

## 江苏洋口港地区地下水化学特征及动态分析

许乃政, 刘红樱 (国土资源部南京地质矿产研究所, 江苏南京 210016)

**摘要** 江苏洋口港地区是江苏沿海开发作为重要节点进行重点建设的深水港区。通过水文地质调查、钻探与抽水试验、水文测试监测等工作手段,基本查清了区内水文地质状况。就地下水赋存地质条件、地下水化学类型与水质、地下水动态进行评价与分析,为当前洋口地区地下水开发利用和工业布局提供科学依据。

**关键词** 地下水;水质评价;动态分析;洋口港地区

**中图分类号** S181.3;X141 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)03-285-04

## Groundwater Chemistry Characteristics and Dynamic in Yoco Port of Jiangsu Province

XU Nai-zheng, LIU Hong-ying (Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Nanjing, Jiangsu 210016)

**Abstract** Yoco, as an important deep port, is an important construction of key project in coastal area of Jiangsu Province. The hydrogeology condition in Yoco Port are identified by hydrogeology survey, hydrogeological drilling, test and monitoring. This study is focused on geological conditions, chemical types and assessment, dynamic monitoring, which may be useful for the exploitation of ground water resources and industrial allocation in Yoco Port.

**Key words** Groundwater; Water quality assessment; Dynamic analysis; Yoco Port

江苏省沿海发展规划跃升为国家战略,使江苏沿海发展站在了新的历史起点上,其中洋口港区是沿海开发作为重要节点进行重点建设的深水港区。洋口地区是江苏省水资源量最欠缺的地区,供水矛盾十分突出,加上地下水一度出现咸化趋势,对区域水资源及环境产生了极大的影响,已成为制约区域生态环境建设和经济社会发展的重要因素<sup>[1-3]</sup>。随着江苏沿海地区发展规划的实施,洋口地区经济建设将持续高速发展,对水资源需求愈加旺盛,而严重短缺的水资源已成为该区发展的最大瓶颈,因此,作为该区可持续发展的地下淡水资源的保障研究已迫在眉睫。但是洋口地区水文地质工作程度低,地下水系统研究不足,未系统性评价全区地下水资源,已有的地下水动态系列监测资料不能真实地反映全区的地下水水流场特征,急需开展较大比例尺的水文地质调查研究,为洋口地区的开发建设提供地下水资源安全保障支撑。中国地质调查局从2012年开展洋口地区地质环境调查评价研究。该次工作通过水文地质测绘、工程物探、钻探与抽水试验、水样采集与测试分析等工作手段,全面系统地调查研究了研究区的地质水文地质条件、地下水分布赋存规律、地下水开发利用现状、地下水质量和污染状况。

## 1 研究区概况

江苏省洋口港区位于江苏省的东部沿海,隶属江苏省南通市如东县(图1),东濒黄海,地势平坦,地面标高一般1~5 m,地面微向东倾。研究区气候温和湿润,属湿润的亚热带季风气候区,四季分明,雨热同季,无霜期长,具典型的海洋性气候。年均气温14.8℃,1月平均气温2.1℃,最低气温-10.6℃;7月平均气温27.3℃,最高气温38.6℃。年平均降雨量1 025 mm。

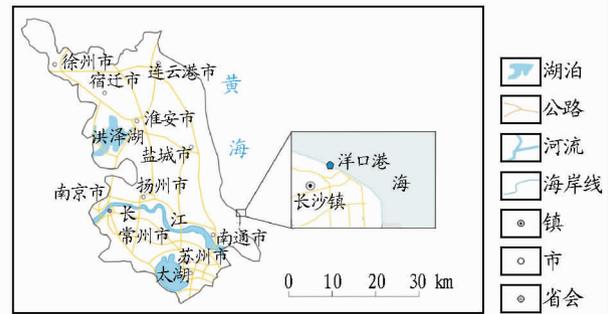


图1 研究区交通位置示意图

研究区位于扬子陆块下扬子地块东北部,未见前第四纪地层出露。据钻孔揭露,研究区见有上古生界中志留统-上泥盆统( $S_2-D_3$ )、石炭系-二叠系( $C-P$ )、中生界白垩系浦口组( $K_2p$ )、新生界古近系泰州组( $E_1t$ )、阜宁组( $E_1f$ )、三垛组( $E_{2-3}s$ )和新近系盐城组( $N_{1-2}yc$ )地层。研究区第四系地层分区上属南通地层小区,由于第四纪以来区域古(支)河道在研究区范围的南北摆动,数次较大规模的海侵<sup>[4-5]</sup>,以及北侧古黄河、淮河水系泛滥的影响,导致测区内第四系沉积物、沉积相变化较大,河流相、海相以及湖相地层相互穿插、叠置。

## 2 水文地质条件

**2.1 地下水赋存条件** 研究区是长江三角洲平原的一部分,地表为第四纪松散沉积物覆盖,第四纪地层埋深一般300 m左右,第四纪地层严格控制着孔隙水含水层水文地质条件。第四纪沉积物成因为以浅海三角洲相、河湖相为主,并夹有浅海相沉积物<sup>[6]</sup>;岩性以多孔隙的砂性土为主,结构松散,导水性好,厚度大,是形成地下水的介质条件。工作区气候湿润多雨,再加之地面坡降极小,地面岩性多为亚砂土,有利于降水渗入转为地下水。区内地表水系发育,河渠密度大;每年引河水灌溉农田,有利于地表水补给地下水。该区地处沿海,在第四纪时期经历数次海侵,海水渗入是形成咸水层的主要因素。

**基金项目** 中国地质调查项目(水[2013]02-006-003);江苏省自然科学基金项目(BK2011096)。

**作者简介** 许乃政(1971-),男,安徽安庆人,副研究员,博士,从事环境科学研究。

**收稿日期** 2014-12-09

**2.2 地下水类别与含水岩组划分** 研究区含水岩组厚度大,层次多,水质变化复杂。根据地下水赋存介质,松散岩类孔隙含水岩组为研究区主要含水岩组<sup>[3]</sup>。该次研究根据含水砂层的成因时代、埋藏分布、水力联系及水化学特征等,将该区松散岩类孔隙地下水划分为孔隙潜水含水层组和孔隙承压含水层组两类;第I、II、III承压含水层分别对应上、中、下更新统。由于新近系(N)存在两个下粗上细的沉积旋回,故以此将其一分为二,成为两个松散岩类孔隙含水岩层组。根据地层的时代将孔隙承压含水层组进一步细分,由上到下分别为I、II、III、IV、V5个承压含水层组。各含水层的形成时代分别对应 $Q_h$ (潜水)、 $Q_p$ (I)、 $Q_p$ (II)、 $Q_p$ (III)及 $N_2$ (IV、V)。因潜水及第I承压水水质较差,多为咸水或半咸水,利用价值不大,目前开采利用较少。第V承压水开发利用较晚,且勘察研究程度较低(表1)。

考虑到工作区的潜水含水层和I承压含水层易于受到补给,地下水径流速度较深部的II、III、IV承压含水层快,更新能

力较强,因此从地下水系统分析的角度来看,将潜水含水层和I承压含水层归入浅层孔隙水含水系统,而将II、III、IV承压含水层归入深层孔隙水含水系统。

上部含水岩组主要由潜水及第I承压含水层构成,深度在40~100 m之间,时代一般为全新世晚更新世;下部承压含水岩组由第II、III、IV、V承压含水层组成,时代为中、早更新世或新近纪。松散岩类地下水水位埋深受自然条件及人为开采活动的控制,上部含水岩组中的潜水位明显受降水和地形影响,在平原区一般埋深1~3 m。下部承压水含水岩组原始水位埋深1~3 m,局部地区自流。目前由于多年持续超采,区域水位埋深普遍低于10 m,城市及县城开采中心静水位埋深在40~50 m之间。平原区由于松散岩类孔隙水发育,人类开发利用强度较高,衍生出的环境地质问题复杂而严重。较为明显的是因过量开采下部承压含水岩组地下水,造成地下水资源衰减、地面沉降、地裂缝灾害日趋严重,水质也日趋恶化<sup>[6-7]</sup>。

表1 如东沿海地区地下水类型和含水岩(层)组划分

地下水类型	含水岩(层)组			分布范围		
	含水岩层组	主要岩性	时代代号			
浅层孔隙水	潜水	浅层孔隙水含水系统	潜水孔隙含水层	亚粘土、亚砂土、粉砂、粉细砂等	$Q_h$	除基岩裸露区外均有
	第I承压水		第I承压孔隙含水层组	亚砂土、粉砂、细砂、粉细砂、中细砂、中粗砂、砾石粗砂等	$Q_p$ (III)	平原区
深层孔隙水	第II承压水	深层孔隙水含水系统	第II承压孔隙含水层组	粉砂、粉细砂、中细砂、中粗砂、砾石粗砂	$Q_p$ (II)	平原区
	第III承压水		第III承压孔隙含水层组	粉细砂、中细砂、中粗砂、砾石粗砂等	$Q_p$ (I)	平原区
	第IV承压水		第IV承压孔隙含水层组	细砂、中粗砂、砾石粗砂及半固结砂等	N	平原区
	第V承压水		第V承压水	细砂、中粗砂、砾石粗砂	N	平原区

根据2013年钻孔所揭示的地层岩性,洋口港长沙镇地表下310 m以内共发育承压含水层3层,埋藏深度分别为123.0~156.0、183.0~224.6、286.6~302.4 m,厚度分别约为33.0、41.6、15.8,累计厚度90.4 m。含水层均以中细砂、中粗砂为主,粒度细小,含水性良好。利用非稳定流常流量抽水试验资料求得测区第III承压含水层渗透系数 $K=6.54$  m/d。测区静水位埋深17.95 m,动水位埋深51.26 m,平均出水量45.5 m<sup>3</sup>/h,日出水量1 092 m<sup>3</sup>。

### 3 水化学性质及水质评价

**3.1 地下水化学类型及水化学组分分布** 地下水评价是了解地下水质量状况和污染程度,识别地下水资源质量变化过程,分析地下水质量和地下水污染的变化趋势,为地下水防治方案制定提供必要的地下水环境质量信息。工作区2012、2013年对地下水进行125次采样化验,现场检测指标为气温、水温、pH、电导率、氧化还原电位、溶解氧、浊度7项;无机检测指标为总硬度、TDS、COD<sub>mn</sub>、H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、F<sup>-</sup>、I<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Fe、Mn、Pb、Zn、Cd、Cr<sup>6+</sup>、Hg、As、Se、Al、Cu 28项。研究区丰、枯水期潜水水位埋深空间变化比较大,大部分地区的潜水位埋深在1~2 m,部分地区水位埋深3~4 m。潜水水位埋深总

体上西深东浅,在研究区西部潜水水位埋深较大;在研究区东部,靠近海边,潜水水位埋深较小,潜水矿化度较大。

地下水化学类型的舒卡列夫分类是根据地下水中6种主要离子(Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>、K<sup>+</sup>合并于Na<sup>+</sup>)及矿化度划分的。根据测区地下水测试结果,研究区潜水地下水水化学类型主要为HCO<sub>3</sub>-NaMgCa、ClHCO<sub>3</sub>-Na型,分别占54.7%、10.8%;其他少量HCO<sub>3</sub>-NaMg、SO<sub>4</sub>ClCO<sub>3</sub>-NaMg型。由西到东,由HCO<sub>3</sub>-NaMgCa型逐渐过渡到HCO<sub>3</sub>Cl-Na型、Cl-Na型。

**3.2 地下水质量评价** 该次评价选用《地下水质量标准》作为评价依据,然后根据国标中推荐的公式(内梅罗公式)计算出某一水样点地下水质量的综合评价分值,对照标准中的“地下水质量级别表”中关于各级水质的综合评价分值范围,即可确定出该水样点地下水的质量等级。

根据调查评价结果,大部分地区潜水水质较差,水质等级为II、III、IV、V类水,其中IV、V类水分别占85.6%、4.0%,II、III类水占10.4%,工作区没有I类水(图2)。影响工作区松散岩类孔隙水水质的主要因素是溶解性总固体、总硬度、氯化物、氟化物、铁、锰、硫酸盐、铵根、硝酸盐、亚硝酸盐、镉等,其中溶解性总固体、总硬度、氟化物、氯化物、锰元

素是最主要影响因子。浅层地下水东部沿海长沙镇、大豫镇受到一定程度的海水入侵影响,水质普遍咸化。

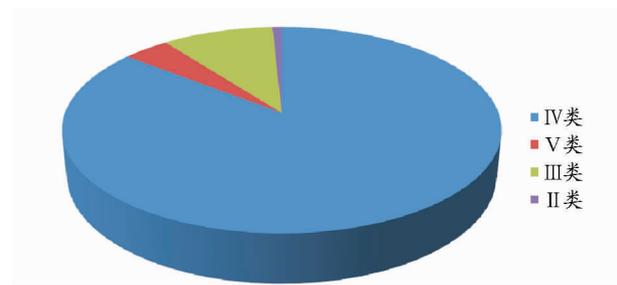


图2 洋口港地区潜水水质综合评价统计

远离洋口港的陆域西部深层地下水水化学类型以  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  为主,其次为  $\text{ClHCO}_3\text{-Na}$ 、 $\text{HCO}_3\text{Cl-Na}$  型;总体水质较好,为II~III类水。洋口港东部长沙镇第III承压地下水水化学类型主要为  $\text{Cl-NaCa}$  型水,水质极差(V类),主要影响因子为  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、TDS、总硬度。淋滤古海相地层盐分、上层咸水下渗、海水入侵等是东部沿海深层地下水矿化度增高的主要原因<sup>[1-2]</sup>。浅层地下水矿化度普遍比深层地下水偏高,沿海一带普遍比内陆地区偏高,中、西部深浅层地下水矿化度都较低,但东部沿海局部地区地下水咸化现象比较严重。

#### 4 地下水动态监测

地下水资源开采利用诱发的环境地质问题主要有地下水水位持续下降、地面沉降。洋口港地区的浅层地下水(潜水、第I承压水、第II承压水)为咸水,而第III承压含水岩组分布广泛,层位稳定,富水性好,是工作区的主要开采层组,也是测区内地下水动态监测层位。洋口港地区及相邻区域分布水位监测点6个,水质监测点5个,水位水质共用点2个;通州区水位监测点4个,水质监测点1个。

**4.1 地下水位空间分布** 2012年枯水期地下水漏斗分布特征:根据南通市2012年枯水期监测资料<sup>[8]</sup>,南通市第III承压水位埋深总体呈现中部深、东西部浅的特点。在马塘镇存在水位降落漏斗,范围  $698.41 \text{ km}^2$ ,其水位埋深超过40 m(图3)。与2011年相比,40 m埋深等值线所圈范围有所减少。

南通市2012年丰水期监测资料表明,南通市第III承压水位埋深总体呈现中部深、东西部浅的特点。南通的中东部地

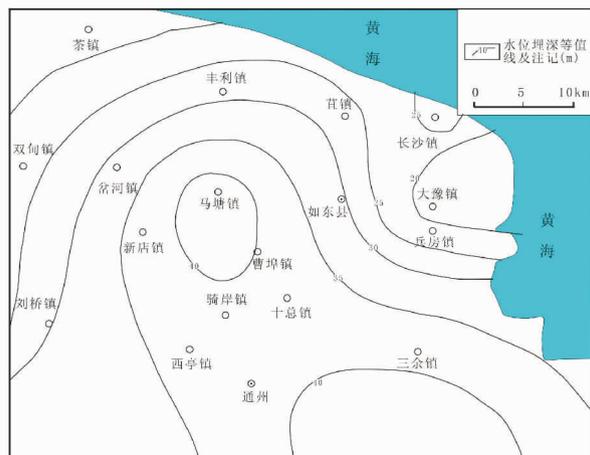


图3 2012年4月南通市第III承压水枯水期地下水位空间分布  
区水位埋深明显加深,大部分区域水位埋深超过30 m,研究区马塘镇中心区域水位埋深44.55 m,如东县城东大豫镇埋深约为25 m(图4)。如东马塘、海门三厂是两个主要的水位降落漏斗中心区,两水位降落漏斗中心区已被40 m水位埋深线圈围在一起,其影响范围达  $600 \text{ m}^2$ 。

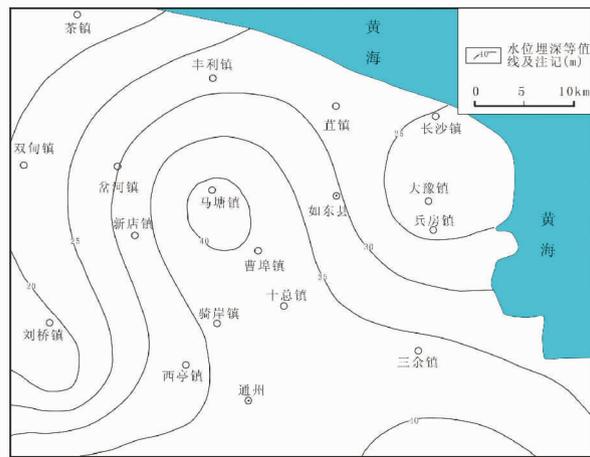


图4 2012年9月南通市第III承压水丰水期地下水位空间分布

与2011年水位监测资料比较,2012年第III承压水枯水期水位总体表现为上升趋势,最大为北渔镇东海村升幅2.69 m;2012年丰水期水位有升有降,其中北渔降幅最大为0.46 m(表2)。

表2 洋口港地区2011、2012年监测点水位埋深变化

监测点	枯水期水位埋深//m			丰水期水位埋深//m		
	2012年4月	2011年4月	变幅	2012年4月	2011年4月	变幅
如东北渔冷冻食品厂	9.08	30.00	0.92	26.25	25.96	-0.29
如东北渔东海村	28.58	31.27	2.69	25.92	26.75	0.83
如东北渔黄海村	28.45	28.44	0.01	25.75	25.29	-0.46
如东马塘水厂	43.88	44.23	0.35	44.55	-	-

**4.2 地下水水质动态** 根据南通市2012年对第III承压水质监测点地下水质量评价:总体水质良好,为II~III类水。如东县马塘水厂、如东县大豫水厂水质较好,达III类水标准。地下水水化学类型以  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  为主,其次为  $\text{ClHCO}_3\text{-Na}$ 、 $\text{HCO}_3\text{Cl-Na}$  型。多年的水质动态监测资料表明,区内主采层

第III承压水层出现水质咸化现象,矿化度有增高趋势<sup>[1]</sup>。

#### 5 结论

(1)在对区内以往地质、水文地质工作成果资料分析研究的基础上,对地下水含水层(组)进行重新认识与含水层组的划分。该次含水层划分以联系最为紧密的沉积时代为基

本研究单位,第I、II、III承压含水层分别对应上、中、下更新统,将潜水含水层和I承压含水层归入浅层孔隙水含水系统,而将II、III、IV承压含水层归入深层孔隙水含水系统。

(2)划分地下水水化学类型、对地下水质量状况进行了调查与评价。研究区潜水地下水水化学类型主要为  $\text{HCO}_3\text{-NaMgCa}$ 、 $\text{ClHCO}_3\text{-Na}$  型;潜水水质较差,主要为 IV、V 类水,溶解性总固体、总硬度、氟化物、氯化物、锰元素是最主要影响因子。远离洋口港的陆域西部深层地下水水化学类型以  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  为主,总体水质较好,为 II ~ III 类水。洋口港东部长沙镇第 III 承压地下水水化学类型主要为  $\text{Cl-NaCa}$  型水,水质极差(V类)。

(3)在地下水动态监测的基础上,分析研究了第 III 承压水动态及地下水资源开采利用诱发的环境地质问题。洋口港地区 2012 年度丰水期、枯水期水位分布空间格局呈现以测区如东县马塘镇为水位降落漏斗,漏斗中心水位埋深在枯

水期超过 45 m,而丰水期超过 40 m。随着全球变暖,黄海海平面上升,海水入侵加剧,江苏洋口港沿海陆域矿化度增高的区域地下水应加强监测保护。

参考文献

[1] 周慧芳,谭红兵,张西营,等. 江苏南通地下水补给源、水化学特征及形成机理[J]. 地球化学,2011,40(6):566-576.  
 [2] 黄敬军,陆华. 江苏沿海地区深层地下水开发利用现状及环境地质问题[J]. 水文地质工程地质,2004,31(6):64-68.  
 [3] 单卫华. 江苏南通市地下水主采层水位动态区域演变特征[J]. 江苏地质,2007,31(3):276-280  
 [4] 李从先,范代读. 全新世长江三角洲的发育及其对相邻海岸沉积体系的影响[J]. 古地理学报,2009,11(1):115-122.  
 [5] 李从先,范代读,张家强. 长江三角洲地区晚第四纪地层及潜在环境问题[J]. 海洋地质与第四纪地质,2000,20(3):1-7.  
 [6] 哈承佑,赵继昌. 南通地区地下水系统[J]. 水文地质工程地质,1990(4):8-11.  
 [7] 徐玉琳. 江苏省南通市深层含水系统地下水水质咸化特征及成因分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2002,13(2):45-49.  
 [8] 南通市国土资源局. 南通市地下水监测年报(2012年)[R]. 2013.

(上接第 221 页)

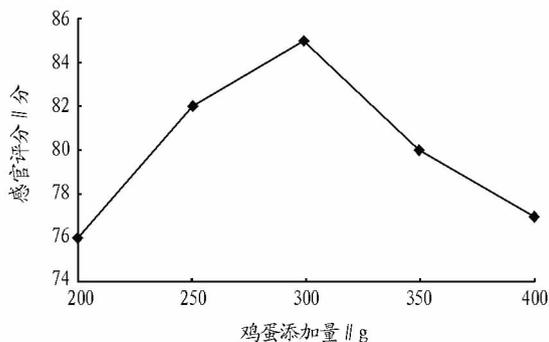


图4 鸡蛋添加量对艾草南瓜保健蛋糕品质的影响

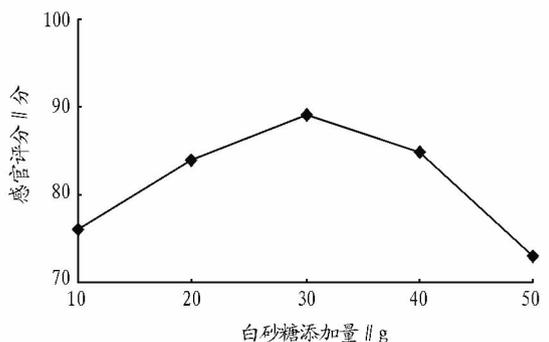


图5 白砂糖添加量对艾草南瓜保健蛋糕品质的影响

砂糖添加量为 30 g。

**2.3 验证试验** 由于正交试验极差分析得到的最优组合  $\text{A}_2\text{B}_2\text{C}_2\text{D}_1$  没有出现在正交表的 9 组试验中,因此,以组合  $\text{A}_2\text{B}_2\text{C}_2\text{D}_1$  制备艾草南瓜保健蛋糕,进行感官评定。在此工艺条件下,感官评分为 93 分,大于正交表 9 组数据中的任何一组,即蛋糕的色泽、风味最佳。因此,最佳艾草南瓜保健蛋糕工艺为  $\text{A}_2\text{B}_2\text{C}_2\text{D}_1$ ,即面粉 + 艾草用量为 (30 + 10)g,南瓜泥添加量为 50 g,鸡蛋添加量为 300 g,白砂糖添加量为 30 g。

表3  $L_9(3^4)$  正交试验结果分析

试验号	因素				感官评分/分
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	72
2	1	2	2	2	84
3	1	3	3	3	77
4	2	1	2	3	82
5	2	2	3	1	88
6	2	3	1	2	83
7	3	1	3	2	82
8	3	2	1	3	80
9	3	3	2	1	86
$K_1$	420	424	424	478	
$K_2$	486	484	484	466	
$K_3$	468	466	466	430	
R	66	60	58	48	
因素主次	A > B > C > D				
最优水平	$\text{A}_2\text{B}_2\text{C}_2\text{D}_1$				

3 结论

研究表明,艾草南瓜保健蛋糕最佳工艺为:面粉 + 艾草用量为 (30 + 10)g,南瓜泥添加量为 50 g,鸡蛋添加量为 300 g,白砂糖添加量为 30 g。在此工艺条件下,艾草南瓜保健蛋糕整体均匀、柔和,富有弹性,色泽、滋味最佳,具有较好的感官品质。

参考文献

[1] 陈忠辉. 南瓜保健蛋糕生产工艺条件的研究[J]. 食品研究与开发, 2005,26(4):75-78.  
 [2] 蔡健,华景清. 食用菌保健蛋糕的研制[J]. 食品科技,2004(7):24-29.  
 [3] 孙锋,张宽朝. 野生艾草黄酮的含量及抗氧化性研究[J]. 中国野生植物科技,2009,28(3):58-61.  
 [4] 孟俊祥. 艾草和微生物多糖对马铃薯粉丝加工特性与品质的影响[D]. 合肥:合肥工业大学,2012.  
 [5] 左耀明,叶士伶,万小兰,等. 南瓜多糖的提取、分析和降血糖试验研究[J]. 食品科学,2001,22(12):56-58.