

西北干旱内陆河流域农业节水生态环境效益评价模型

王玉宝 何武全 蔡明科

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要 以水量平衡、水沙平衡、水土平衡、水盐平衡、水质控制及生态系统的生物与景观指标等作为准则层,以 28 项指标作为因素层,利用改进的层次分析法(AHP)对评价指标进行定量化处理,建立了农业节水生态环境效益评价模型。模型首先将评价目标分层系列化,形成一个递阶有序的层次结构,再根据数学方法确定每一层次全部因素的权重,最后综合计算最低层相对于最高层的相对重要性次序的组合权值,并以此作为评价依据。模型可为内陆河流域灌区水资源开发利用、节水规划提供决策依据。以西北内陆河流域某灌区为例,利用所构建的模型计算灌区农业节水生态环境效益,结果表明:当灌溉水利用系数从 0.3 分别提高到 0.4 和 0.5 时,可分别提高生态环境效益 8.5% 和 14.9%。理论分析与应用实例证明,利用改进层次分析法建立模型具有思路清晰、方法简便、系统性强等特点,模型计算结果稳定、精度高。

关键词 农业节水; 生态环境效益; 评价模型; 改进的层次分析法

中图分类号 TV 213.5

文章编号 1007-4333(2006)04-0065-06

文献标识码 A

Evaluation model on environmental benefit of water saving agriculture in arid continental river basin of northwest China

Wang Yubao, He Wuquan, Cai Mingke

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

Abstract An evaluation model on environmental benefit of water saving agriculture in arid continental river basin was established by the modified analytical hierarchy process. The criteria layer of this model was constituted by the balances of water amount, soil-water, silt-water, and salt-water, the control of water quality and the creature and landscape in an environment system. The factor layer of the model includes twenty-eight evaluation indicators. These exponents were assessed quantitatively by the modified analytical hierarchy process. In this model the evaluation object was delaminated serially at first, and then the weighing values of all the factors in each layer were determined by the mathematical method. At last, the compounding weighing values of relative significance of the lowest layer to the highest layer were calculated synthetically. The model provides a decision-making reference for the water resource development and utilization and the water-saving program at irrigation district in arid continental river basin. As an example, the environment benefit on an irrigation district in arid continental river basin of northwest China was evaluated, by this model, and expounded. The estimated result manifested that the environmental benefit in the irrigation district could be enhanced by 8.5 per cent and 14.9 per cent when the water use coefficient was raised from 0.3 to 0.4 and 0.5 respectively. The theoretical analysis and application instance testified that the model established by the modified analytical hierarchy process had the features of strong logic, simple structure and stable precise.

Key words water saving in agriculture; environment benefit; evaluation model; modified analytic hierarchy process

西北干旱内陆河流域是我国最为干旱的地区,生态环境极其脆弱,社会经济发展受到制约。内陆河流域降水稀少且集中在山区,地表水、地下水转化特征明显,冰雪资源对河流有较大调节作用,而在人

收稿日期: 2005-12-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50279042); 西北农林科技大学科研专项基金资助项目

作者简介: 王玉宝, 讲师, 博士研究生, 主要从事节水灌溉与水资源、水环境研究, E-mail: wyb0406@sina.com

口与工农业生产相对集中的平原(盆地)地区,由于降水更为稀少,不仅农田基本依赖于灌溉,农田周围的生态环境系统也极大地依赖于河流、渠系、农田灌溉的渗漏和地下水的补给。这种异地产流,异地利用的水资源特点,使得内陆河流域水资源在空间分配上具有可变性^[1]。西北内陆河流域农业用水约占总用水量的90%^[2],农业灌溉在水资源的再分配中起决定性作用,已成为影响内陆河流域生态环境的最主要因素。

农业节水效益是经济效益、生态环境效益和社会效益三者的综合。社会经济的可持续发展需要安全的生态环境。在水资源的开发利用中,长期以来,人类总以人类社会自身发展的“经济效益最大”为目标,其结果是虽然水资源开发利用取得了一时一地的效益,却引发了区域生态环境总体的日益恶化,这在西北内陆河流域表现得尤为突出^[3]。针对农业节水经济效益的研究较多^[4-6],但由于目前我国农业节水的经济政策还很不健全,节水灌溉工程产权不明晰等原因,节水经济效益研究仍不够充分,对其生态效益的研究更加薄弱。我国从20世纪90年代末开始重视对生态环境的研究,1999年国家计委组织有关部门制定了《全国生态环境建设规划》^[7];2000年中国工程院组织了《21世纪中国可持续发展水资源战略研究》^[8];雷廷武等研究了农业水资源利用与环境的关系,认为农业节水有利于缓解地下水超采、土地盐碱化、水土资源流失及水体污染^[9];周维博等阐述了西北干旱区水资源开发利用对生态环境存在的负面影响,如流域上游水资源过度开发引用造成下游生态环境的恶化,超定额灌溉造成灌区土壤盐渍化,污水灌溉和农药化肥施用造成水土

环境恶化等^[10]。但现有研究成果很少将农业节水与生态环境结合进行系统、定量分析,本研究将就此问题进行探索。

1 农业节水生态环境效益评价模型

1.1 评价模型的层次结构

农业节水生态环境效益是一个多因子和复杂多变的系统,适合于这类系统的研究方法主要有综合评判法、时间序列法、模糊综合评判法、层次分析法和空间分析法等^[11]。本研究采用层次分析法(Analytical Hierarchy Process, AHP)构建西北干旱内陆河流域农业节水生态环境效益评价的层次结构(图1)。AHP是分析多层次、多准则、多因素的复杂大系统的有力工具,是一种能够将定性分析与定量分析相结合的系统分析方法,可将以人的主观判断为主的定性分析量化,并具有思路清晰、方法简便、适用面广、系统性强等优点。应用AHP解决问题的思路是:首先,把要解决的问题分层系列化,即根据问题的性质和要达到的目标,将问题分解为不同的组成因素,按照因素之间的相互影响和隶属关系将其分层聚类组合,形成一个递阶的、有序的层次结构模型;然后,对模型中每一层次因素的相对重要性,依据人们对客观现实的判断给予定量表示,再利用数学方法确定每一层次全部因素相对重要性次序的权值;最后,通过综合计算各层因素相对重要性的权值,得到最低层相对于最高层的相对重要性次序的组合权值,以此作为评价和选择方案的依据。AHP将思维过程和主观判断数学化,不仅简化了系统分析与计算工作,而且有助于决策者保持其思维过程和决策原则的一致性,所以,对于那些难以全部量化

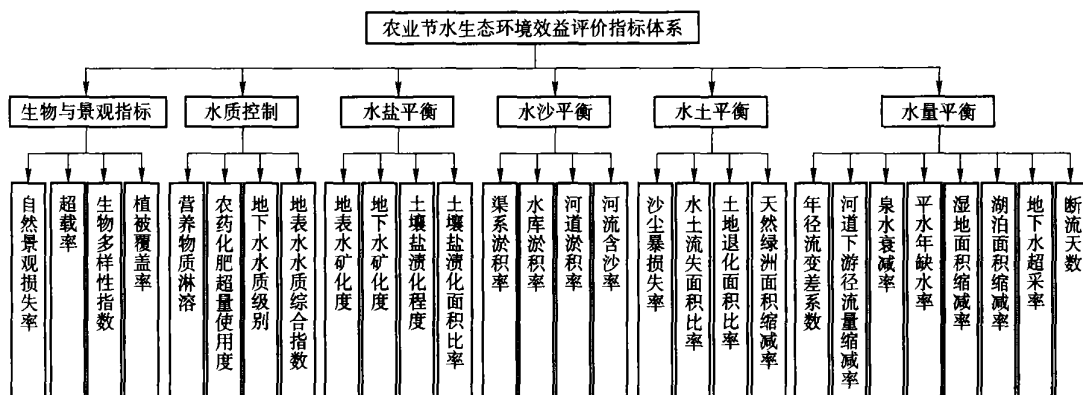


图1 西北干旱内陆河流域农业节水生态环境效益评价的层次结构

Fig. 1 Layer texture of evaluation mould on eco-environment benefit of water saving in arid continental river basin of northwest China

处理的复杂的社会经济问题,采用 AHP 能得到比较满意的决策结果^[12]。

评价模型共分 3 层,最上层为目标层,即西北干旱内陆河流域农业节水生态环境效益 A,中间层为准则层 C,归纳为水量平衡、水土平衡、水沙平衡、水盐平衡、水质控制及生态系统的生物与景观指标等 6 项,最低层为因素层 P,共包括 28 个指标。

1.2 评价数学模型

$$R = W \cdot Y \quad (1)$$

式中:R 为 n 个水平年的生态环境效益评价结果向量;W 为 m 个评价指标的权重向量;Y = $(y_{ij})_{m \times n}$ 为 n 个水平年各指标的量纲一数据矩阵^[3]。

2 应用实例分析

以西北内陆河流域某自流引水灌区为例。该区属典型的沙漠绿洲区,降水稀少,多年平均降水量为 291 mm;蒸发强烈,年水面蒸发能力为 1 283 mm,是降水量的 4.4 倍。全区有效灌溉面积约 3.4 万 hm^2 ,灌溉定额高达 18 900 m^3/hm^2 ,灌溉水有效利用系数仅为 0.3,节水潜力巨大。

2.1 评价指标体系的构建

新中国成立以来,灌区因人口增加、社会经济发展而不断扩大水土资源开发利用规模,使区域内经济得以稳定持续发展;但同时,由于灌溉引水量的激增及高定额不合理灌溉等原因,引起一系列生态环境变化,集中表现在:流域下游水量锐减,20 世纪 80 年代末开始出现断流,尾间湖及湿地面积萎缩,地下水位持续下降,泉水衰竭;土地荒漠化和退化问题严重,进而造成水土流失及沙尘暴的加剧;河流含沙量增加,使河渠、水库淤积问题日益突出;水质咸化和污染趋势加剧;植被退化,生物多样性减少,自然景观价值降低。若灌区积极推行各种节水灌溉措施,将灌溉水有效利用系数从现状年的 0.3,提高到规划年的 0.4 和 0.5,在灌溉面积保持不变的情况下,可分别减少引水量的 25% 和 40%。节水灌溉措施的实施可降低灌区地下水位,削弱土壤的蒸发积盐过程,促进降水或灌溉水对土壤盐分的淋洗,并减少深层渗漏造成的营养物质淋溶。节约的引水量可还原属于天然生态的部分水资源,对于维持荒漠绿洲的有限生存环境,保持天然生态的平衡具有极其重要的作用。

2.2 评价指标体系的量纲一处理

评价指标体系的量纲、功能各不相同,指标间数

据差异较大,使得不同指标不能直接进行比较,因此需对指标进行量纲一处理^[3]:

$$X = \frac{X_{\text{实际}} - X_{\text{min}}}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}} \quad (2)$$

式中: $X_{\text{max}} = \max(X_{\text{实际值}})$, $X_{\text{min}} = \min(X_{\text{实际值}})$ 。

表 1 示出某灌区农业节水生态环境效益的指标体系及量纲一处理结果,量纲归一化处理后的数据即为矩阵 Y。

2.3 判断矩阵构造

判断矩阵表示针对上一层某因素而言,本层次与之有关的各因素之间的相对重要性。在判断矩阵具有完全一致性的情况下,通过求解特征值问题而求出正规化特征向量,得到各因素的权重。表 2 中 W 一列表示准则层各因素的权重,其余列表示针对总目标农业节水生态环境效益而言,准则层各因素之间的相对重要性。表 3 示出针对水量平衡问题,因素层各因素之间的相对重要性。针对准则层中其余 5 个因素构建的判断矩阵这里不再赘述。因素层各指标权重向量计算结果为: $W_j = (0.369 2, 0.139 8, 0.152 5, 0.120 3, 0.090 7, 0.048 0, 0.049 7, 0.029 7, 0.301 4, 0.389 8, 0.253 4, 0.055 4, 0.485 5, 0.260 8, 0.189 4, 0.064 3, 0.521 5, 0.239 5, 0.153 0, 0.086 0, 0.498 0, 0.313 1, 0.120 9, 0.068 0, 0.487 4, 0.320 8, 0.109 0, 0.082 8)$ 。

2.4 层次分析法的改进

一致性检验在层次分析法中是不可缺少的,当层次总排序随机一致性比例 $CR > 0.1$ 时,需要重新调整判断矩阵,而目前重新调整判断矩阵的理论和方法尚不成熟,导致在因素众多的情况下,有时需要多次调整判断矩阵,方可满足一致性要求,计算量比较大。可利用反对称阵最优传递矩阵的概念,对层次分析法进行改进,使判断矩阵直接变换为与其非常接近而又具有一致性的矩阵,再直接求出权重值。改进的层次分析法计算流程见图 2。所构造的矩阵 A 为互反矩阵(满足 $a_{ij} = 1/a_{ji}$);矩阵 A 按图 2 中公式经过转化得到矩阵 B, B 为反对称阵(满足 $b_{ij} = -b_{ji}$),则 B 是传递的;矩阵 C 为矩阵的最优传递阵,它满足 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (c_{ij} - b_{ij})^2$ 最小;矩阵 A* 是矩阵 A 的一个拟优一致阵,根据 A* 可直接求出权重值,而无需进行一致性检验。

表1 西北干旱内陆河流域某灌区农业节水生态环境效益指标数据及归一化处理结果

Table 1 Evaluation indices data of environment benefit and its dimensional normalization in arid continental river basin of northwest China

准则层 指标	因素层指标	权重	因素	不同灌溉水利用系数			量纲归一化处理结果		
				指标数据			0.3	0.4	0.5
				0.3	0.4	0.5			
水量平衡	断流时间/d	0.164 3	P_1	- 89	- 63	- 51	0.756	0.827	0.860
	地下水超采率/ %	0.062 2	P_2	- 49	- 34	- 22	0.510	0.660	0.780
	湖泊面积缩减率/ %	0.067 9	P_3	- 3.5	- 2.5	- 1.8	0.965	0.975	0.982
	湿地面积缩减率/ %	0.053 5	P_4	- 4.7	- 3.6	- 2.8	0.953	0.964	0.972
	平水年缺水率/ %	0.040 4	P_5	- 30.9	- 21.7	- 13.8	0.691	0.783	0.862
	泉水衰减率/ %	0.021 4	P_6	- 40.4	- 28.7	- 16.5	0.596	0.713	0.835
	河流下游径流量缩减率/ %	0.022 1	P_7	- 35.9	- 24.3	- 13.1	0.641	0.757	0.869
	年径流变差系数	0.013 2	P_8	- 1.3	- 1.1	- 0.8	0.350	0.450	0.550
水土平衡	天然绿洲面积缩减率/ %	0.010 9	P_9	- 21	- 17.3	- 14.6	0.790	0.827	0.854
	土地退化面积比率/ %	0.014 1	P_{10}	- 19.3	- 15.2	- 11.8	0.807	0.848	0.882
	水土流失面积比率/ %	0.009 2	P_{11}	- 52.1	- 41.6	- 32.8	0.479	0.584	0.672
	沙尘暴损失率/ %	0.002 0	P_{12}	- 23	- 15.8	- 9.7	0.77	0.842	0.903
水沙平衡	河流含沙率/ %	0.113 3	P_{13}	- 13.6	- 9.8	- 7.2	0.865	0.902	0.928
	河道淤积率/ %	0.060 9	P_{14}	- 4.1	- 2.9	- 1.8	0.959	0.971	0.982
	水库淤积率/ %	0.044 2	P_{15}	- 5.3	- 4.1	- 3.7	0.947	0.959	0.963
	渠系淤积率/ %	0.015 0	P_{16}	- 7.6	- 5.8	- 5.3	0.924	0.942	0.947
水盐平衡	土壤盐渍化面积比率/ %	0.042 7	P_{17}	- 33.7	- 29.1	- 25.2	0.663	0.709	0.748
	土壤盐渍化程度/ %	0.019 6	P_{18}	- 35	- 26.7	- 13.4	0.650	0.733	0.866
	地下水矿化度/ (mg/L)	0.012 5	P_{19}	- 3 200	- 2 100	- 1 300	0.467	0.650	0.783
	地表水矿化度/ (mg/L)	0.007 0	P_{20}	- 1 100	- 970	- 850	0.663	0.710	0.717
水质控制	地表水水质综合指数	0.030 8	P_{21}	- 1.1	- 0.9	- 0.7	0.450	0.550	0.650
	地下水水质级别	0.019 4	P_{22}	- 3	- 2	- 1	0.400	0.600	0.800
	农药化肥超量使用度/ (kg/ hm ²)	0.007 5	P_{23}	1 000	1 200	1 360	0.500	0.600	0.680
	营养物质淋溶/ (kg/ hm ²)	0.004 2	P_{24}	- 900	- 800	- 700	0.550	0.600	0.650
生物与 景观指标	植被覆盖率/ %	0.069 1	P_{25}	15.7	20.2	26	0.157	0.202	0.260
	生物多样性指数	0.045 5	P_{26}	73	82	90	0.243	0.273	0.300
	超载率/ %	0.015 4	P_{27}	41	49	63	0.410	0.490	0.630
	自然景观损失率/ %	0.011 7	P_{28}	- 35	- 29	- 22	0.650	0.710	0.780

表2 判断矩阵 A- C_j 及权重计算结果Table 2 Judgement matrix A- C_j and weighing values

A	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	W
C_1	1	5	1	3	3	2	0.286 2
C_2	1/5	1	1/5	1/2	1/3	1/4	0.046 6
C_3	1	5	1	3	4	2	0.300 2
C_4	1/3	2	1/3	1	2	1/2	0.105 2
C_5	1/3	3	1/4	1/2	1	1/3	0.079 6
C_6	1/2	4	1/2	2	3	1	0.182 2

表3 判断矩阵 C_1 - P_j 及权重计算结果Table 3 Judgement matrix C_1 - P_j and weighing values

C_1	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	W
P_1	1	3	3	5	5	6	6	7	0.369 2
P_2	1/3	1	1	1	2	3	3	4	0.139 8
P_3	1/3	1	1	2	2	3	3	4	0.152 5
P_4	1/5	1	1/2	1	2	4	3	3	0.120 3
P_5	1/5	1/2	1/2	1/2	1	2	3	5	0.090 7
P_6	1/6	1/3	1/3	1/4	1/2	1	1	2	0.048 0
P_7	1/6	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	3	0.049 7
P_8	1/7	1/4	1/4	1/3	1/5	1/2	1/3	1	0.029 7

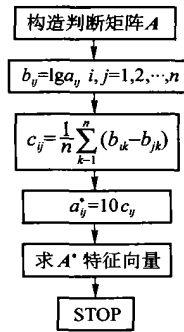


图 2 改进的层次分析法计算流程

Fig. 2 Calculation course of modified analytical hierarchy process

2.5 指标权重的确定及修正

由于准则层指标个数不完全相同, 因此对 C_1, C_2, \dots, C_6 的排序权重 C_i 进行加权修正^[3]:

$$\bar{C}_i = \frac{n_i C_i}{\sum_{j=1}^n n_j C_j} \quad i = 1, 2, \dots, 6 \quad (3)$$

式中: n_i 为 C_i 所支配的指标个数, \bar{C}_i 为修正后的指标 C_i 对于总目标的权重。由式(3)得

$$\bar{C} = (0.445\ 0, 0.036\ 2, 0.233\ 4, 0.081\ 8, 0.061\ 9, 0.141\ 7)$$

记 W_j 为各评价指标 P_i 对于总目标的权重, 则由 $W_j = \bar{C}_i W_j$ 可得层次总排序的结果。

$$W_j = (0.164\ 3, 0.062\ 2, 0.067\ 9, 0.053\ 5, 0.040\ 4, 0.021\ 4, 0.022\ 1, 0.013\ 2, 0.010\ 9, 0.014\ 1, 0.009\ 2, 0.002\ 0, 0.113\ 3, 0.060\ 9, 0.044\ 2, 0.015\ 0, 0.042\ 7, 0.019\ 6, 0.012\ 5, 0.007\ 0, 0.030\ 8, 0.019\ 4, 0.007\ 5, 0.004\ 2, 0.069\ 1, 0.045\ 5, 0.015\ 4, 0.011\ 7)$$

2.6 一致性检验

采用原始的层次分析法进行计算时, 必须进行一致性检验, 当 $CR < 0.1$ 时, 即可认为层次总排序的计算结果具有满意的一致性; 而改进的层次分析法根据最优传递阵原理, 可得到拟优意义的一致阵, 直接求出权值, 无需再进行一致性检验。利用 Matlab 进行矩阵运算, 其 CR 一般均可小于 10^{-8} , 下面以表 2 中矩阵 A 为例, 对原始的和改进后的层次分析法进行比较(表 4)。CI 为层次总排序一致性指标, RI 为层次总排序平均随机一致性指标。

2.7 灌区农业节水生态环境效益评价

若不同灌溉水利用系数时的准则层评价向量共同构成矩阵 B, 农业节水总生态环境效益记为 R,

则 $B = W_j \cdot Y_{ij}$, 从而有

$$R = \bar{C} B = (0.209\ 1, 0.226\ 8, 0.240\ 3)$$

表 4 原始与改进后的层次分析法计算结果对比

Table 4 Comparing the calculation result of the primitive with the modified analytical hierarchy process

项目	原始 AHP	改进的 AHP
特征值	6.145 102 224 691	6.000 000 001 36
	0.284 370 875 891	0.286 178 639 01
	0.047 120 359 439	0.046 548 417 44
特征向量	0.297 791 367 176	0.300 234 320 98
	0.105 818 975 676	0.105 211 055 29
	0.082 470 290 855	0.079 596 674 21
	0.182 428 131 108	0.182 230 893 29
CI	$2.902\ 04 \times 10^{-2}$	$2.719\ 82 \times 10^{-10}$
RI	1.24	1.24
CR	$2.340\ 36 \times 10^{-2}$	$2.193\ 40 \times 10^{-10}$

由评价结果可知, 灌区在实现规划节水目标的前提下, 农业节水生态环境效益在 2010 年和 2015 年将分别比现状年提高 8.5%、14.9%。

评价结果说明, 所筛选的指标是切实可行的, 符合灌区的实际情况, 可用于类似灌区节水对生态环境的影响评价; 实行农业节水可有效改善西北内陆河流域灌区的生态环境, 促进灌区农业的可持续发展。

3 结论与讨论

本研究建立的农业节水生态环境效益评价模型, 筛选了 28 项较易量化、可操作性强、可较全面反映西北内陆河流域生态环境的评价指标。利用改进的层次分析法, 对评价指标进行了量化处理。改进层次分析法得到的权重值既体现了专家多年积累的宝贵经验, 又考虑了主观因素对综合权重的客观影响, 较原始的层次分析法在很大程度上减少了人为的主观随意性, 使得到的权值更加符合实际情况, 客观性随之增强, 计算结果稳定、精度较高。

以西北内陆河流域某灌区为例, 利用所构建的模型计算得到的灌溉水利用系数从 0.3 分别提高到 0.4 和 0.5 时, 可分别提高生态环境效益 8.5% 和 14.9%。

农业灌溉是影响内陆河流域生态环境的最主要因素, 灌区在进行水资源开发利用规划或采取节水灌溉措施时, 应充分注意对生态环境系统的影响, 做好生态环境的评价, 以使灌区农业得到可持续发展。

生态环境系统是一个复杂多变的系统,具体到某一个灌区来说,都有其独自的特点,因此,评价指标在量化时,必须根据灌区的实际情况加以确定。

参 考 文 献

- [1] 南京水利科学研究院. 西北地区水资源与生态环境评价[M]. 南京: 河海大学出版社, 2002:1~52
- [2] 中国水利水电科学研究院. 面向生态经济建设的西北水资源合理配置模式[EB/OL]. [2003-06-22]. <http://www.chinawater.net.cn/Journal/cwr/200004/>
- [3] 周维博, 李佩成. 干旱半干旱地域灌区水资源综合效益评价体系研究[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 289~293
- [4] 陈晓坤, 陈明, 沈菊琴. 农业节水投资与效益分析方法初探[J]. 灌溉排水, 2001, 20(4): 51~55
- [5] 王远, 吴玉柏. 几种主要节水灌溉技术的经济效益分析[J]. 水利经济, 2002, (6): 34~40
- [6] 郑捷, 周世峰, 吴涤非. 节水灌溉条件下作物的经济效益分析[J]. 排灌机械, 2005, 23(3): 39~41
- [7] 国家发展和改革委员会发展规划司. 全国生态环境建设规划[EB/OL]. [2004-05-23]. <http://dp.cei.gov.cn/lzsl/hjgh.htm>
- [8] 钱正英. 中国水资源战略研究中几个问题的认识[J]. 河海大学学报, 2001, 29(3): 1~7
- [9] 雷廷武, 蔡甲冰, 屈丽琴. 农业节水与经济社会环境可持续发展[J]. 农业工程学报, 2003, 19(增刊): 36~139
- [10] Zhou Weibo, Wang Yubao. Impacts of water resources use on ecological environment of irrigation districts in arid region of Northwest China[C]. Kang Shaozhong, Davies B, Shan Lun, et al. Water-saving agriculture and sustainable use of water and land resources. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2003: 87~892
- [11] 刘恒, 耿雷华, 陈晓燕. 区域水资源可持续利用评价指标体系的建立[J]. 水科学进展, 2003, 14(3): 265~270
- [12] 谭跃进, 陈英武, 易进先. 系统工程原理[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1999: 64~84
- [5] Emelyanova E V. Lipid and α -linolenic acid production by *Mucor inaquisporus* [J]. *Process Biochemistry*, 32(3): 173~174
- [6] Kennedy M J, Reader S I, Davies R J. Fatty acid production characteristics of fungi with particular emphasis on gamma linolenic acid production[J]. *Biotechnol. Bioeng*, 1993, 42: 625~634
- [7] 付志红, 谢明勇, 章志明, 等. ICP-AES法测定车前子中无机元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2004, 24(6): 737~740
- [8] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. 食物营养成分测定法[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1990: 15~142
- [9] 何照范, 张迪清. 保健食品化学及其检测技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998: 81~96
- [10] 韩琴琴. 应用国产酶试剂测定血清胆固醇的方法[J]. 上海第一医学院学报, 1984, 11(3): 181~185
- [11] 李建斋, 王抒. 用酶试剂测定血清甘油三酯[J]. 中华医学检验杂志, 1987, 10(5): 262~265
- [12] 林跃鑫, 黄建忠, 谢必峰, 等. 深黄被孢霉菌粉营养价值及调节血脂作用的研究[J]. 营养学报, 2002, 24(2): 163~166
- [13] Suresh Y, Das U N. Long-chain polyunsaturated fatty acids and chemically induced diabetes mellitus: effect of α -6 fatty acids [J]. *Nutri*, 2003, 19: 93~114

(上接第 64 页)