

# 华安新圩百年坪山柚生态园区土壤调查及改良方案

黄静, 林勇文, 黄慧珍, 蓝志福, 黄宝华, 王水琦, 甘勇辉, 苏漳文 (漳州职业技术学院食品工程学院, 福建漳州 363000)

**摘要** 福建华安百年坪山柚生态园内的柚树是当地重点保护树种资源, 通过对柚山园区土壤进行调查、检测发现问题, 并根据调查结果制定出相应的土壤改良方案, 以此增强树势, 改善果实的品质, 推进百年生态柚园的生态保护。

**关键词** 百年坪山柚生态园; 土壤调查; 土壤改良; 生态保护

中图分类号 S156 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)23-0080-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.23.022

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

## Soil Investigation and Improvement Plan of Century-old Pingshan Pomelo Ecological Park in Hua'an Xinxu

HUANG Jing, LIN Yong-wen, HUANG Hui-zhen et al (College of Food Engineering, Zhangzhou Institute of Technology, Zhangzhou, Fujian 363000)

**Abstract** The pomelo trees in the century-old Pingshan pomelo ecological park in Hua'an County of Fujian Province are the local key protected pomelo species resources. The corresponding soil improvement scheme was formulated through the investigation and detection results of the soil in the century-old Pingshan pomelo ecological park, so as to enhance the tree potential, improve the fruit quality and promote the ecological protection of the century-old ecological pomelo garden.

**Key words** Century-old Pingshan pomelo ecological park; Soil investigation; Soil improvement; Ecological protection

百年坪山柚生态园所属福建漳州华安境内, 坪山柚是世界名柚之一, 该柚种发源地在黄枣村, 后由村民经野生柚引种培育、改良而成, 该品种的柚果大、皮薄、肉厚、汁多、味甜, 果皮橙黄色, 内核及果肉均粉红色、无籽、储藏期可超4个月, 是其他品种的柚果所不能相比的。因此, 为响应国家号召, 顺利进行百年生态柚园的生态保护, 创建一个绿色食品的生态环境<sup>[1]</sup>, 对柚园开展土壤调查工作, 并在调查的基础上对其土壤产生的问题提出改良方案。

## 1 土壤调查

**1.1 调查目的** 通过对华安新圩百年坪山柚生态园进行前期调查及土壤采样分析<sup>[2]</sup>, 初步掌握当地土壤情况, 为今后的土壤改良提供有效的数据, 推进百年生态柚园的生态保护。

**1.2 调查范围** 此次调查范围为坪山柚生态园区, 其中重点调查编号坪山柚种植区域。

**1.3 土壤采样** 此次对柚园设置采样点6个。其中5个土壤采样点分别为果园内东区、南区、西区、北区和中心区, 采用5点打孔法钻孔取样, 每个钻孔设定取样深度均为30 cm, 取心土<sup>[3]</sup>, 第6个采样点采用果园内随机混合土样。采样中发现土壤可耕层为25 cm左右。

## 1.4 土壤分析检测

**1.4.1 检测方法。** 该研究所有土壤样品检测工作均由漳州市农业检验检测中心完成, 实验室具有“实验室认可”(CNAS)和“计量资质认定证书”(CMA)认证资质。此次送样检测项目包括NY/T 391—2013(绿色食品土壤标准)、微量元素(有效锌、有效铁、有效锰、有效硼)及交换性钙和交换性镁。

**1.4.2 土壤检测结果。** 此次采集园区东、南、西、北、中心点及混合土样6个土壤样品进行检测, 测定pH、砷、镉、铬、铜、铅、汞、有机质、全氮、有效磷、速效钾、阳离子交换量、交换性钙、交换性镁、微量元素(有效锌、有效铁、有效锰、有效硼)等项目。检测结果如表1所示。

根据漳州市农业检验检测中心/福建省农产品质量安全检验检测中心(漳州)分中心出具的检测报告显示, 6个标本检测结果中砷、镉、铬、铜、铅、汞的含量均符合规范标准; pH在3.75~4.29, 均属强酸性土壤。其中, 园区东边土样pH更低至3.75; 有机质含量在1.8~3.2 g/kg, 其中园区西边土样含量最低; 全氮含量在1.02~1.31 g/kg, 其中园区西边土样最低; 有效磷含量在54.2~88.4 mg/kg, 其中园区西边土样最低; 速效钾含量在82~196 mg/kg, 其中园区西边土样最低; 阳离子交换量在18.8~24.9 cmol(+)/kg, 其中园区西边土样最低; 交换性钙含量在206.6~492.1 mg/kg, 其中园区西边土样最低; 交换性镁含量在64.6~131.1 mg/kg, 其中园区西边土样最低; 有效锌含量在2.84~4.17 mg/kg, 其中园区东边土样最低; 有效铁含量在92.8~192.0 mg/kg, 其中园区北边土样最低; 有效锰含量在37.0~80.8 mg/kg, 其中园区西边土样最低; 有效硼含量在0.310~1.110 mg/kg, 其中园区北边土样最低。以上数据可大致判断园区西边土样土壤肥力最差。

根据土壤肥力指标检测标准可知, pH<4.5, 属强酸性<sup>[4]</sup>; 有机质含量<6 g/kg, 属6级标准; 全氮含量在1.0~1.5 g/kg, 属3级标准; 有效磷含量>40 mg/kg, 属1级标准; 速效钾含量在80~200 mg/kg, 属2~3级标准; 交换性钙含量<300或300~500 mg/kg, 属4~5级标准; 交换性镁含量在50~200 mg/kg, 属2~3级标准; 有效锌含量>2.50 mg/kg, 属5级标准; 有效铁含量>20 mg/kg, 属5级标准; 有效锰含量>30 mg/kg, 属5级标准; 有效硼含量在0.2~2.0 mg/kg, 属2~4级标准。结果表明该柚园各区域土壤肥力不均衡。

此次调查共设计土壤检测6处, 根据土壤采样器钻孔所

**基金项目** 2019年福建省教育厅中青年课题(JAT191411); 2021年漳州职业技术学院技能大师工作室项目(漳职院人[2021]21号)。  
**作者简介** 黄静(1981—), 女, 福建漳州人, 讲师, 硕士, 从事植物应用研究。  
**收稿日期** 2021-07-28; **修回日期** 2021-08-04

揭露岩石的埋藏分布特征及物理性状异同,可以看出百年坪山柚的土壤以红壤为主,pH 呈强酸性,同时所处地为山地,土层厚度在 15~20 cm,多为砂质黏性土;主要为褐红色,局部灰白-褐黄色,呈可塑-硬塑状,土壤贫瘠。根据坪山柚要

求土壤肥沃、有机质含量高、pH 在 6.0~7.0、土层厚度 $\geq$ 60 cm 等特点,为了保护坪山柚的生长,坪山柚生态园区的土壤改良迫在眉睫。

表 1 百年坪山柚生态园区土壤调查检测结果

Table 1 Results of soil survey and testing in the century-old Pingshan pomelo ecological park

园区测量点 Park measuring point	pH	有机质 OM g/kg	全氮 TN g/kg	有效磷 Available phosphorus mg/kg	速效钾 Rapidly available potassium mg/kg	阳离子 交换量 CEC cmol(+)/kg	交换性钙 Exchang- eable calcium mg/kg	交换性镁 Exchang- eable magnesium mg/kg	有效锌 DTPA-Zn mg/kg	有效铁 DTPA-Fe mg/kg	有效锰 DTPA-Mn mg/kg	有效硼 DTPA-B mg/kg	总镉、总汞、 总铬、总砷、 总铅、总铜 Cd, Hg, Cr, As, Pb, Cu
东区 East area	3.75	1.9	1.24	87.2	196	24.9	218.4	65.2	2.84	129.0	61.3	1.110	合格
西区 West area	4.24	1.8	1.02	54.2	82	18.8	206.6	64.6	3.36	125.0	37.0	0.885	合格
南区 South area	4.29	2.1	1.31	80.0	159	20.0	270.1	65.6	2.94	112.0	51.6	0.323	合格
北区 North area	4.28	3.2	1.28	73.6	159	22.2	492.1	131.1	3.88	92.8	74.2	0.310	合格
中心点 Central point	4.24	2.6	1.13	88.4	163	20.1	325.1	91.9	4.17	192.0	80.8	0.520	合格
混合点 Mixing point	4.18	2.3	1.18	82.2	160	19.2	285.9	81.4	3.46	137.0	58.7	0.882	合格

## 2 生态柚园土壤退化原因

坪山柚树势较直立,对土壤、肥分、环境、种植技术等要求较高,不注重科学土、肥、水管理,会导致产量低及果肉木质化现象严重。果肉木质化主要源自土壤 pH 过低,果园管理者不注重施用有机肥,片面追施化肥,氮磷钾比例不合理,且不合理施用激素,土壤有机质过低、通透性差、保水保肥能力下降,极易造成坪山柚缺各种元素。此外,整形修剪不及时合理、滥用除草剂、过早采收等,也是木质化的成因。木质化的形成,严重影响坪山柚的品质。

根据土壤检测结果及土壤肥力指标显示<sup>[5]</sup>,该园区土壤 pH 呈强酸性,有机质含量较低,大量元素氮、磷、钾含量虽然含量较高,但受到土壤 pH 强酸性及施用除草剂的影响,不能被植物利用吸收,大量积累在土壤中<sup>[6]</sup>。其他元素的含量较低,特别是微量元素,更是严重不足,属于分级最后一级。该地块存在的问题是土质黏重、棱块结构、透气透水性差、耕层浅薄、耕性不良、养分贫瘠、易旱易涝、底土裸露,有机质及各种养分含量低甚至极低,pH 极低。土壤有益微生物数量减少,活性降低,养分转化慢,除草剂的使用导致土壤中蚯蚓和大量微生物的死亡,从而使未腐熟的农家肥无法被分解利用。树体大多表现为生长弱、生长慢、结果晚、产量低、品质不佳等。这样的土壤严重影响百年柚树的生长,导致产量和品质逐年下降。因此有必要进行该地块的土壤改良。

**2.1 土壤 pH 过低** 土壤 pH 过低,对土壤肥力会产生重大影响。首先,会使土壤养分的有效性降低;土壤中磷的有效性明显受酸碱性的影响,在 pH 低于 6 时,磷酸和钙或铁、铝形成迟效态,使有效性降低;钙、镁和钾在酸性土壤中易代换也易淋失;镉在强酸性土壤中与游离铁、铝生成的沉淀,可降低有效性。其次,不利于土壤的良性发育,破坏土壤结构。强酸性土壤中 H<sup>+</sup> 和 Na<sup>+</sup> 较多,缺少 Ca<sup>2+</sup>,难以形成良好的土壤结构,不利于作物生长。再次,不利土壤微生物的活动。土壤微生物一般最适宜的 pH 是 6.5~7.5。过酸会严重抑制

土壤微生物的活动,从而影响氮素及其他养分的转化和供应。最后,pH 过低不利于作物的生长发育。一般作物在中性或近中性土壤生长最适宜。

**2.2 耕作不当** 长期不深耕造成土壤耕作层变浅,灭生性除草剂的过量使用导致土壤中蚯蚓及大量微生物死亡,土壤中有有机质无法分解释放,除草剂中的降解产物磷酸根易与土壤中的营养元素等结合,导致各种元素的有效性降低,最终造成土壤板结。灌溉失调造成旱、涝以及水土流失,上述不当的耕作管理都可导致耕层土壤理化性状变差。

**2.3 施肥不当** 为了获取高产或者追求经济收入,该地块采取偏施氮素无机肥,轻视了果园以增施有机肥为主要措施的改土培肥的基础工作和合理科学施肥的重要性<sup>[7]</sup>,导致长期以来果园土壤肥力得不到提高,甚至下降。盲目大量使用单一化肥引起肥害及土壤营养失调;掠夺式营养管理导致土壤严重缺乏中微量元素;钙、镁缺乏导致土壤酸化;有毒物质累积<sup>[8]</sup>。

**2.4 土壤有机质缺乏或过量** 土壤有机质缺乏会导致土壤结构变差,肥力降低<sup>[9]</sup>。盲目使用农家肥导致有机质矿化,微生物呼吸消耗土壤中大量的氧气,产生过量的还原性物质以及有机酸、醇、硫化氢、乙烯、二氧化碳有害物质,从而造成土壤缺氧,激发有害生物的生长。农药的过量使用会导致土壤退化,农家肥及河泥淤泥的错误使用也会导致土壤的退化。

## 3 坪山柚生态园区土壤改良方案

坪山柚生态园区由于土壤 pH 过低、多年耕作不当、施肥不当、土壤有机质含量缺乏等原因,造成土壤退化,引起土壤耕层浅、结构不良、肥力低、有机质含量少、酸碱度偏酸、土壤板结,导致柚树根系生长不良、抗逆性减弱、病害多发、树势衰弱、植株矮小或不能生长、叶片黄化、果实畸形、风味不良等,甚至影响食用安全,严重影响坪山柚的产量和品质。

适合坪山柚树生长的离地条件是:土壤质地为砂壤至轻壤土,pH 在 6.0~7.0,有机质含量应在 2%以上,根系土壤的

熟化层应在40~60 cm,且土壤呈水稳性或者非水稳性的团粒结构,无盐碱危害,不含有害的重金属元素(如铅、汞等)。

为了保护稀缺的坪山柚原始品种,种出真正的绿色食品,针对坪山柚生态园区土壤存在的具体问题,及早采取改变不良耕作习惯,对柚园土壤进行工程整治,增厚土层,采用以下有效措施进行土壤改良,尽快恢复土壤肥力,确保百年柚树的健康生长。

**3.1 工程改土,加深耕作层** 对于生态园区内的缓坡平地的工程改造主要是道路建设和排灌渠系建设<sup>[10]</sup>,对于土壤的工程改造主要是对种植坑土壤的改良,可挖长、宽、深40~60 cm的种植坑,也可开宽、深40~60 cm的种植沟,坑中加入有机肥改土。

**3.2 园内改土,改良土壤结构** 该生态园区土壤结构性差的重黏土和砂砾土,特点是土质黏重、透气性差、易板结、土温回升慢、保水保肥能力强。黏土的改良主要是深耕,增施有机肥<sup>[11]</sup>。雨水多的黏土园要依地形挖40~60 cm深的围沟和园内排水沟,以便于排除土壤积水,并可进行“客土掺和”,即重黏土掺砂土,重砂土掺黏土,砂砾土除去大砾石掺塘泥或黏土,再重施有机肥,进行合理间作,就可慢慢改良成结构性良好的土壤。

施用有机肥会增加土壤有机质,提高土壤微生物活性,改良土壤结构,激发坪山柚树根系活力,为坪山柚树提供全面养分。有机质是土壤中特有的有机体。有机质含量多少是判断土壤肥力的重要标志,也是保证坪山柚树生长良好的重要条件。我国果园的有机质含量一般只有1%左右,按多数坪山柚树的需要应以3%~5%为宜。所以提高和保持土壤有机质含量非常必要,提高土壤有机质的方法为施足基肥,即增施有机肥,并种植翻压绿肥植物<sup>[7]</sup>。

微生物有机菌肥以腐殖质为主,内含大量的有益菌,可改良质地黏重、容易板结土壤和盐碱土的不良性状,在黄褐土中,能促使团粒结构形成,调整固、液、气三相比,使土壤疏松,增大孔隙度,降低容重,促进微生物活动,保水保肥性提高<sup>[12]</sup>;活化、络合、螯合土壤中养分,并可解磷保氮,减少化肥用量,提高化肥利用率<sup>[13]</sup>;同时可以促进根系快速发育,增强吸收水分和养分的能力。这种方法与传统措施相比,使用方法更方便快捷,更能加速生土熟化的过程,与传统措施搭配进行综合改良,能从根本上改变土壤性状,增加土壤有机质与养分含量,解决土壤板结问题,还可以优化果园土壤微生物种群,增加有益微生物数量,抑制致病微生物繁殖,有些菌群还会提高土壤矿质养分元素的有效性<sup>[14]</sup>。

**3.3 穴坑微改** 对于山地、坡地等高植株地块的果园,宜采用“扩穴法”,其具体做法如下:①在树冠外围垂直向下的地面开环状沟,沟宽一般为35~40 cm,沟深为40~50 cm或更深(视开沟难易程度而定)。②在沟底施入微生物有机肥约80 kg/株,促使坪山柚树新根环绕在穴坑壁边生长,使坑壁成为肥料吸收最好的地方,提高对钙磷钾铁硒肥的吸收利用率,壮树壮果。在坡度较大、运肥有困难的果园,可采取就地取材,施入坪山柚树或其他林木的枯枝、落叶等(若来源数量

有限,可分期分批逐年完成)。③在其上撒施无机氮磷钾(按1:1:1实物重量比)、石灰0.25~0.50 kg/株或三元复合肥0.5~1.0 kg/株,然后覆土填平。对成年坪山柚树,一般由内向外扩穴,覆盖地膜,浇灌肥水保墒。穴坑填满后可开挖新的穴坑,这样轮流挖坑,最终可将树盘下的土壤全面改造。

**3.4 深翻施肥改土** 深翻、中耕可以切断土壤毛细管,增加土壤孔隙和蓄水量,减少水分蒸发,提高土壤透气性,防止土壤过湿造成的缺氧。深翻切断老根可促进新根萌发,实现根系更新<sup>[15]</sup>。

对于平整地块的果园的深翻施肥改土的方法叫“抽槽法”,部位是坪山柚树行间(即两行坪山柚树之间的空地)。具体做法如下:①沿每行坪山柚树营养带外侧边缘,挖开一条与每行坪山柚树等长的条状沟,沟宽一般为50~60 cm,沟深为60~80 cm,或更深。②采用机械开沟,可省工省时。上部耕作层熟化土和底层土壤分开各放于沟的一侧,然后于沟底平放一层农作物秸秆或枯枝落叶杂草等,使堆放的自然高度在30 cm左右。③在其上撒施钙镁磷肥,用量为1.0~1.5 kg/株。将所挖的表层土壤回填25~30 cm厚度。④在其上撒施腐熟的有机肥,其上再撒施磷、钾肥,用量1.0~1.5 kg/株,钾肥0.5~1.0 kg/株。⑤将所有挖出的余土全部回填,耙平,浇透水1次。⑥第2年、第3年仍照此法开沟施肥、浇水,直至坪山柚树行间全部深翻施肥改土完毕为止。因工作量大,实际生产中一般分3~4年完成。

为不影响坪山柚树生产的正常管理,一般施肥时期定在果实采收后的晚秋至冬季进行。对于进入盛果期的坪山柚树,直至其衰老、更新为止,只需进行1次。这与坪山柚树每年秋施基肥,在目的、作用、深度、施肥种类等均有所不同。

**3.5 根际改土** 根际土壤是指植物根系对土壤理化、生物性状产生显著影响的特殊根区土壤,根际范围从几毫米到几厘米,一般是指根表面1 cm以内的土壤。根际土壤有较多的有机质和微生物,有较好的结构和较多的养分。根际有机质矿化、腐化过程中会产生醇、酸、烃等复杂多样的有机物,经根际微生物转化和根系吸收,有些会成为果实的特殊风味物质,让果实具有特别口感。根际有机质矿化时会产生乙烯,在低浓度时促进果实成熟,使果实色好、早熟,风味更佳。在果园土壤管理上,要尽量让根系充满土壤,在坪山柚树根系未达到的地方,用生草、种植绿肥、间作等措施让土不离根,以保持土壤活力。其中,最重要的就是增施微生物有机肥和种植深根绿肥作物,逐步达到熟化土壤<sup>[15]</sup>。

具体生土熟化的实施步骤如下:①果园使用保水剂和土壤改良剂,土壤调理剂可依土改良,对园区强酸性土壤可施用生石灰,每年施750~1 500 kg/hm<sup>2</sup>,也可每年施草木灰3 000 kg/hm<sup>2</sup>,结合pH检测仪检测、调节,直至土壤恢复正常pH。②株施优质微生物有机肥20 kg,撒施在地面。③在根系周围耙耱2~3次,达到地面平整、土块细碎、土肥相融。④3月初,抢种绿肥植物大豆,并充分浇水。待大豆开花时割除地上部分,并覆盖于坪山柚树根茎部。地下部分留下根系继续固氮作用。⑤立即停止使用除草剂。坪山柚的叶梢与根

系相连,只有健康的根系才能保证树势,减轻除草剂隐性药害。可以使用含腐殖酸、海藻酸的水溶性肥,200~300倍对水后淋施,每10d一次,淋2~3次。果园种草能控制其他杂草的生长,同时能预防果园水土流失,调节土壤水分和温度,提高果园土壤有机质含量,为果树创造良好的生态环境。因此,通过果园种草的方法代替果园使用除草剂的措施,不仅能消除果树产生除草剂药害的弊端,而且能给果园带来良好的生态效益和经济效益。

**3.5 园地土壤中微量元素缺乏的补充** 坪山柚树属多年生乔木植物,常年连作容易造成土壤养分的偏耗,特别是硼、锌、铁等微量元素,由此引发的缺乏症越来越严重,大大影响了坪山柚树的生长发育,产量减少、品质下降。目前果树施肥最普遍存在的问题是重视氮、磷、钾元素的施用,而忽视中、微量元素的供给。检测结果表明园区土壤中微量元素锌、铁、锰含量很高,而植株本身却出现严重的缺素现象,该问题出现在园区土壤pH普遍过低,导致植物的根系对锌、铁、锰的有效吸收利用率大大降低,土壤pH恢复到正常值后,该问题将会迎刃而解。

通过以上培肥措施的综合运用,可使该园区土壤在较短的时间内肥力水平得以恢复和提高,土壤pH上升到6.5左右,土壤速效氮达到30~40 mg/kg,速效磷5~7 mg/kg,土壤有机质7 g/kg左右,土壤中钙镁含量增加,土壤中微量元素含量增加。结构改善,孔隙度有所增加,容重减低,土壤有效微生物数量增强,活性增强,养分转化吸收快,有效减少土壤

中重金属的含量,有利于坪山柚树的生长,最终达到土壤改良的目的。

### 参考文献

- [1] 陈新平. 绿色可持续是我国果业的发展方向——果业名词“绿色发展”解读[J]. 果农之友, 2020(1): 25-26.
  - [2] 曹晓晖, 蒋红丽, 何婧, 等. 陇县某果园土壤养分分析[J]. 绿色科技, 2021, 23(7): 55-57.
  - [3] 钱开胜. 广西: 南宁柑桔园酸化土壤改良科研项目取得进展[J]. 中国果业信息, 2019, 36(3): 43.
  - [4] 邱婷, 张屹, 肖姬玲, 等. 土壤酸化及酸性土壤改良技术研究进展[J]. 湖南农业科学, 2016(10): 114-117, 121.
  - [5] 徐小迪, 周宇涵, 石其宇, 等. 果园土壤培肥技术研究现状[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(7): 119-121, 135.
  - [6] 孙瑶, 马金昭, 傅国海, 等. 土壤调理剂和生草互作对果园酸化土壤化学性质及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(2): 61-68.
  - [7] 张宇. 绿肥在生态果园建设中的应用[J]. 乡村科技, 2021, 12(4): 97-98.
  - [8] 文星, 李明德, 吴海勇, 等. 土壤改良剂对酸性水稻土 pH 值、交换性钙镁及有效磷的影响[J]. 农业现代化研究, 2014, 35(5): 618-623.
  - [9] 彭玉娇, 崔学宇, 秦杰文, 等. 不同有机肥对沙田柚果园土壤细菌群落结构的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2021(3): 15-22.
  - [10] 杨凯, 刘红梅, 肖正午, 等. 土壤改良剂及其在各种土壤改良应用的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(21): 39-41.
  - [11] 汪瑞清, 肖运萍, 魏林根, 等. 土壤改良剂对红壤性低产地的应用效果比较研究[J]. 江西农业学报, 2011, 23(3): 75-77, 81.
  - [12] 李连智, 韩琳. 土壤改良剂的研究与应用进展[J]. 江西农业, 2019(14): 24.
  - [13] 李赞, 刘迪, 范如芹, 等. 土壤改良剂的研究进展[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(10): 63-69.
  - [14] 柴小粉, 杨雅菲, 张杰, 等. 有机肥施用量和树龄差异对苹果园土壤真菌群落的影响[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(5): 38-46.
  - [15] 张瑞清, 杨剑超, 孙晓, 等. 两种生物炭对果园酸化土壤改良效果的研究[J]. 山东农业科学, 2016, 48(2): 74-79.
- (上接第79页)
- (2) 从空间格局变化的转移矩阵中可看出, 2010—2020年间建设用地与水体面积转入量明显大于转出量, 其中建设用地转入492.73 km<sup>2</sup>, 转出9.65 km<sup>2</sup>; 水体转入41.12 km<sup>2</sup>, 转出2.92 km<sup>2</sup>. 耕地与林地变化面积不大, 均为转入量大于转出量的地块, 其中耕地转入111.96 km<sup>2</sup>, 转出107.92 km<sup>2</sup>; 林地转入11.00 km<sup>2</sup>, 转出7.11 km<sup>2</sup>. 未利用地与草地均为转出量大于转入量的用地类型, 其中未利用地转入8.63 km<sup>2</sup>, 转出513.76 km<sup>2</sup>; 草地转入139.08 km<sup>2</sup>, 转出162.36 km<sup>2</sup>. 在2010—2020年期间, 各地类变化幅度与变化率相对比较稳定, 变化率与变化幅度相对较大的是建设用地与水体, 变化幅度为148.79%、18.86%, 年均变化率为14.88%、1.89%。
  - (3) 在哈密市生态红线、基本农田保护区、城镇开发边界的约束下, CA-Markov模型在该次土地利用类型模拟预测中精度为0.8134, 可以较准确的对未来土地利用的空间分布与数量范围进行模拟预测, 耕地、林地、草地、水体、建设用地面积增加, 分别增至1 819.28、497.55、27 812.01、284.03、1 019.31 km<sup>2</sup>, 未利用地长期呈减少趋势, 2025年预测面积为105 786.59 km<sup>2</sup>.
- 参考文献**
- [1] TURNER B L II, MEYER W B, SKOLE D L, 等. 全球土地利用与土地覆被变化: 进行综合研究[J]. AMBIO-人类环境杂志, 1994, 23(1): 91-95.
  - [2] 姚鲁峰. CNC-IGBP、CNC-WCRP、CNC-IHDP、CNC-DIVERSITAS 和 WDC-China 2006 年联合学术大会在北京召开[J]. 地理学报, 2007, 62(3): 224.
  - [3] 姜海林, 杨志刚. 基于地理国情普查数据的土地利用变化分析: 以东莞市为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2017, 40(8): 156-158, 161.
  - [4] 廖伟华, 聂鑫, 蒋卫国. 基于序列模式的土地利用变化分析: 以广西壮族自治区为例[J]. 自然资源学报, 2020, 35(5): 1160-1171.
  - [5] 炊雯. 基于 CA-Markov 模型的长安区土地利用景观格局变化分析与模拟[D]. 西安: 长江大学, 2015.
  - [6] 孙艳征, 丁超. 保定市土地利用变化及驱动力分析[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(9): 321-324.
  - [7] 郝景莹. 哈尔滨市土地利用动态变化模拟研究[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2019, 35(1): 105-110.
  - [8] 范泽孟, 李赛博. 新亚欧大陆桥经济走廊土地覆被变化及驱动力分析[J]. 生态学报, 2019, 39(14): 5015-5027.
  - [9] 杨国清, 刘耀林, 吴志峰. 基于 CA-Markov 模型的土地利用格局变化研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2007, 32(5): 414-418.
  - [10] SANG L L, ZHANG C, YANG J Y, et al. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model[J]. Mathematical & computer modelling, 2011, 54(3/4): 938-943.
  - [11] 杨春霞, 郑华, 欧阳志云. 三江平原土地利用变化、效应与驱动力[J]. 环境保护科学, 2020, 46(5): 99-104.
  - [12] 刘彬, 吴杨. 近 58 年来哈密气候变化特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2020, 9(2): 85-92.
  - [13] 喻怀义, 俞龙生, 李志琴, 等. 广州市番禺区土地利用/覆被动态及其驱动力研究[J]. 生态科学, 2011, 30(4): 418-425.
  - [14] 冯永玖, 刘妙龙, 董小华, 等. 基于核主成分元胞模型的城市演化重建与预测[J]. 地理学报, 2010, 65(6): 665-675.