

# 土地复垦整理可行性研究中的土地适宜性评价

刘 静<sup>1</sup>, 李建学<sup>2</sup>

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062;

2. 乾县国土资源局, 陕西 乾县 713300)

**提 要:**根据陕西省乾县土地复垦整理项目区的自然和社会经济条件以及土地利用状况, 针对实施土地复垦整理后对土地质量所造成的影响, 选取自然条件和农田基本建设两大基本因素建立评价指标体系, 结合多因素综合评判法与标准地块法对项目区土地复垦整理实施后的土地适宜性进行评价。

**关键词:**土地复垦整理; 可行性研究; 土地适宜性; 土地评价; 多因素综合评判; 标准地块

生存与发展是人类从历史走向未来的永恒主题。土地资源是人类赖以生存和发展的基础, 而土地资源供给的有限性与土地资源需求的无限性这一矛盾制约着人类的生存和发展。土地资源的可持续利用是当今人类面临的重大课题, 它是解决土地资源供给的有限性与土地资源需求的无限性这一矛盾的有利手段及保障人类生存和发展的前提条件。土地复垦整理是土地资源可持续利用的重要措施之一。

土地复垦<sup>[1]</sup>是指采用工程、生物等措施, 对在生产建设过程中因挖损、塌陷、压占造成破坏、废弃的土地进行整治, 使其恢复到可利用状态的活动; 土地整理<sup>[1]</sup>是指采用工程、生物措施, 对田水路林村进行综合整治, 增加有效耕地面积, 提高土地质量和利用效率, 改善生产生活条件和生态环境的活动。通过土地复垦整理能增加有效耕地面积, 实现耕地总量动态平衡, 提高土地质量、促进土地集约化利用。土地复垦整理对于缓解人地矛盾, 改善农业生产条件和生态环境, 促进农村现代化建设和经济发展具有极其重要的意义。

土地复垦整理项目可行性研究中的土地适宜性评价主要是根据土地复垦整理项目区土地自然属性和经济属性, 从土地利用的要求出发, 全面衡量复垦整理前某种用途土地的适宜性及适宜程度。土地适宜性评价在土地复垦整理可行性研究的实施中有重要意义: 一是可以确定项目区土地适宜利用的类型, 即土地能生产什么, 适宜什么用途, 为科学调整用地结构提供科学依据。二是对未利用土地进行适宜性评价, 其评价结果是进行土地潜力分析的基础和前提, 为合理复垦未利用土地提供依据<sup>[2]</sup>。三是土地适宜性评价能有效

的验证土地复垦整理的可行性和必要性, 为下一步的土地复垦整理提供保障。

## 1 项目区概况

陕西省咸阳市乾县土地复垦整理项目区位于陕西省关中盆地中段北测, 北纬 34°19'36"~34°45'05", 东经 108°00'13"~108°24'18"之间, 属于渭北黄土高原南缘。由于地处鄂尔多斯地台南缘与渭河断裂盆地的结合部, 形成南部黄土台塬、中部带状平原、北部丘陵沟壑三个地形地貌, 地势北高南低。总面积 1 004 km<sup>2</sup>。耕地 6.88 万 hm<sup>2</sup>。北部浅山丘陵沟壑区面积 476 km<sup>2</sup>, 海拔 700~1 470 m; 中部山前洪积平原区面积 323.5 km<sup>2</sup>, 海拔 550~700 m; 南部黄土台塬区面积 194.5 km<sup>2</sup>, 海拔 530~620 m。东邻礼泉, 西接扶风、麟游, 南连兴平、武功, 北临永寿。项目区属暖温带大陆性季风气候, 气候温和, 四季分明, 年平均气温 13.1℃, 无霜期为 224 d, 年平均降雨量 573~590 mm, 主要集中在夏季, 7~9 月份的降水量占全年降水量的 50% 以上。

随着几个大型招商引资项目在乾县的开工建设, 以及武(武汉)银(银川)高速公路乾县段和西(西安)凉(平凉)铁路的准备开工建设, 乾县的经济的发展迎来了千载难逢的发展机遇, 但这些大建设项目的开工, 也意味着对耕地的占用进一步加大, 要实现耕地总量动态平衡的难度相应增加, 为了贯彻“十分珍惜、合理利用土地和切实保护耕地”的基本国策, 实现土地的占补平衡, 乾县开展了一系列的土地复垦整理工作。

咸阳市投资土地复垦整理项目乾县薛录镇土地复垦整理重点项目区位于乾县薛录镇, 北纬

34°19'30"~34°25'30",东经 108°20'15"~108°23'15"之间,属于黄土高原地带,地形平坦。北临宝鸡峡西干渠,南过宝鸡峡东干渠,东与礼泉县为邻,西边仍以本村集体土地为界。由于以复垦整理旧村庄宅基地为主,所以本项目区土地被分割成三个村四小片,片与片间都由本村土地所隔开。因地处宝鸡峡灌区东、西干渠之间,地势较周边略低,有利于雨水和地下水汇集,在灌溉后期、在霖雨时期,地下水位大幅度上升,地表低洼处容易积水,常常造成墙倒屋塌等危害。遭此情况,当地政府统一安排该村村民逐步迁移到地势略高的地方,使原来的旧宅基地基本废弃,旧村、旧街的土地支离破碎、坑凹不平,没有得到合理利用。同时,新村建设又占用大量耕地,使村里人多地少的矛盾更加突出。

该项目涉及乾县薛录镇的薛梅村、薛宅村、东小章村三个行政村,项目区交通便利,东北距“312”国道 8km,北距“战备路”4km,西距乾兴路 1.5km。项目区属暖温带大陆性季风气候,气候温和,四季分明,年平均气温 13.1℃,无霜期为 224d,年平均降雨量 573~590mm,主要集中在夏季,7~9 月份的降水量占全年降水量的 50%以上。

通过项目的实施,对区内的空闲宅基地、废旧窑场、村镇建设用地等进行复垦,对园地和水田加以整理,同时对田、水、路、林、村进行综合治理,使得居民点及工矿用地大幅度减少,耕地面积明显增加,土地利用结构得到改善,从而提高了土地资源的利用率和产出率。

## 2 土地利用现状和规划目标

### 2.1 土地利用结构

项目区总面积 105hm<sup>2</sup>,其中耕地 28.8hm<sup>2</sup>,占 28%;园地 2.87hm<sup>2</sup>,占 3%;交通用地 3hm<sup>2</sup>,占 3%;废弃宅基地及窑厂 69.3hm<sup>2</sup>,占 66%。

### 2.2 项目区土地利用中存在的问题

2.2.1 土地利用率低 废弃宅基地及窑厂 69.3hm<sup>2</sup>,占 66%,耕地仅为总土地的 28%。可见,废弃宅基地及窑场急待复垦利用。

2.2.2 基础设施老化不足,不能满足农业生产的需要 区内斗以下渠道大部分没有防渗衬砌,弯曲不平,也不注意维修,杂草丛生,渗漏严重,跑水损失大。仅有的机井也已废弃。项目区内有一部分配套田间路和农村道路,但未经合理规划,路面宽窄不等,且多为土路,不能满足机械化作业要求。

2.2.3 重用轻养,经营粗放 农民在贫瘠的土地

上广种薄收,实行粗放经营和掠夺性经营,不注重对土地的养护,致使土地生产能力越来越低,土地退化现象严重。

### 2.3 规划目标

(1)复垦三村废旧宅基地,合理布局田路林井渠电等农业基础设施,以达到增加耕地,改善和提高农业生产条件的目的。

(2)搞好渠系配套和防渗衬砌,实行沟灌和小畦灌,提高水源利用率,降低灌溉成本。

(3)增加深井,开发利用地下水,实现渠井双灌,提高灌溉保证率。

## 3 数据来源与处理

数据源:项目区土地利用现状图(1:5000)、乾县土壤普查图(1:50万)、乾县坡度图(1:25万)、DEM(1:25万)及土壤报告、土地利用现状调查报告。

数据处理:将土地复垦整理中必需的图件,1:10000土地利用现状图、地形图等扫描,并进行屏幕矢量化输入到计算机中,作为参考底图,按照分析因子,数字化出各分析要素层。其中,坡度图和坡向图则通过建立数字地形模型(DTM)来获取。在 ArcInfo 软件支持下,首先对等高线、高程点等图层进行数字化和编辑,并建立拓扑关系;然后应用 TIN 模块建立数字高程模型,生成不规则三角网(TIN);最后在 TIN 中分别提取坡度图和坡向图。依据实际情况制定出各影响要素的缓冲值,进行 GIS 空间缓冲分析。将组合权重值赋到各缓冲图层中,实现空间信息与属性信息的连接,接着进行空间叠加分析。将权重值在空间位置上进行叠加,得出在整个研究区域内土地整理潜力的分布图,进行土地适宜性评价,并进行土地复垦整理规划的可行性研究。

## 4 评价单元与评价因素因子的确定

### 4.1 评价单元的划分

由于此项目的主要目的在于耕地的占补平衡,在进行补充耕地的土地复垦整理项目可行性设计中,要根据当地实际,在技术经济条件合理的情况下,要尽量适当提高补充耕地的等级,增大土地的适宜性。由于质量越好的土地适宜性越宽,评价根据就高不就低的原则,选取了新宅基地所占用的基本农田作为标准地块。通过分析比较得出预选地块与标准地块的关联度大小来进行土地适宜性评价,关联度越大,其补充的耕地质量越接近标准地块。评价单元是土地质量评价的基础空间,是划分项目区土地质量等级的基础。

项目区内同一土地利用类型,其质量比较均匀,而不同土地利用类型之间质量的差异较大,划分中以土地利用现状为基本评价单元。

#### 4.2 评价指标体系的建立

指标选取的原则<sup>[3]</sup>,结合土地复垦整理项目及陕西省乾县土地复垦项目的具体特点,评价指标的选取遵循以下原则:

(1) 完备性。指标体系能够全面反映土地开发整理项目实施前后土地的综合质量,从自然条件、农田基本建设因素、经济因素等多方面加以考虑。

(2) 可比性。影响因素的选择,应考虑它在项目区内部不同评价单元间存在差异或复垦前后发生变化,可以进行横向或纵向比较。

(3) 不可替代性。指标之间尽量避免包含关系,如果选取的因素之间关联性太大,会使某一因素对土地质量的影响作用重复计算,从而降低评价结果的准确度。

(4) 定性与定量相结合。定量指标具有明确的量级标准,评价因子尽可能量化,对于难以量化的因子,给予定性的描述。

(5) 可操作性。建立的评价指标体系尽可能简明,选取的指标充分考虑了各指标资料获取的可行性与可利用性,既要保证评价成果的质量又要保证可操作性强。

#### 4.3 评价因素因子的确定

影响土地质量的原因有①光照、温度和降水等气候指标;②灌溉、排水、道路、防护林等田间工程指标;③土层厚度、土壤质地、有机质和养分含量、pH 值、盐渍化程度、坡度,土壤污染等土壤指标。将以上因素确定为自然条件因素和农田基本建设因素。此外,由于土地复垦整理中投入的资

金和人力,土地复垦整理后的收入也应作为土地质量的考虑因素。所以自然条件、农田基本建设因素和经济因素显著地影响着土地质量的高低,决定着土地适宜的利用类型。同时根据土地复垦整理的特性,结合其他研究成果和专家意见,选取地质条件、水文条件、地形地貌、气候条件、交通条件、基础设施等(图 1) 作为土地复垦整理的参评因素。

乾县土地复垦整理项目主要目的在于实现耕地的占补平衡,复垦土地主要用做耕地,根据耕地对自然条件和农田基本建设条件的要求建立一套指标体系来评价该项目的土地适宜性。项目区复垦前后能使土地质量发生差异,是由于工程建设改变了原有的一些自然条件和改善了原有的耕地、园地的基本建设条件造成的,经济因素主要用来进行土地复垦整理后的经济效益,所以选取自然条件和农田基本建设两大基本因素建立了土地适宜性评价的指标体系。依照我们建立评价指标体系的原则以及乾县土地复垦整理项目的实际情况,选择 10 项对耕地影响较大的耕地适宜性评价因子,包括反映自然条件的指标 5 项,反映农田基本建设条件的指标 5 项,具体构成见表 2。由于各因素因子对耕地质量影响有明显的差异性,所以根据各因素因子的特征赋予不同因子不同的权重系数。根据各因素对土地复垦潜力的影响程度和已占有的各专业调查资料 and 实际经验以及乾县土地复垦项目的现实状况,采用特尔斐法<sup>[4]</sup>,邀请了专家和实地征询有经验的当地农民,给各因素分配权重,确定分值。将各因素依据影响程度分为三大类,即一级影响因子,二级影响因子,三级影响因子。

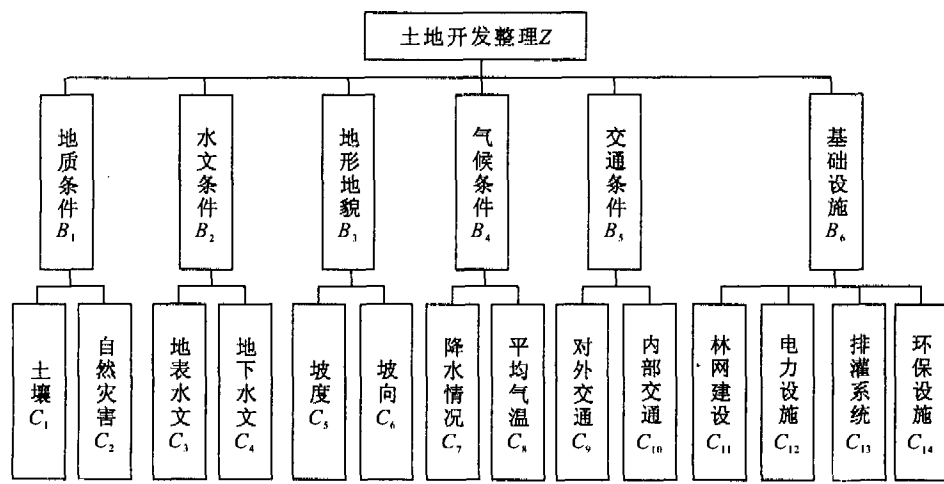


图 1 影响土地开发整理的因素

评价因子的作用分值采用 0~100 分的封闭区间体系,最优的条件取 100 分,相对最恶劣的条件取 0 分,其余条件的作用分值根据它对土地适宜性评价的影响程度给定(表 1)。评好关键分值,例如,项目区位于渭北台塬地带,年降水量在

573~590mm,所以在灌溉条件中没有灌溉设施,仅靠天然降水进行农业生产时,分值不宜太低。所以在项目区内排灌能完全保证评分为 100,排灌完全不能保证的评分为 60。据此确定土地复垦整理项目区土地适宜性评价因素因子的评分值。

表 1 项目区土地适宜性评价指标体系

一级影响因子	权重	二级影响因子	权重	三级影响因子	权重	因素特征分级标准	评价因素各 级别对应分值
自然条件	0.55	地形条件	0.10	自然坡度	0.10	<3°	100
						3°~7°	80
						7°~15°	60
						>15°	40
						>30cm	100
		土壤条件	0.35	有效土层厚度	0.11	20~30cm	90
						5~20cm	70
						<5cm	0
				土壤质地	0.12	中、轻壤土	90
						粘土,砂壤土	80
						重粘土,砂土	70
						砂砾土,砂质土另	0
				有机质含量%	0.12	0.9~1.0	90
						0.7~0.8	80
						0.64~0.7	70
		地貌条件	0.10	地貌部位	0.10	平地	100
						岗坡地	80
						坡地	60
农田基本 建设因素	0.45	灌溉条件	0.19	灌溉保证程度	0.11	充分满足,有良好灌溉系统	90
						一般满足,有灌溉系统,在大旱年不保证	80
						无灌溉系统	60
				灌溉方式	0.08	喷、滴灌	90
						漫灌	80
						天然降水	50
		排水条件	0.09	排水保证程度	0.09	有健全的干支斗和排水沟,无旱涝灾害	90
						排水体系一般,丰水年大雨后有短期洪涝发生	80
						无排水体系,一般年份在大雨后易发生洪涝	60
		道路状况	0.8	道路通达性	0.8	良好,有完善的道路系统,生产便捷	90
						一般,有道路,但还未形成一个健全的体系	70
						较差,生产不方便	40
		田块条件	0.9	田块平整度	0.9	非常平坦,便于机械耕作	90
						比较平坦,不影响机械耕作	80
						高低不平,对机械耕作有一定影响	60

#### 4.4 评价模型和评价单元分值计算

根据土地适宜性评价指标及其分级标准,确定各评价单元各项因子的等级,然后对照陕西省土地适宜性评价因素级别—分值对照表,通过 ARC/INFO 的叠加分析,并结合项目区实际情况,根据模型计算各评价单元的综合分值。

根据确定的各因素、因子不同级别的得分值 A 与权重 W,建立评价模型土地质量评价综合分值的数学模型:

$$C = \sum_{i=1}^n A_i B_i \quad (i=1,2,3,\dots,n)$$

式中, C 为适宜性评价的综合得分值;  $A_i$  为

某单元第 i 参评因子分值;  $B_i$  为第 i 参评因子权重; n 为评价因素因子的个数。

## 5 土地适宜性评价

将计算结果以分值频率曲线形式表示,在频率曲线图上选择曲线分布突变处为分界,按照土地优劣的实际情况,划定土地等级,将项目区内的土地质量分为 3 个级别:一级地(评价分值在 80 分以上),土地质量好,质地适中,土壤保水保肥能力强,地下水源充足,灌溉保证程度高,目前为高产田,在项目区主要为东小章继续耕种的土地,占整个复垦整理项目的 28%;二级地(评

价分值在 60~80 分之间), 土地质量较好, 质地适中, 土壤有一定保水保肥能力, 地下水源较充足, 但缺乏灌溉设施, 目前为中、低产田, 主要为薛宅村和薛梅村, 由于搬迁近 2a 撂荒的田地, 占复垦项目的 34%; 三级地(评价分值小于 60 分), 土地质量差, 适宜性较差, 因受土壤质地、水分不足、地形等限制, 农业利用时需要采取一定改良措施, 主要为三村搬迁后的宅基地和废弃的窑场, 占项目区的 38%。通过土地平整工程、农田水利工程、田间道路工程和农田防护林工程, 项目区内的土地经过土地平整变为梯田, 更加便于耕作, 腐熟土的填覆和增施有机肥使土壤有机质含量增高, 土壤质地得以改良; 机井的均匀布置, 使项目区水源充足, 灌溉有保证; 道路的建设使项目区土地交通便利, 机械化程度提高; 农田防护林的建设, 可提高项目区内的林木覆盖率, 起到防风固沙、调节田间小气候的作用; 加之农业投入的不断增加, 最终项目区土地质量得到改善, 项目区以前废旧宅基地窑场等三级地逐年改善为一、二级地, 二级地逐年改善为一级地, 中低产田改善为高产田。项目区经过土地复垦整理后, 土地利用结构发生变化, 变化后的地类主要是耕地和道路交通占地。园地林地等仅是零星的、少量的, 暂且归并于耕地中。项目区地势西北高, 东南低, 平均高程 550m。地形平坦, 土层深厚。现有宝鸡峡灌溉, 还可打深井利用地下水, 实现渠井双灌, 灌溉水源更有保证。土壤以红油土为主, 持水保肥能力强, 肥力好。项目区光热条件好, 适宜粮棉油和优质林果发展。整理后坑坑洼洼的零星土地平整了, 废旧宅基地和窑场也成了平整的高质量方田。经复垦整理后, 复垦后耕地综合质量均达到一级水平, 完全适宜用来作为耕地, 其中项目区总面积 104hm<sup>2</sup>, 其中耕地 101.1hm<sup>2</sup>, 道路占地 2.95hm<sup>2</sup>。新增耕地 72.25hm<sup>2</sup>, 占总面积 69.5%, 占耕地面积的 71.5%。

## 6 结论与讨论

(1) 在土地复垦整理的可行性研究中, 对项目区土地利用现状下土地适宜性评价的目的是对现状土地质量做出真实客观的评估, 为因地制宜进行土地复垦整理提供科学依据。我们所采用的评价方法综合了农用地定级中的多层次多因素综合评判法和标准地块法, 既能反映出整理前后土地质量变化的程度, 又能反映出整理前后土地质量在当地所处的水平。但是由于土地复垦整理中的土地适宜性评价具有评价单元小、评价因素定

量指标数据获取的难度大、评价对象在项目实施前后质量变化较大的特点, 难以获取评价因素定量指标数据。在对乾县土地整理项目土地进行适宜性评价时, 定性评价因子占很大比重, 使得评价结果具有一定的主观性。

(2) 项目区现有耕地在复垦前主要存在 3 种利用方式: 水田、旱地、居民点用地。选取的标准耕地为当地质量最好的旱地, 以此为标准, 项目区内水田在复垦前后质量等级均为一级。通过本项目的实施, 其灌排条件、道路条件等得以完善和改进, 水田质量得到更进一步的提高。复垦前旱地质量等级为二级, 其灌排条件、道路条件都较差; 复垦后, 灌溉保证程度从无到有, 排水条件明显改善, 道路系统畅通, 从而使旱地的质量等级由二级提高到一级。

(3) 项目区内村镇建设用地和废旧宅基地窑场, 通过项目实施恢复其农业生产能力。原来为居民点的土地, 复垦前既无灌排设施, 又无适合农作物生长的土壤条件, 而且地表局部高低起伏不平, 几乎不具备进行农业生产的条件, 土地质量等级为三级。复垦后, 原有居民区用地得以平整, 田块条件得到改善, 再通过客土覆盖, 修建高质量的灌溉系统, 为其恢复农业生产能力提供了有力的保证。复垦后质量等级由原来的三级提高到一级, 为当地发展高效农业提供了一个极好的平台。项目区地势西北高, 东南低, 平均高程 550m, 地形平坦, 土层深厚。现有宝鸡峡灌溉, 还可打深井利用地下水, 实现渠井双灌, 灌溉水源更有保证。土壤以红油土为主, 持水保肥能力强, 肥力好。项目区光热条件好, 适宜粮棉油和优质林果发展。

(4) 土地复垦整理的实质是通过土地利环境的改变, 不断提高土地利用率和生产率, 满足社会经济可持续发展对土地资源的需求<sup>[5,6]</sup>。土地适宜性评价是土地复垦整理项目投资前期工作的中心环节和项目决策的依据, 其目的是论证项目是否适合建设、技术上是否可靠、经济上是否合理。在多方面分析的基础上, 应用土地适宜性评价的方法, 从适宜性分析切入, 来评价土地开发整理项目的可行性研究。

(5) 在土地复垦整理可行性研究中, 土地适宜性评价能直观准确地反映其可行性。可将 GIS 与层次分析法耦合, 能充分考虑地形地质水文等影响。采取定量与定性相结合对土地开发整理的适宜性进行评价。影响因子的确定和权重值的计算对整个评价结果都有关键性的影响。利用 GIS 技术可以更为客观、快速地得出评价的结果, 在一定

程度上减少了人为因素的干扰,从而为土地开发整理提供依据,具有一定的实际意义和应用价值。

### 参 考 文 献:

- [1]吴承伦.土地开发整理规划理论方法与实践[M].北京:中国大地出版社,2003.
- [2]杨邦柱,王卫东,郑合英.土石山区小流域土地适宜性评价研究[J].中国水土保持,2003(6):28~29.

- [3]张献忠,底艳,董棉安,等.土地开发整理项目的土地质量评价[J].资源科学,2004,26(2):140~141.
- [4]陈龙乾,邓喀中,徐黎华,等.矿区复垦土壤质量评价方法[J].中国矿业大学学报,1999,28(5):449~452.
- [5]严金明.中国土地利用规划[M].北京:经济管理出版社,2001.263~274.
- [6]刁承泰.城市地貌学[M].重庆:西南师范大学出版社,1999.

### (上接第 124 页)

视无明显感染症状但确实已经感染或正在感染的害虫个体,同时无需进行分子生物学鉴定即可方便地区分杀虫剂致死和天然病原致死,从而客观准确地评价杀虫剂的毒力。

### 4.4 GFP 在微生物学中的应用

在活体研究中,GFP 相对于其它报告蛋白(如 $\beta$ -半乳糖苷酶)在原位、实时的微生物生理生化研究中有许多优越性。对 GFP 作为分子标记物在微生物学中的应用进行回顾,对 GFP 在微生物与宿主相互作用、生物膜(biofilm)、生物降解、细菌与原生动物相互作用、基因转导、基因表达、蛋白质定位以及生物传感器等领域的应用进行讨论,并扼要介绍了一些应用于荧光观察和定量分析的方法。

GFP 分子生色团的坚固外层保护荧光不被熄灭,但同时也降低了 GFP 分子的荧光对环境的敏感性。通过随机重组和基因定向突变得到了多种对环境敏感的 GFP,它们可用作环境指示剂<sup>[12]</sup>。

## 5 问题与展望

尽管 GFP 基因作为新型报告基因越来越受到关注,但毕竟只是近几年的时间,对 GFP 的基础理论研究远赶不上其应用的速度,目前还存在许多问题,如荧光强度的非线性性质使其定量非常困难;多数生物具有微弱的自发荧光现象,并有着类似的激发和发射波长,影响某些 GFP 的检测;新生 GFP 通过折叠和加工成为具有活性的形式,过程十分缓慢;紫外激发对某些 GFP 有光漂白和光破坏作用,导致荧光信号快速丧失等。但是 GFP 是生化和分子细胞生物学中飞速发展的一个工具,它已经渗透到了分子生物学、遗传学、动物学、植物学、生理学等其它许多生命科学领域。随着对 GFP 的基础理论研究的深入和新型突变

体的不断出现,我们有理由相信这些问题终将得到解决。GFP 工程,包括 GFP 蛋白工程和 GFP 基因工程的迅速发展,使其在理论研究和实际应用中产生更大的价值相信随着基因工程技术和细胞工程技术的日益成熟,GFP 一定可以为我们揭开生命科学中许多迄今为止还不为人所知的秘密。

### 参 考 文 献:

- [1]Shimomura O,Johnson FH,Saiga Y. Extraction, purification and properties of Aequoria, a bioluminescent protein from the luminous Hydromedusan, Aequorea. J Cell Comp Physiol, 1962, 59:223~229.
- [2]Prasher D, Eckenrode V, Ward W, et al. 1992, Gene, 111: 229~233.
- [3]Chalfiee M, Tu Y, Euskirchen G, et al., 1994, Science, 263: 802~805.
- [4]Chattopaj M, King B A, Bublitz G U, et al. Ultra - fast excited state dynamics in green fluorescent protein: multiple states and protein transfer [J]. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1996, 93: 8 362~8 367.
- [5]汪恒英,周守标,常志州,等.绿色荧光蛋白(GFP)研究进展[J].生物技术,2004,14(3):70~73.
- [6]蒋芳玲,杨国顺,刘志敏,等.绿色荧光蛋白研究进展[J].作物研究,2003,17(2):106~109.
- [7]刘默芳,王恩多.绿色荧光蛋白[J].生物化学与生物物理进展,2000,27(3):238~243.
- [8]Chalfie M, Kain S. GFP: Green Fluorescent Protein Strategies and Applications. New York: Wiley & Sons, 1998. 11~80.
- [9]YUE Li-li, QI Yi-peng, DENG Yan-hui, et al. Fusion of HBVe Gene with Green Fluorescent Protein Gene and Its Expression in E. coli cells. Virologica Sinica, 1997, 12(49): 336~341 (Ch).
- [10]赵华,梁婉琪,杨永华,等.绿色荧光蛋白及其在植物分子生物学研究中的应用[J].植物生理学通讯,2003,39(2):171~178.
- [11]CHAO Yu-chan, CHEN Su-liang, LI Chih-fen. Pest Control by Fluorescence. Nature, 1996, 380(6573): 396~397.
- [12]Tsien RY. The green fluorescent protein. Annu Rev Biochem, 1998, 67: 509~544.