

# 半荒漠区土壤盐度指标换算关系研究

刘旭, 迟春明\* (塔里木大学植物科学学院, 新疆阿拉尔 843300)

**摘要** 以 78 份土样数据对我国半荒漠地区土壤盐度指标的换算关系进行研究。结果表明, 该区域土壤 1:5 浸提液电导率 ( $EC_{1:5}$ ) 与盐分摩尔总浓度 ( $TEC_{1:5}$ ) 的换算关系为  $TEC_{1:5} = 11.28 \times EC_{1:5}$  ( $r^2 = 0.99, P < 0.01$ ),  $TEC_{1:5}$  与盐分质量总浓度 ( $TDS_{1:5}$ ) 的关系方程为  $TDS_{1:5} = 63.37 \times TEC_{1:5}$  ( $r^2 = 0.99, P < 0.01$ ), 由  $EC_{1:5}$  推算土壤全盐量 ( $S_t$ ) 的经验方程为  $S_t = 3.60 \times EC_{1:5}$  ( $r^2 = 0.99, P < 0.01$ )。

**关键词** 1:5 浸提液; 土壤全盐量; 盐分摩尔总浓度; 盐分质量总浓度

中图分类号 S156.4 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2013)28-11592-03

## Conversion Relationship of Salinity Indices of Salt-Affected Soils in Semi-Desert Areas

LIU Xu et al (College of Plant Science, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300)

**Abstract** Seventy-eight salt-affected soil samples in semi-desert areas were selected. Based on 1:5 soil to water extract method, data of electrical conductivity ( $EC_{1:5}$ ), total electrolyte concentration ( $TEC_{1:5}$ ), total dissolved solids ( $TDS_{1:5}$ ) and soil salt content ( $S_t$ ) were obtained. The results showed that there were significant ( $r^2 = 0.99, P < 0.01$ ) relationships between these indices such as  $TEC_{1:5} = 11.28 \times EC_{1:5}$ ,  $TDS_{1:5} = 63.37 \times TEC_{1:5}$  and  $S_t = 3.60 \times EC_{1:5}$ .

**Key words** 1:5 soil-to-water extract; Soil salt content; Total electrolyte concentration; Total dissolved solids concentration

土壤盐度指标是表示土壤盐渍化程度的参数。在盐渍土的调查、改良和开发利用过程中, 当研究盐渍土的水盐运移及分析土壤盐渍化与作物生长发育的关系时, 都必须随时监测土壤的盐渍化状况及其动态变化。对表示土壤的盐渍化情况, 目前各国有不同的习惯与方法, 如欧美等国通常采用土壤饱和浸提液的电导率 ( $EC_e$ ) 表示<sup>[1-3]</sup>, 澳大利亚采用土水比 1:5 浸提液的电导率 ( $EC_{1:5}$ ) 表示<sup>[4-5]</sup>, 我国采用土壤全盐量 ( $S_t$ ) 或土壤溶液质量浓度 ( $TDS$ ) 表示<sup>[6]</sup>, 各有优缺点。此外, 在浸提土壤时, 常使用不同的土水比。我国习惯上使用 1:5 土水比制备土壤浸提液, 然后采用残渣法或常规容量法测定, 计算得到  $S_t$  或  $TDS_{1:5}$ <sup>[7-8]</sup>。该方法具有测定精度高、适用范围广的优点, 但操作繁琐, 工作量大, 测定时间较长<sup>[9]</sup>。目前, 为了克服  $S_t$  和  $TDS_{1:5}$  测定时工作量大和操作繁琐的缺点, 我国很多盐渍区建立  $S_t$  与  $EC_{1:5}$  的经验方程, 通过  $EC_{1:5}$  快速推算  $S_t$  和  $TDS_{1:5}$ , 从而有效提高工作效率<sup>[10-11]</sup>。然而, 这些经验方程在不同区域的表达方式有所不同<sup>[12]</sup>。笔者对我国五大盐渍土集中分布区域之一的半荒漠盐渍土区<sup>[13]</sup>的土壤盐度指标换算关系进行研究, 以期对相关研究提供借鉴。

### 1 材料与方法

**1.1 试验数据** 数据来源于文献[13~16], 共 78 份土样。详细统计分析结果见表 1。

**1.2  $TDS_{1:5}$  的计算** 文中  $TDS_{1:5}$  的公式为:

$$TDS_{1:5} = S_t / 5 \quad [1]$$

式中,  $TDS_{1:5}$  为 1:5 浸提液盐分质量总浓度, g/L;  $S_t$  为土壤含盐量, g/kg。

**1.3 数据分析** 采用 SPSS12.0 进行数据分析。

### 2 结果与分析

**2.1 土壤 1:5 浸提液  $TEC$  与  $EC$  的关系及其验证** 由图 1

可知,  $TEC_{1:5}$  随  $EC_{1:5}$  的增加而增加, 并且二者间存在显著 ( $P < 0.01$ ) 的线性关系, 其方程为:

$$TEC_{1:5} = 11.28 \times EC_{1:5} \quad (n = 78, r^2 = 0.99) \quad [2]$$

式中,  $TEC_{1:5}$  为 1:5 浸提液盐分摩尔总浓度;  $EC_{1:5}$  为 1:5 浸提液电导率。

表 1 土壤 1:5 浸提液化学性质统计结果

参数	电导率 dS/m	盐分摩尔总浓度 mmol <sub>e</sub> /L	盐分质量总浓度 mg/L	全盐量 g/kg
平均值	1.56	17.88	1 192.50	5.96
最小值	0.04	0.68	86.00	0.43
最大值	10.94	118.30	7 190.00	35.95
变异系数//%	115.41	112.95	104.42	104.42

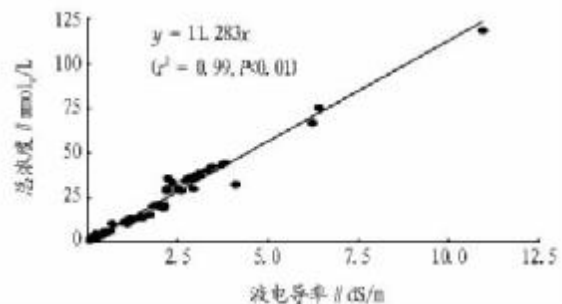


图 1 半荒漠地区盐渍土 1:5 浸提液电解质总浓度与电导率的关系

为了验证式[2]的准确性, 将 78 份土样的  $TEC_{1:5}$  的实测值分别与根据式[2]获得的计算值进行了比较分析。t 检验表明, 78 份土样  $TEC_{1:5}$  的实测平均值为 17.88 dS/m, 式[2]计算值的平均值为 17.55 dS/m。实测值的平均数与各方程计算值的平均数之间不存在显著差异 ( $P > 0.05$ ), 即可认为实测值与计算值来源于同一样本。

**2.2 土壤全盐量 - 盐分摩尔浓度相互关系及其验证** 由图 2 可知, 半荒漠地区  $S_t$  随  $TEC_{1:5}$  的增加而增加, 并且二者间存在显著 ( $P < 0.01$ ) 的线性关系, 其方程为:

$$S_t = 0.32 \times TEC_{1:5} \quad (n = 78, r^2 = 0.99) \quad [3]$$

式中,  $S_t$  为土壤全盐量;  $TEC_{1:5}$  为 1:5 浸提液盐分摩尔总浓度。

**基金项目** 国家自然科学基金项目 (41161037)。

**作者简介** 刘旭 (1982 - ), 女, 吉林长春人, 讲师, 硕士, 从事园林植物与盐渍土环境方面的研究。\* 通讯作者, 副教授, 博士, 从事盐渍土生态方面的研究, E-mail: chichunming@126.com。

**收稿日期** 2013-09-02

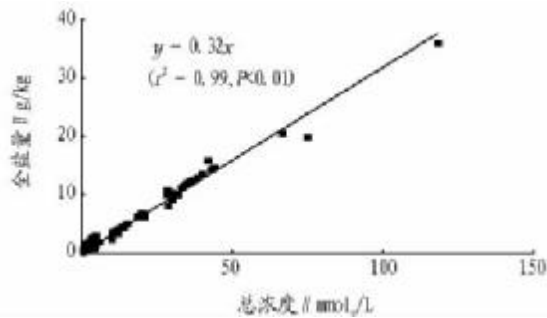


图2 半荒漠地区土壤含盐量与1:5浸提液电解质总浓度的关系

为了验证式[3]的准确性,将78份土样的 $TEC_{1:5}$ 的实测值分别与根据式[3]获得的计算值进行了比较分析。 $t$ 检验表明,78份土样 $S_t$ 的实测平均值为5.96 g/kg,式[3]计算值的平均值为5.72 g/kg。实测值的平均数与各方程计算值的平均数之间不存在显著差异( $P > 0.05$ ),即可认为实测值与计算值来源于同一样本。

**2.3 土壤盐分质量浓度与盐分摩尔浓度的关系及其验证** 半荒漠地区 $TDS_{1:5}$ 与 $TEC_{1:5}$ 的关系可以通过2种方法获得。一种方法是由实测 $TDS_{1:5}$ 与 $TEC_{1:5}$ 数据拟合而成,将 $TDS_{1:5}$ 的单位换算成mg/L,其方程为:

$$TDS_{1:5} = 63.37 \times TEC_{1:5} \quad (n = 78, r^2 = 0.99) \quad [4]$$

式中, $TDS_{1:5}$ 为1:5浸提液盐分质量浓度; $TEC_{1:5}$ 为1:5浸提液盐分摩尔总浓度。该方程具有显著统计学意义( $P < 0.01$ )。

另外,将式[3]代入式[1],也可得半荒漠地区 $TDS_{1:5}$ 与 $TEC_{1:5}$ 的关系,将 $TDS_{1:5}$ 的单位换算成mg/L,其方程为:

$$TDS_{1:5} = 64.00 \times TEC_{1:5} \quad [5]$$

式中, $TDS_{1:5}$ 为1:5浸提液盐分质量浓度; $TEC_{1:5}$ 为1:5浸提液盐分摩尔总浓度。

为了验证式[4]和[5]的准确性,将78份土样的 $TDS_{1:5}$ 的实测值分别与根据式[4]和[5]获得的计算值进行了比较分析。 $t$ 检验表明,78份土样 $TDS_{1:5}$ 的实测平均值为1 192.50 mg/L,式[4]和[5]计算值的平均值分别为1 133.07和1 144.34 mg/L。实测值的平均数与各方程计算值的平均数之间不存在显著差异( $P > 0.05$ ),即可认为实测值与计算值来源于同一样本。

另外,将实测值与式[4]和[5]的计算值进行回归分析,结果表明式[4]的计算值与实测值间存在显著的线性关系, $y = 1.03x - 84.39$  ( $r^2 = 0.98, P < 0.01$ );式[5]的计算值与实测值间也存在显著的线性关系, $y = 1.03x - 85.23$  ( $r^2 = 0.98, P < 0.01$ )。理论上,如果计算值与实测值相等,那么回归直线的斜率应该为1,常数项应该为0, $r^2$ 应该为1。实测值与计算值的线性回归方程的 $r^2$ 同为0.98,斜率同为1.03,常数项-84.39比-85.23更接近0。因此,式[5]的预测效果好于式[4]。因此,式[5]可以用于 $TDS_{1:5}$ 与 $TEC_{1:5}$ 的换算。

**2.4 土壤盐分质量浓度与电导率的关系及其验证** 同样, $TDS_{1:5}$ 与 $EC_{1:5}$ 的关系也可通过拟合与方程代换2种方法获得。实测数据拟合得到的 $TDS_{1:5}$ 与 $EC_{1:5}$ 半荒漠地区经验方程为:

$$TDS_{1:5} = 716.03 \times EC_{1:5} \quad (n = 78, r^2 = 0.95) \quad [6]$$

该方程具有极限值统计学意义( $P < 0.01$ )。另外,将式[1]代入式[4]和[5],也可得 $TDS_{1:5}$ 与 $EC_{1:5}$ 的关系,其方程为:

$$TDS_{1:5} = 714.81 \times EC_{1:5} \quad [7]$$

$$TDS_{1:5} = 721.92 \times EC_{1:5} \quad [8]$$

式中, $TDS_{1:5}$ 为1:5浸提液盐分质量浓度; $EC_{1:5}$ 为1:5浸提液电导率。

将 $TDS_{1:5}$ 的实测值分别与根据式[6]、[7]和[8]获得的计算值进行比较。 $t$ 检验表明,78份土样 $TDS_{1:5}$ 的实测平均值为1 192.50 mg/L,式[6]、[7]和[8]计算值的平均值分别为1 113.90、1 112.01和1 123.07 mg/L。实测值的平均数与各方程计算值的平均数之间不存在显著差异( $P > 0.05$ ),即可认为实测值与计算值来源于同一样本。

**2.5 土壤全盐量与 $EC_{1:5}$ 相互关系方程** 使用实测数据对 $S_t$ 与 $EC_{1:5}$ 关系进行拟合,其方程为:

$$S_t = 3.58 \times EC_{1:5} \quad (n = 78, r^2 = 0.95) \quad [9]$$

该方程具有极限值统计学意义( $P < 0.01$ )。另外,将式[2]代入式[3],得到半荒漠地区 $S_t$ 与 $EC_{1:5}$ 的关系,其方程为:

$$S_t = 3.61 \times EC_{1:5} \quad [10]$$

式中, $S_t$ 为土壤全盐量; $EC_{1:5}$ 为1:5浸提液电导率。观察式[9]与[10]可知, $S_t$ 与 $EC_{1:5}$ 关系方程的换算系数非常接近3.60。因此,为方便计算,可以记为 $S_t$ 3.60倍于 $EC_{1:5}$ ,即

$$S_t = 3.60 \times EC_{1:5} \quad [11]$$

为了验证式[9]、[10]、[11]的准确性,将 $S_t$ 的实测值分别与根据式[9]、[10]、[11]获得的计算值进行比较分析。 $t$ 检验表明,78份土样 $S_t$ 的实测平均值为5.96 g/kg,式[9]、[10]、[11]计算值的平均值分别为5.57、5.62和5.60 g/kg。实测值的平均数与各方程计算值的平均数之间不存在显著差异( $P > 0.05$ ),即可认为实测值与计算值来源于同一样本。

另外,将实测值与式[9]、[10]、[11]的计算值进行回归线性分析。其线性回归方程分别为 $y = 1.01x - 0.45$  ( $r^2 = 0.95, P < 0.01$ ), $y = 1.02x - 0.45$  ( $r^2 = 0.95, P < 0.01$ )和 $y = 1.01x - 0.45$  ( $r^2 = 0.95, P < 0.01$ )。理论上,如果计算值( $y$ )与实测值( $x$ )相等,那么回归直线的斜率应该为1,常数项应该为0, $r^2$ 应该为1。3个线性方程两者的 $r^2$ 同为0.95,常数项同为-0.45,斜率分别为1.01、1.02和1.01。因此,式[9]和[11]的预测效果略好于式[10]。因此,可采用式[11],由 $EC_{1:5}$ 推算 $S_t$ 。

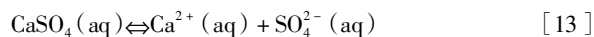
**2.6 浸提液 $EC_{1:5}$ 与 $TEC_{1:5}$ 的关系** 研究中,南疆盐渍土 $EC_{1:5}$ 与 $TEC_{1:5}$ 间的换算系数是11.28。这与国内外其他研究结果有所不同。目前,美国<sup>[1]</sup>、澳大利亚<sup>[5,17]</sup>以及我国的黄淮海平原<sup>[18]</sup>和东北地区<sup>[19]</sup>的盐渍土 $EC$ 与 $TEC_{1:5}$ 的换算系数均为10左右,即

$$TEC_{1:5} \approx 10 \times EC_{1:5} \quad [12]$$

在盐渍土相关研究中,式[12]已被普遍证实并被广泛采用。但是,有研究表明,由 $EC$ 推算 $TEC$ 的转换系数会随土壤中 $CaSO_4$ 含量的增加而升高<sup>[1]</sup>。

研究中,式[2]斜率明显高于式[12]斜率的原因可能是

半荒漠地区盐渍土中含有大量的微溶性的  $\text{CaSO}_4$  [6], 以致其在 1:5 浸提液 中达到饱和状态。在  $\text{CaSO}_4$  的饱和溶液中存在如下电离平衡:



式 [13] 表明,  $\text{CaSO}_4$  溶于水后, 一部分以未电离的形式存在, 一部分以电离后的离子形式存在。而浸提液的  $EC$  与离子的浓度、电荷价位有关, 因此, 就  $\text{CaSO}_4$  而言, 它对  $EC_{1:5}$  的影响取决于  $\text{Ca}^{2+}$  或  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度。当测定浸提液  $EC_{1:5}$  时,  $\text{Ca}^{2+}$  或  $\text{SO}_4^{2-}$  对应的浓度可以称为实际浓度; 但是, 当测定  $\text{Ca}^{2+}$  或  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度时 (以滴定法为例), 如果浸提液为饱和溶液  $\text{CaSO}_4$ , 式 [9] 平衡会向右进行, 因而最终得到的  $\text{Ca}^{2+}$  或  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度 (可称之为测定浓度) 要比实际浓度高。因此, 最终通过加和的方式获得的  $TEC_{1:5}$  要比浸提液实际的  $TEC_{1:5}$  偏高。当拟合方程时,  $TEC_{1:5}$  与  $EC_{1:5}$  间的换算系数比实际情况偏高。

**2.7 浸提液  $TDS_{1:5}$  与  $TEC_{1:5}$ 、 $EC_{1:5}$  的关系** 在以往研究中, 无论是土壤浸提液还是土壤溶液, 其  $TDS$  与  $TEC$  的关系方程 [1] 为:

$$TDS = 64.00 \times TEC \quad [14]$$

式中,  $TDS$  为土壤浸提液或土壤溶液盐分质量总浓度;  $TEC$  为土壤浸提液或土壤溶液盐分摩尔总浓度。式 [5] 与式 [14] 的换算系数完全相同, 因此半荒漠地区  $TDS_{1:5}$  与  $TEC_{1:5}$  未受  $\text{CaSO}_4$  溶解的影响。

就  $TDS$  与  $EC$  的关系而言, 目前通常采用的关系方程为:

$$TDS = 640 \times EC \quad [15]$$

式中,  $TDS$  为土壤浸提液或土壤溶液盐分质量浓度;  $EC$  为土壤浸提液或土壤溶液电导率。而研究中,  $TDS_{1:5}$  与  $EC_{1:5}$  关系方程 (式 [6]、[7]、[8]) 的斜率明显高于式 [15] 的斜率, 这主要是由于半荒漠地区  $TEC_{1:5}$  与  $EC_{1:5}$  关系方程 (式 [2]) 的斜率高于 10.00, 因此将式 [2] 代入式 [5] 后, 得到的  $TDS_{1:5}$  与  $EC_{1:5}$  关系方程的斜率偏高。因此, 半荒漠地区盐渍土中由于含较高  $\text{CaSO}_4$ ,  $EC_{1:5}$  推算  $TEC_{1:5}$  的换算系数偏高, 进而导致  $EC_{1:5}$  推算  $TDS_{1:5}$  的换算系数偏高。

**2.8 土壤全盐量与  $EC_{1:5}$  的关系** 文中,  $EC_{1:5}$  推算  $S_t$  的换算系数为 3.60, 而在滨海盐渍土中其换算系数接近 3.20。其

原因同样可能是  $\text{CaSO}_4$  的存在致使  $EC_{1:5}$  推算  $TEC_{1:5}$  的换算系数偏高, 导致  $EC_{1:5}$  推算  $S_t$  的换算系数偏高。

### 3 结论

半荒漠地区盐渍土中由于含有较高的  $\text{CaSO}_4$ , 其  $EC_{1:5}$  推算  $TEC_{1:5}$  的转化系数较滨海地区盐渍土偏高, 导致由  $EC_{1:5}$  推算  $TDS_{1:5}$  或  $S_t$  的转换系数偏高。在该地区, 可使用方程  $S_t = 3.60 \times EC_{1:5}$ , 由  $EC_{1:5}$  快速推算  $S_t$ 。

### 参考文献

- [1] USDA. Diagnoses and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook No. 60 [M]. Riverside: United States Salinity Laboratory, 1954.
- [2] RHOADES J D, MANTEGHI N A, SHOUSE P J, et al. Estimating soil salinity from saturated soil paste electrical conductivity [J]. Soil Science Society of America Journal, 1989, 53: 428 - 433.
- [3] AYERS R S, WESTCOT D W. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 [M]. Rome: FAO, 1985.
- [4] SUMNER M E, NAIDU N. Sodic Soils: Distribution, Properties, Management, and Environmental Consequences [M]. New York: Oxford University Press, 1998.
- [5] SUMNER M E. Sodic Soils: New Perspectives [J]. Australian Journal of Soil Research, 1993, 31: 683 - 750.
- [6] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土 [M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [8] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [9] 王艳, 王正祥, 廉晓娟, 等. 天津滨海地区土壤电导率的测定及其与含盐量的关系 [J]. 天津农业科学, 2011, 17(2): 18 - 21.
- [10] 石元春, 李韵珠, 陆锦文, 等. 盐渍土的水盐运动 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1986.
- [11] 刘广明, 杨劲松, 姚荣江. 影响土壤浸提液电导率的盐分化学性质要素及其强度研究 [J]. 土壤学报, 2005, 42(2): 247 - 252.
- [12] 蔡阿兴, 陈章英, 蒋正琦, 等. 我国不同盐渍地区盐分含量与电导率的关系 [J]. 土壤, 1997(1): 54 - 57.
- [13] 张晓琴, 刘虎俊, 胡明贵. 电导法测定甘肃临泽小泉子地区土壤含盐量探讨 [J]. 甘肃林业科技, 2000, 25(1): 15 - 19.
- [14] 王谿. 电导法测定土壤可溶盐分总量中离子组成对全盐计算值的影响 [J]. 甘肃农业科技, 1980(6): 14 - 17.
- [15] 贺锦喜, 牛颖. 哲盟宜林地土壤电导率与可溶盐总量回归方程的推导 [J]. 内蒙古林业科技, 1997(2): 40 - 43.
- [16] 张建旗, 张继娜, 杨虎德, 等. 兰州地区土壤电导率与盐分含量关系研究 [J]. 甘肃林业科技, 2009, 34(2): 21 - 25.
- [17] SUMNER M E, NAIDU N. Sodic Soils: Distribution, Properties, Management, and Environmental Consequences [M]. New York: Oxford University Press, 1998.
- [18] 石元春, 李韵珠, 陆锦文, 等. 盐渍土的水盐运动 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1986.
- [19] CHI C M, WANG Z C. Characterizing Salt-affected Soils of Songnen Plain Using Saturated Paste and 1:5 Soil-to-Water Extract Methods [J]. Arid Land Research and Management, 2010, 24(1): 1 - 11.

(上接第 11571 页)

$^{\circ}\text{C}$  下煎炸 40 min 虾油和螃蟹油在油色和香气方面的特征优势已基本消失, 在外观上与豆油接近。随着煎炸时间的延长, 虾油和螃蟹油的物理指标均发生不同程度的变化, 其中酸值和过氧化值上升, 碘值下降。在煎炸条件下, 虾油和螃蟹油的氧化稳定性略低于豆油和芝麻香油, 在 40 min 内虾油和螃蟹油的理化指标数值表明油脂质量仍在较安全范围内。

### 参考文献

- [1] 陈天忠, 姚敏和, 文利. 虾头、虾壳资源综合利用研究进展 [J]. 河南饲料, 2006(4): 35 - 36.
- [2] 杜正彩, 邓家刚, 王志萍, 等. 蟹壳化学成分与药理作用研究进展 [J].

安徽农业科学, 2011, 39(17): 10503 - 10505.

- [3] 李萍, 刘国琴. 几种油溶性抗氧化剂在不同油品中的抗氧化研究 [J]. 农业加工创新版, 2012(6): 50 - 55.
- [4] 张蕊, 祖丽亚, 樊铁. 不同条件下大豆油氧化指标的比较 [J]. 中国粮油学报, 2007, 22(3): 112 - 114.
- [5] 南京经济学院. GB/T 5538 - 2005 动植物油脂过氧化值测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [6] 上海市卫生防疫站. GB/T 5009.37 - 2003 食用植物油卫生标准的分析方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [7] 武汉工业学院. GB/T 5532 - 2008 动植物油脂碘值的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [8] 商业部粮食储运局. GB/T 5525 - 2004 植物油脂透明度、气味、滋味鉴定法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [9] 李东锐, 毕艳兰, 肖新生, 等. 食用油炸过程中的品质变化研究 [J]. 中国油脂, 2006(6): 34 - 36.