): 181-182.
- [12] 朱秀敏. 超氧化物歧化酶的生理活性[J]. 当代医学, 2011, 17(15): 26-27.
- [13] 张秋萍, 吴霞红, 郑剑恒, 等. 生物样本中丙二醛测定方法的研究进展[J]. 理化检验-化学分册, 2016, 52(8): 979-985.
- [14] 王宝增. 脯氨酸与植物的抗逆性[J]. 生物学教学, 2011(11): 4-5.
- [15] 马宗琪, 崔静, 王秀, 等. 树木叶片叶绿素含量三种测定方法的比较[J]. 林业科技, 2016, 41(5): 42-45.

(上接第 65 页)

看,占用的耕地多分布在城区周围集中连片的优质农田,而补充的耕地分布在整个行政区域,且地块面积小、分布不集中,与周边地块特别是耕地不能有效衔接;通过时间跨度来看,近几年耕地面积减少数量较 2014 年以前有明显下降,说明有关部门对耕地保护的意识有明显提高。

耕地动态变化受诸多因素影响,如城镇建设、退耕还林、土地综合整治、高标准农田建设等,同时也受国家实时政策的影响,通过研究发现,2014—2017 年耕地转移数量明显低于 2010—2014 年,这与国家制定的一系列耕地保护政策以及地方产业结构升级调整是密不可分的。同时随着经济的持续发展,建设用地已逐渐完成从“增量”到“存量”的转换,经济的发展不再依赖于大片土地的占有,特别是对耕地的占用。随着《土地管理法》(2019 年修订)的实施以及对“永久基本农田”的特殊保护,包括地方在编制国土空间总体规划时,也必然将耕地保护与粮食安全作为重中之重,唯有这样,耕地资源才能可持续利用,社会经济也才能可持

续发展。

## 参考文献

- [1] 刘彦随, 陈百明. 中国可持续发展问题与土地利用/覆被变化研究[J]. 地理研究, 2002, 21(3): 324-330.
- [2] 谭莉梅, 李红军, 刘慧涛, 等. 河北省太行山区域耕地资源空间分布特征研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 872-875.
- [3] 郭丽英, 李刚. 环渤海地区城镇化进程中耕地面积及其重心转移格局分析[J]. 中国农业资源与区划, 2013, 34(4): 32-36.
- [4] 王晓文, 田秉涛, 李娟, 等. 1985—2010 年福建省耕地重心时空变化研究[J]. 亚热带资源与环境学报, 2014, 9(2): 1-9.
- [5] 陈学渊, 唐华俊, 吴永常, 等. 耕地格局时空动态变化过程和差异分析: 以浙江安吉为例[J]. 中国农业科学, 2015, 48(21): 4302-4313.
- [6] 何文莉, 刘木生, 郭秋忠, 等. 基于遥感数据的江西赣州耕地时空分布与动态变化分析[J]. 江西科学, 2012, 30(6): 769-774, 783.
- [7] 徐同高, 董文涛, 韦大山, 等. 宣州区生态环境敏感性评价[J]. 北方环境, 2011(10): 18-21.
- [8] 李威, 陈杰, 李璐, 等. 1980—2015 年长江流域土地利用变化分析[J]. 人民长江, 2020, 51(2): 49-57.
- [9] 刘盛和, 何书金. 土地利用动态变化的空间分析测算模型[J]. 自然资源学报, 2002, 17(5): 533-540.
- [10] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 643-650.
- [11] 史小祺. 基于显性形态和隐性形态的耕地系统转型研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2019.