

山西省核桃油脂含量对生态因子的空间响应

杜意鸿¹, 常月梅², 高俊仙²

(1. 北京林业大学 林学院, 北京 100083; 2. 山西省林业科学研究院, 太原 030012)

摘要:为研究生态因子对山西省核桃油脂含量的影响,通过测定山西省10个地市的174份核桃样本数据及收集的气象资料数据,采用空间自相关性分析和地理加权回归模型,从地理信息角度对山西省核桃油脂含量受年均降水量、无霜期、年平均气温、六月平均气温、七月平均气温、八月平均气温等生态因子影响的响应情况进行了分析。结果表明:核桃油脂含量与年平均气温呈极显著负相关,相关系数为-2.288 4,与七月平均气温和无霜期呈显著负相关,相关系数分别为-3.990 5、-0.037 1,与八月平均气温呈极显著正相关,相关系数为6.912 3;年平均气温和七月平均气温对核桃油脂含量的影响程度由北向南逐渐递增,八月平均气温对油脂含量的正向贡献由北向南逐渐降低;油脂含量对无霜期的依赖程度由东向西逐渐递减。较低的年平均气温、较低的七月平均气温、较高的八月平均气温和较短的无霜期可显著提高核桃油脂含量。

关键词:核桃;油脂含量;生态因子;空间响应

中图分类号:TS221;Q948

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2020)09-0128-06

Spatial response of walnut oil content to ecological factors

DU Yihong¹, CHANG Yuemei², GAO Junxian²

(1. College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Shanxi Academy of Forestry Sciences, Taiyuan 030012, China)

Abstract: To study the influence of ecological factors on the oil content of walnut from Shanxi province, the oil contents of 174 walnut samples from 10 cities in Shanxi province were determined and the corresponding meteorological data were collected, and the spatial autocorrelation analysis and geographic weighted regression model were used to explore the spatial correspondence of walnut oil content to ecological factors including annual average precipitation, annual average temperature, average temperature in June, July, August, frost-less period, etc. The results showed that extremely significant negative correlation was observed between walnut oil content and the annual average temperature ($r = -2.288 4$); the walnut oil content was negatively and significantly correlated with average temperature in July and the frost-less period ($r = -3.990 5$, $r = -0.037 1$); extremely significant positive correlation was observed between walnut oil content and average temperature in August ($r = 6.912 3$). The negative influence degree of annual average temperature and average temperature in July increased from north to south. The average temperature in August had decreasing positive contribution to walnut oil content from north to south. The dependent degree of frost-less period also decreased from east to west in Shanxi province. The lower annual average temperature, the lower average temperature in July, the higher average temperature in August and the shorter frost-free period could significantly increase the oil content of walnut.

Key words: walnut; oil content; ecological factor; spatial response

收稿日期:2020-05-28;修回日期:2020-06-28

基金项目:山西省重点研发计划(2016010301100398);国家级大学生创新创业训练项目(G201910022004)

作者简介:杜意鸿(1999),女,在读本科,专业为地理信息科学(E-mail)tyduyh@163.com。

通信作者:常月梅,正高级工程师(E-mail)changym88@163.com。

核桃(*Juglans regia*)作为我国重要的木本油料树种,其果实营养丰富,食用价值高,是一种集脂肪、蛋白质、糖类、膳食纤维、维生素五大营养要素于一

体的优质坚果^[1-2],其中脂肪含量最为丰富,占核仁的65%左右,有“树上油库”的美誉。在核桃栽培中,核桃油脂含量高低是评价核桃品质的重要指标之一,在发展木本植物油脂生产中具有重要意义。

生态因子对植物油料含油量具有一定影响。张友贵等^[3]研究油菜得出,六月份平均最高温度与油菜籽含油量呈显著负相关。降水量对油菜籽含油量累积有影响,适当的降水量有利于含油量的累积^[4-6]。Piper等^[7]研究了温度和栽培措施对大豆含油量的影响,在14.6~28.7℃的范围内,大豆含油量随着温度的升高而上升。廖玉芳等^[8]研究认为影响油茶鲜果含油率的关键气候指标分别是年极端最高气温、果实膨大高峰期间日最高气温不小于37℃的天数、年日最高气温不小于37℃的天数,这3个气候指标与鲜果含油率均呈负相关。Chang等^[9]分析认为,年均温度低的区域核桃油脂含量较年均温度高的区域油脂含量高。朱振宝等^[10]测定了云南、新疆、陕西、甘肃、山西、河北不同产地核桃仁中核桃油的脂肪酸组成及含量,并进行了差异分析和变异分析。上述研究涉及到对影响植物油料油脂含量的生态因子分析但限于常规数理统计方法上的局限,只能简单地反映研究区的总体情况,忽略了地理位置以及基于位置的变化情况对油脂含量的影响,因此难以作出准确分析。

空间回归分析被广泛应用于地理学、社会学、气象学等多种领域。张凤英等^[11]利用地理加权回归(GWR)模型得出海拔、潜在蒸散量和最暖季降雨量是影响川渝壳斗科植物物种丰富度的主要因子,且影响程度表现出明显的空间差异性。高艺宁等^[12]研究了草地生态质量的空间差异及其影响因素,得出GWR模型的拟合度高于传统OLS方法。空间相关分析的方法已经在经济学、生态研究等方面取得了成功^[13-14],但在油料植物研究上还较少,尤其有关生态因子在核桃的研究上较少,核桃中油脂含量受到哪些生态因子的影响,不同地区的核桃中油脂含量对空间特性如何响应等亟待研究。

本文运用空间回归分析方法,构建相关空间模型,探讨山西省生态因子与核桃油脂含量之间的关系,从而掌握核桃油脂在空间上的作用效应和空间聚集规律,发挥山西省不同地区自然生态因子的优势,为高油核桃合理布局提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

核桃果,根据山西省核桃分布情况,收集10个地市共174份核桃果实样品。

1.2 试验方法

1.2.1 核桃仁油脂含量测定

核桃果去壳,取仁,然后按照GB 5009.6—2016测定油脂含量。

1.2.2 核桃油脂脂肪酸组成测定

将1.2.1得到的核桃油按GB/T 17376—1998制备脂肪酸甲酯,再按GB/T 17377—1998采用气相色谱法分析脂肪酸组成。

1.2.3 生态因子的采集

生态因子数据来自于中国气象数据网(<http://data.cma.cn>),样本期为20年(1995—2015年),包含年平均气温、年均降水量、无霜期、六月平均气温、七月平均气温、八月平均气温、年极端最高气温、年极端最低气温、年日照时数。海拔高度、经度和纬度在采集样品时由手持GPS仪读出。

1.2.4 数据处理与分析

采用Excel 2010进行数据的描述统计分析;利用GeoDa 1.14.0统计软件完成空间相关分析^[15],构建核桃油脂含量与生态因子间的空间计量模型;使用Arc GIS 10.2地理信息系统软件进行GWR模型分析,完成空间分析及图表制作。

2 结果与讨论

2.1 山西省核桃产地的生态因子

山西省地形狭长,南北地理跨度大,纬度相差6.3°。山西省南北气候差异显著,各地气温总体分布趋势为由北向南升高,由盆地向高山降低;降水量分布不均,由东南到西北递减。核桃主要分布在山西省中部和南部地区,北部仅在大同市的灵丘县有少量分布。由于地理纬度和海拔的差异,造成不同产区核桃品质受地形和气候的影响较大。山西省核桃产地生态因子变化情况见表1。

表1 山西省核桃产地生态因子变化情况

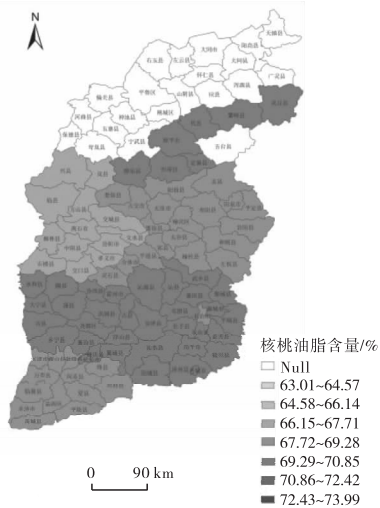
项目	极大值	极小值	均值	标准差	变异系数/%
年平均气温/℃	13.5	7.3	10.68	1.72	16.12
六月平均气温/℃	25.6	20.5	22.42	1.67	7.45
七月平均气温/℃	26.8	20.0	24.18	1.63	6.76
八月平均气温/℃	24.9	18.2	22.39	1.67	7.45
无霜期/d	230	160	185	29.90	16.16
年均降水量/mm	673.6	377.2	525.0	52.99	10.08
年日照时数/h	2 906.5	257.4	2 528.63	323.41	12.79
极端高温/℃	41.9	30.0	38.70	2.84	7.33
极端低温/℃	-19.1	-33.0	-23.12	4.99	21.60

由表1可见:年平均气温介于7.3~13.5℃之间,变异系数为16.12%;六月平均气温介于20.5~

25.6℃之间,变异系数为7.45%;七月平均气温介于20.0~26.8℃,变异系数为6.76%;八月平均气温介于18.2~24.9℃之间,变异系数为7.45%;无霜期介于160~230 d之间,变异系数为16.16%;年均降水量介于377.2~673.6 mm之间,变异系数为10.08%;年日照时数介于257.4~2 906.5 h之间,变异系数为12.79%;极端高温介于30.0~41.9℃,变异系数为7.33%;极端低温介于-19.1~-33.0℃,变异系数为21.60%。

2.2 核桃油脂含量的空间分布特征

山西省10个地市的174份核桃资源核桃油脂含量(以仁中计,下同)的平均值为69.02%,较高于李国和^[16]研究的四川核桃种仁油脂含量66%的结果,说明山西省的核桃属于高油脂类核桃。山西省不同地理来源的资源核桃油脂含量变化较大,变异范围61.74%~74.47%。山西省不同区域的核桃油脂含量空间分布见图1。由图1可见,山西省中南部地区和北部部分县市核桃油脂含量较高,主要集中在临汾市、长治市、忻州市各县区。



注:山西省西北部的大同市、朔州市由于受海拔和温度的影响,不适宜核桃树的生长,在实际取样中仅有灵丘县样本,其余县市数据为空。

图1 山西省各县(区)核桃油脂含量空间分布

2.3 核桃油脂含量与生态因子的空间相关性分析

2.3.1 核桃油脂含量空间自相关分析

采用Moran's I指数检验山西省不同区域核桃油脂含量是否表现出空间上的相关性。空间计量方法的关键是空间矩阵的确定,采用是否相邻作为确定空间矩阵值的标准,根据Rook邻近法则,定义仅有共同边界的两块区域为邻居。两区域相邻时,空间权重为1,两区域不相邻时,空间权重为0。山西省各区域核桃油脂含量Moran's I的散点多集中于

第一、第三象限(见图2),经相关检验,Moran's I值为0.342 1,Z得分2.189 5,在5%的统计水平上显著,说明山西省各县(区)核桃油脂含量在空间上并非随机分布,而是存在相互影响的情况,表现出空间上的相关性。即高油脂含量的核桃在空间位置的分布上相互邻近,其分布位置邻近的县区核桃油脂含量相对较高;同样,低油脂含量的核桃在空间位置的分布上也相互邻近,其分布位置邻近的县区核桃油脂含量相对较低,因而分析核桃油脂含量和生态因子关系时不能忽视空间因素产生的影响,需要在经典回归模型中引入地理空间变量的影响,利用空间计量模型进行深入分析。

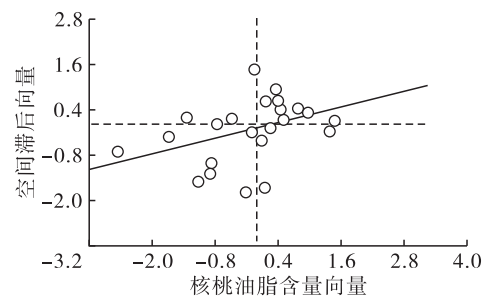


图2 山西省各区域核桃油脂含量Moran's I的结果

2.3.2 生态因子和核桃油脂含量的相关性

基于空间计量方法,构建出空间滞后模型(SLM)和空间误差模型(SEM)两种空间计量模型,其相关参数见表2。由表2可见,SLM和SEM的 R^2 分别为0.475 3和0.408 7,0.475 3>0.408 7,因此SLM相较于SEM拟合度较好。核桃油脂含量的自相关系数为-0.020 7,在5%水平上显著,说明利用SLM可去除不同区域间核桃油脂含量的自相关影响。SLM中,年平均气温与核桃油脂含量间相关系数为-2.288 4,呈极显著负相关;七月平均气温和无霜期与核桃油脂含量的相关系数(r)分别为-3.990 5和-0.037 1,呈显著负相关;八月平均气温与核桃油脂含量的相关系数为6.912 3,呈极显著正相关。即年平均气温降低1%,油脂含量增加2.29%;七月平均气温降低1%,油脂含量增加3.99%;无霜期天数减少1%,油脂含量增加0.04%;八月平均气温升高1%,油脂含量增加6.91%。而年均降水量、六月平均气温、极端高温、极端低温和年日照时数对核桃油脂含量没有显著影响。其中七月平均气温较高不利于油脂积累与张友贵等^[3]对于油菜籽含油量关于脂肪形成期的研究结果一致。因此,栽植核桃时,应选择年平均气温低和七月平均气温较低、无霜期较短、八月平均气温较高的区域,这样有利于产出高油脂核桃。

表2 生态因子对核桃油脂含量影响的空间计量结果

项目	SLM	SEM
油脂含量	-0.020 7 **	
常数	66.697 4 ***	64.465 4
年平均气温	-2.288 4 ***	-2.337 8 ***
年均降水量	-0.001 5	0.000 7
六月平均气温	-0.244 2	1.093 9
七月平均气温	-3.990 5 **	-4.926 2
八月平均气温	6.912 3 ***	6.394 8 **
无霜期	-0.037 1 **	-0.026 7 **
极端高温	-0.202 6	-0.125 0
极端低温	0.006 0	0.040 9
年日照时数	-0.003 6	-0.003 7
R ²	0.475 3	0.408 7

注: **、*** 分别表示在5%和1%的统计水平上显著。

2.4 生态因子对核桃油脂含量影响的空间差异性

为了进一步研究山西省不同区域的核桃油脂含量与生态因子之间的关系,将同一因素的不同影响力在地图上可视化表达,进行了GWR模型分析。地理加权选择空间邻接矩阵作为空间权函数,回归利用最小二乘法得到回归参数。由于GWR分析时,需要限制变量之间的共线性,即VIF值必须小于30,所以被解释变量选用核桃油脂含量,解释变量选用SLM中有显著影响的年平均气温、七月平均气温、八月平均气温和无霜期。通过使用Fix核类型创建核表面,利用AIC方法以最小信息准则决定最佳带宽的地理加权分析,得到分析结果,见图3~图6。

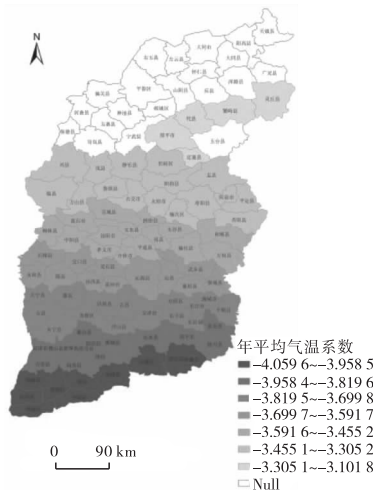


图3 地理加权回归的年平均气温系数

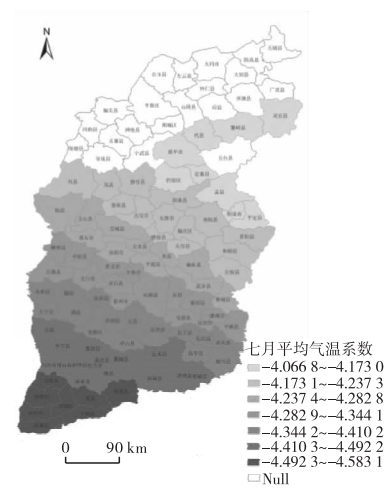


图4 地理加权回归的七月平均气温系数

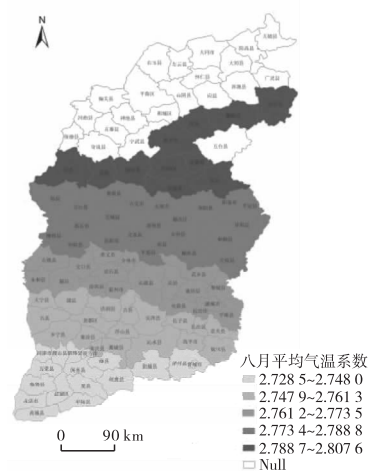


图5 地理加权回归的八月平均气温系数

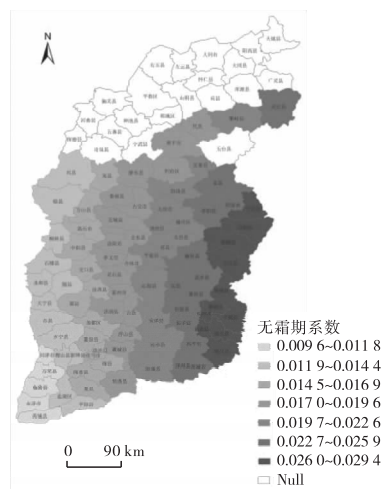


图6 地理加权回归的无霜期系数

由图3~图6可见,各回归系数的分布呈现出地带性规律。年平均气温与七月平均气温的空间相关系数均为负,影响力度都呈现出由北向南依次递增的趋势(见图3、图4),说明年平均气温和七月平

均气温对核桃油脂积累的抑制作用也由北向南逐渐递增。年平均气温和七月平均气温对核桃油脂含量的影响程度与气温在山西省的空间分布规律一致,气温越高的地区,年平均气温和七月平均气温对核

桃油脂含量的影响越大。因此,山西中部和南部地区在七月适当采取园地灌水或树体喷水等措施降低核桃生长温度会对核桃油脂含量的提高有显著效果。

图5反映了八月平均气温对核桃油脂含量的正向影响,影响力度由北向南逐渐递减。说明八月平均气温对核桃油脂含量的影响由北向南逐渐减小。八月平均气温对核桃油脂含量的影响程度与八月平均气温在山西省的空间分布规律相反,气温越低的地区,八月平均气温对核桃油脂含量的影响越大。因此,在山西中北部栽培核桃时,注意选择八月平均气温较高的县区栽植。

图6反映了无霜期对核桃油脂含量的正向影

响,影响力度由东向西逐渐递减。高值区为山西省东部地区,如平顺县、左权县、和顺县等,该区域增长无霜期将会显著提高核桃油脂含量,低值区为山西省西南部区域,如永济县、万荣县、芮城县、临猗县等,该区域增长无霜期对核桃油脂含量的影响不大。因此,在高值区域即山西东部区域栽培核桃,对无霜期的依赖程度大,应注意选择低海拔区域,减少霜冻对核桃生长的影响,增加核桃油脂含量。

2.5 八月平均气温对核桃油脂脂肪酸的影响

选取与核桃油脂含量相关性最强的八月平均气温生态因子低、中、高3组水平的核桃进行核桃油脂脂肪酸组成和含量分析,比较核桃油品质,结果见表3。

表3 八月平均气温水平对核桃油脂脂肪酸组成和含量的影响

平均气温水平	气温/℃	地点	脂肪酸含量/%				
			棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸
八月低温	19.5	陵川	6.51	2.02	15.89	61.80	13.77
八月中温	22.2	汾阳	6.23	1.71	21.42	61.01	9.23
八月高温	24.5	运城	7.97	3.20	16.23	61.07	11.53

从表3可以看出,无论八月平均气温是哪种水平,核桃油脂脂肪酸组成中均以亚油酸含量最高,其次为油酸、亚麻酸、棕榈酸、硬脂酸等,八月平均气温的低、中、高水平不能改变这种特点,这与核桃自身的遗传特性有关。

亚油酸在人体内通过代谢转变为花生四烯酸,对于合成磷脂和前列腺素具有重要作用,同时亚油酸可防止血清中胆固醇的增加和沉积,软化血管,防止高血压和心血管疾病。因此,核桃油中亚油酸含量的高低,是评价油脂品质的重要指标之一。显然,八月平均气温生态因子对核桃油的主要脂肪酸亚油酸的影响不大。

八月平均气温对核桃油中亚麻酸和油酸含量有一定影响。八月平均气温较低的地区,核桃油具有最高的亚麻酸含量水平(13.77%),而中温地区具有最高的油酸含量水平(21.42%),这与Chang等^[9]的研究结果不一致,可能是脂肪酸组成和含量受产地、年份影响所致。亚麻酸由于具有3个不饱和键,属于多不饱和脂肪酸,具有很强的生理活性,但易于氧化,油脂品质下降。从生产高耐贮性核桃油来看,亚麻酸含量低的核桃更加有优势。从表3还可以看出,亚麻酸的含量与油酸含量具有一定的此消彼长关系,通常核桃油中油酸含量越高,就越稳定。考虑到核桃油的贮藏性和货架寿命,八月平均气温为中等温度的地区可能是生产耐贮高油核桃的较好地

区。因此,后续还要在生态因子的空间响应方面加强对核桃油脂脂肪酸的探索研究,从而满足对核桃油的商品性消费需求。

3 结论

(1)采用空间计量方法建立了山西省核桃油脂含量和生态因子的空间滞后模型。结果说明较低的年平均气温、较低的七月平均气温、较高的八月平均气温和较短的无霜期可显著提高核桃油脂含量。

(2)采用地理加权回归模型从空间异质性方面解释了山西省核桃油脂含量对生态因子的响应程度。年平均气温和七月平均气温对核桃油脂含量存在负影响,影响程度由北向南逐渐递增;八月平均气温对油脂含量的正向贡献由北向南逐渐降低;核桃油脂含量对无霜期的依赖程度由东向西逐渐递减。

(3)山西中部和南部地区在七月适当采取园地灌水或树体喷水等措施降低核桃生长温度会对核桃油脂含量的提高有显著效果。选择年平均气温较低、八月平均气温较高的地区进行核桃栽培有利于产出高油脂核桃。八月平均气温高低对核桃油中亚油酸含量影响不大,但可以影响油酸和亚麻酸的含量。在山西东部地区栽培核桃,对无霜期的依赖程度大,应注意选择低海拔区域,减少霜冻对核桃生长的影响,增加核桃油脂含量。

参考文献:

[1] 裴东. 中国核桃种质资源[M]. 北京:中国林业出版

- 社, 2011.
- [2] 李俊南, 习学良, 熊新武, 等. 核桃的营养保健功能及功能成分研究进展[J]. 中国食物与营养, 2018, 24(5): 60-64.
- [3] 张友贵, 王兆木. 从气候条件对油菜产量及品质的影响看新疆油菜的合理布局[J]. 新疆农业科学, 1982(6): 12-14.
- [4] 付三雄, 李成磊, 尼玛卓玛, 等. 气象因子对油菜种子中油分积累的影响[J]. 植物学报, 2014(1): 41-48.
- [5] 唐琳. 青藏高原地区甘蓝型油菜份积累潜势研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [6] 康文霞. 生理生化指标及气象因子与甘蓝型油菜含油量的相关性研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [7] PIPER E L, BOOTE K L. Temperature and cultivar effects on soybean seed oil and protein concentrations[J]. J Am Oil Chem Soc, 1999, 76: 1233-1241.
- [8] 廖玉芳, 蒋元华, 彭嘉栋, 等. 气候指标对油茶鲜果含油率的影响[J]. 经济林研究, 2019(4): 1-9.
- [9] CHANG Y M, DU J M, ZHANG C H. The analysis on fat characteristics of walnut varieties in different production areas of Shanxi provinces[J]. J Plant Stud, 2014, 3(1): 28-34.
- [10] 朱振宝, 刘梦颖, 易建华, 等. 不同产地核桃油理化性质、脂肪酸组成及氧化稳定性比较研究[J]. 中国油脂, 2015, 40(3): 87-90.
- [11] 张凤英, 冯毅, 廖梓延, 等. 生态因子对川渝地区壳斗科植物物种丰富度的影响[J/OL]. 应用与环境生物学报, 2020(1): 1-13 [2020-06-01]. <http://doi.org/10.19675/j.cnki.1006-687x.2019.08013>.
- [12] 高艺宁, 赵萌莉, 王宏亮, 等. 景观生态视角下草地生态质量的时空差异及其影响因素——以内蒙古四子王旗为例[J]. 生态学报, 2019, 39(14): 5288-5300.
- [13] ZHANG L J, SHI H J. Local modeling of tree growth by geographically weighted regression[J]. Forest Sci, 2004, 50(20): 225-244.
- [14] 刘群, 陈振华. 1982—2015年云南省植被时空变化及其影响因子研究[J]. 昆明学院学报, 2018, 40(2): 77-82.
- [15] ARTHUR G. Reflections on spatial autocorrelation[J]. Reg Sci Urban Econ, 2007, 37(4): 491-496.
- [16] 李国和. 核桃种质资源研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2007.

(上接第127页)

致谢: 东莞中储粮油脂工业公司吕瑞总监和徐宏阁经理、镇江中储粮油脂公司何远平经理、天津中储粮油脂有限公司陈友军总监对本文的技术支持!

参考文献:

- [1] 何东平. 油脂工厂安全生产[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009.
- [2] 方晓璞. 食用植物油质量安全溯源体系的建立[J]. 中国油脂, 2016, 41(5): 50-52.
- [3] 王瑞元, 李子明, 谷克仁, 等. 中国油脂科学技术学科现状与发展[J]. 中国油脂, 2009, 34(1): 1-6.
- [4] 左青, 刘旭英. 4 000 t/d 大豆压榨技术和设备探讨[J]. 粮食与食品工业, 2014, 21(4): 23-28.
- [5] 左青, 吕瑞, 张新雄. 加工国储大豆如何降低溶剂消耗[J]. 中国油脂, 2014, 39(3): 89-91.
- [6] 刘玉兰, 汪学德. 油脂制取工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [7] SKHARIYA R. Technology - the key factor in efficient soybean processing[R]. Beijing: China & International Soybean Conference & Exhibition, 2002.
- [8] ANDERSON - HALFEMAN J C, ZHANG Y, PARSONS C M, et al. Effect of heating on nutritional quality of Kunitz - trypsin - inhibitor - free and conversional soybeans for chickens[J]. Poultry Sci, 1992, 71: 1700-1709.
- [9] 毛善勇. 美拉德反应产物抗氧化活性[J]. 粮食与油脂, 2003(11): 15-16.
- [10] RAPP R. Enhancing the nutritional value of soybeans[R]. Beijing: China & International Soybean Conference & Exhibition, 2002.
- [11] 邵会, 韩文杰, 韩建峰, 等. 影响低温棉籽蛋白 KOH 蛋白质溶解度因素的研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(5): 30-33.
- [12] KELLENS M. New developments in oils & fats processing[R]. Beijing: China & International Soybean Conference & Exhibition, 2002.
- [13] 万辉. 浸出车间节能控制措施[J]. 粮食与食品工业, 2015, 22(1): 33-35.