

DOI:10.12171/j.1000-1522.20210289

不同生态区域板栗品质差异性分析及气候适应性评价

樊晓芸¹ 郭素娟¹ 李艳华²

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 云南省玉溪市易门县林业和草原局, 云南 玉溪 651100)

摘要:【目的】筛选影响板栗品质的关键气候因子, 进行不同生态区域板栗气候适应性评价及其适宜性种植区划, 为板栗引种以及科学种植提供理论依据。【方法】以我国不同生态区域(黄淮海、西北、长江中下游、西南等4大区域)105个板栗品种(含优系)为研究对象, 对其坚果单粒质量、果形指数等表型性状和可溶性糖、淀粉、蛋白质等内在品质进行差异性分析, 选择4大区域中24个板栗主栽区的12个气候因子进行主成分分析, 筛选与板栗品质形成最密切的气候因子, 通过逐步回归构建板栗气候品质评价模型; 利用气候适应性指数(CAI)对板栗进行气候适应性评价和适宜性分区。【结果】(1)不同生态区域板栗表型性状和内在品质均存在显著差异性。长江中下游地区单粒质量和果形指数均显著高于其他地区, 黄淮海地区可溶性糖最高, 支链淀粉/直链淀粉比值最大。(2)影响板栗坚果品质的主要气候因子为热量因子, 其次为光照因子和水分因子。单粒质量与年平均温度和生长季降水量呈显著正相关, 与生长季温差呈显著负相关; 果形指数与年平均温度和生长季平均温度均呈显著负相关; 含水量与生长季降水量呈极显著正相关; 可溶性糖与生长季温差和生长季日照时数均呈极显著正相关, 与生长季降水量呈不显著负相关; 支链淀粉/直链淀粉比值与生长季平均温度和生长季温差均呈极显著正相关; 蛋白质与年平均温度呈显著正相关, 与年日照时数和生长季日照时数均呈负相关, 与生长季降水量呈不显著负相关。(3)根据CAI, 4大区域中24个板栗主栽区可划分为最适宜区、较适宜区和适宜区。黄淮海北部区域CAI值达到0.90~0.96, 为最适宜区; 黄淮海东部、西北和西南区域CAI值为0.81~0.89, 属较适宜区; 而长江中下游区域CAI值最低, 为0.71~0.77, 属适宜区。【结论】生长季温差大、平均温度高、日照时数长的气候条件有利于板栗坚果甜、糯品质的形成。

关键词: 板栗; 品质差异; 气候因子; 适应性评价

中图分类号: S792.17; S664.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2022)11-0020-11

引文格式: 樊晓芸, 郭素娟, 李艳华. 不同生态区域板栗品质差异性分析及气候适应性评价[J]. 北京林业大学学报, 2022, 44(11): 20-30. Fan Xiaoyun, Guo Sujuan, Li Yanhua. Quality difference analysis and climate adaptability evaluation of Chinese chestnut in different ecological regions[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2022, 44(11): 20-30.

Quality difference analysis and climate adaptability evaluation of Chinese chestnut in different ecological regions

Fan Xiaoyun¹ Guo Sujuan¹ Li Yanhua²

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Forestry and Grassland Bureau of Yimen County, Yuxi 651100, Yunnan, China)

Abstract: [Objective] This paper aims to screen the key climate factors affecting the quality of chestnut, to evaluate the climate adaptability of chestnut in different ecological regions and its suitable planting regionalization, and also to provide theoretical basis for the introduction and scientific planting of chestnut. [Method] 105 Chinese chestnut varieties (including superior lines) from 4 ecological regions in China (the Huanghuaihai, the Northwest, the middle and lower reaches of the Yangtze River, and the Southwest)

收稿日期: 2021-08-02 修回日期: 2021-08-19

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD1001604), 林业和草原科技成果国家级推广项目(2020133118)。

第一作者: 樊晓芸。主要研究方向: 经济林(果树)培育与利用。Email: 1347473255@qq.com 地址: 100083 北京市海淀区清华东路35号北京林业大学林学院。

责任作者: 郭素娟, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 林木种苗培育理论与技术、经济林(果树)培育与利用研究。Email: gwangzs@263.net 地址: 同上。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

were taken as the research objects. The differences of phenotypic traits such as single nut mass, fruit shape index, and the internal qualities such as soluble sugar, starch, and protein were analyzed. 12 climate factors from 24 main Chinese chestnut planting areas in the 4 regions were selected for principal component analysis to screen the climate factors that are most closely related to the formation of Chinese chestnut quality. The climate quality evaluation model of Chinese chestnut was constructed by stepwise regression. Climate adaptability index (CAI) was used to evaluate the climate adaptability of Chinese chestnut. [Result] (1) There were significant differences in phenotypic traits and intrinsic qualities of chestnut in different ecological regions. The single grain mass and fruit shape index in the middle and lower reaches of the Yangtze River were significantly higher than those in other regions. The soluble sugar and amylopectin/amylose ratio were the highest in the Huanghuaihai region. (2) The main climate factors affecting the quality of chestnut nuts were heat factor, followed by light factor and water factor. There was a significantly positive correlation between single grain mass and annual mean temperature and growing season precipitation, a significantly negative correlation between single grain mass and temperature difference, and a significantly negative correlation between fruit shape index and temperature. There were significant positive correlations between water content and annual precipitation, average temperature in growing season and precipitation in growing season. Soluble sugar had significantly positive correlation with annual sunshine duration, temperature difference in growing season and sunshine duration in growing season. Amylopectin/amylose ratio was significantly positively correlated with sunshine duration, average temperature, temperature difference and sunshine duration in growing season. Protein was positively correlated with annual mean temperature, and negatively correlated with annual sunshine hours and growing season sunshine hours. (3) According to CAI, 24 main planting areas of Chinese chestnut in the four regions can be divided into the most suitable area, the more suitable area and the suitable area. The CAI value of the northern Huanghuaihai area reached 0.90–0.96, which was the most suitable area; the CAI value of the east, northwest and southwest of the Huanghuaihai area was 0.81–0.89, which was a suitable area; the middle and lower reaches of the Yangtze River had the lowest CAI value, 0.71–0.77, which was suitable for the region. [Conclusion] The climatic conditions of large temperature difference, high average temperature, long sunshine hours in the growing season are favorable for the formation of sweet and waxy quality of chestnut nuts.

Key words: *Castanea mollissima*; quality difference; climate factor; adaptability evaluation

板栗(*Castanea mollissima*)属壳斗科(Fagaceae)栗属(*Castanea*),是我国重要的木本粮食树种之一^[1],其果实含有大量淀粉以及蛋白质、脂肪、B族维生素等多种营养元素,风味极佳,尤其作为炒食型加工产品,深受消费者喜爱,市场前景广阔^[2]。板栗适应性强,分布非常广泛,兼具较高的生态效益和经济价值^[3],我国22个省、自治区和直辖市都将板栗作为一种重要的经济作物进行种植^[4],目前栽植总面积和产量稳居世界第一^[5]。地理环境不同,板栗品质存在较大差异,只有种植于适宜的生态区域,才能产生最大效益。然而,在板栗栽培中常出现品种选择不当、盲目引种等现象,由此导致板栗品质降低^[6]。因此,研究生态环境对板栗坚果品质的影响,探明影响板栗品质的关键环境因子,对板栗引种和科学种植、实现高产优质具有重要意义。

果实品质除受其遗传基因的调控外,气候因子是对果实品质影响最大的环境因子,尤其在果实发

育期,气候因子对果实品质具有显著影响^[7]。杨栋等^[8]研究表明,热量因子比光照和水分因子更加影响水蜜桃(*Prunus persica*)品质。王亚军等^[9]认为,影响枸杞(*Lycium Barbarum*)果实形态的主要气候因子为年平均温度。魏丽萍等^[10]研究生态因子对核桃(*Juglans regia*)果实性状的影响,发现年平均温度显著影响核桃果实性状,尤其影响果实厚度。魏钦平等^[11]分析不同生态区域苹果(*Malus pumila*)品质得出:气候因子是影响果实单果质量和糖含量的主导因子,其中单果质量主要受降水量和日照时数影响,而糖含量则与生长季温差和日照时数密切相关。禄彩丽等^[12]研究发现,骏枣(*Ziziphus jujube*)的质地品质取决于降雨量和蒸发量。姚俊英等^[13]研究表明,影响平榛(*Corylus heterophylla*)品质的关键气候因子为年日照时数;谢远玉等^[14]认为,影响脐橙(*Navel orange*)品质形成的主要气候因子为6—11月温度、日照及降水量。

对板栗品质的研究,多集中在种质资源的表型性状和营养品质等农艺性状方面^[15-16],对不同板栗品种品质评价^[2,17]以及与气候因子的相关性分析发现:在河北省北部板栗主栽区,其品质等级与气象条件存在正相关关系,5—9月平均温度小于17℃、7月和8月降水量少、9月光照不足均会降低坚果品质^[18],8月降水量较大能显著提高板栗品质,较大的温差有利于板栗的品质形成^[19-20];而在湖北省大悟县板栗坚果成熟前,光照不足且降水量太大会降低板栗品质^[21];可见,板栗果实品质与气候因子密切相关。但前人研究大多是基于同一地区不同板栗果实品质与气候因子的关系研究,而对不同生态区域板栗品质与气候因子的关系及板栗气候适宜性评价研究鲜有报道。

我国地域辽阔,气候多样,板栗品种繁多,不同生态区域板栗品质存在差异,加工特性也不同。随着板栗产业快速发展,板栗产品已实现多样化,但尤以甜、糯的炒食型加工产品深受消费者青睐。决定板栗甜度的重要指标为可溶性糖^[2],糯性指标为支链淀粉/直链淀粉比值^[22-24]。本研究按照《中国精细化农业气候区划:产品制作与发布系统》^[25]并结合板栗

种植规模,以我国不同生态区域(以下简称黄淮海、西北、长江中下游、西南4大区域)105个板栗品种为试验材料,对其单粒质量、果形指数等表型性状和可溶性糖、淀粉、蛋白质等内在品质进行评价,分析品质形成与气候因子的相关性,筛选影响板栗品质的关键气候因子,开展板栗气候适应性评价及其适宜性种植区划,以期板栗引种以及科学种植提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及气象数据来源

试验材料为来自黄淮海、西北、长江中下游、西南区域4大板栗栽培区(12个省(市)24个区(县))的共计105个板栗栽培品种(含优系),各地区板栗树龄15~20年生,且树势中庸。4大区域分别为黄淮海地区(I区)、西北地区(II区)、长江中下游地区(III区)和西南地区(IV区)。24个区(县)中:I区包括河北迁西、遵化、宽城、昌黎,北京怀柔,天津蓟州,山东泰安、乳山、费县、莒南;II区包括陕西长安、镇安;III区包括安徽金寨、江苏苏州、湖北罗田和浙江诸暨;IV区包括云南易门、永仁,贵州荔波。详见表1。

表1 不同生态区域板栗品种信息

Tab. 1 Information of chestnut varieties in different ecological regions

生态区域 Ecological region	品种 Variety
I	‘燕山早丰’‘Yanshanzaofeng’‘迁西早红’‘Qianxizaohong’‘迁西晚红’‘Qianxiwanhong’‘燕山短枝’‘Yanshanduanzhi’‘燕奎’‘Yankui’‘大板红’‘Dabanhong’‘遵化短刺’‘Zunhuaduanci’‘遵达栗’‘Zundali’‘东陵明珠’‘Donglingmingzhu’‘紫珀’‘Zipo’‘遵玉’‘Zunyu’‘塔丰’‘Tafeng’‘京早生’‘Jingzaosheng’‘燕山红栗’‘Yanshanhongli’‘怀黄’‘Huaihuang’‘怀九’‘Huaijiu’‘燕昌’‘Yanchang’‘燕丰’‘Yanfeng’‘银丰’‘Yinfeng’‘京署红’‘Jingshuhong’‘天津油栗’‘Tianjinyouli’‘黄棚’‘Huangpeng’‘泰栗1号’‘Taili 1’‘宋家早’‘Songjiazao’‘丽抗’‘Likang’‘玉丰’‘Yufeng’‘石丰’‘Shifeng’‘东丰’‘Dongfeng’‘金丰’‘Jinfeng’‘海丰’‘Haifeng’‘上丰’‘Shangfeng’‘清丰’‘Qingfeng’‘华丰’‘Huafeng’‘华光’‘Huaguang’‘烟清’‘Yanqing’‘烟泉’‘Yanquan’‘泰安薄壳栗’‘Taianbokeli’‘燕龙’‘Yanlong’‘燕明’‘Yanming’‘燕宝’‘Yanbao’‘乳山短枝’‘Rushanduanzhi’‘鲁岳早丰’‘Luyuezaofeng’‘岱岳早丰’‘Daiyuezaofeng’‘鲁栗2号’‘Luli 2’‘红光’‘Hongguang’‘沂蒙短枝’‘Yimengduanzhi’‘东岳早丰’‘Dongyuezaofeng’‘红栗1号’‘Hongli 1’‘尖顶油栗’‘Jiandingyouli’‘毛栗1号’‘Maoli 1’‘紫油栗’‘Ziyouli’
II	‘镇安1号’‘Zhenan 1’‘长安明拣栗’‘Changanmingjianli’‘长安灰拣栗’‘Changanhuijianli’‘长安铁蛋栗’‘Changantiedanli’‘寸栗’‘Cunli’‘泰山1号’‘Taishan 1’‘宝鸡社栗’‘Baojisheli’‘柞板11号’‘Zhaban 11’
III	‘广德大红袍’‘Guangdedahongpao’‘九家种’‘Jiujiazhong’‘豫罗红’‘Yuluohong’‘八月红’‘Bayuehong’‘六月爆’‘Liuyuebao’‘罗田乌壳栗’‘Luotianwukeli’‘羊毛栗’‘Yangmaoli’‘大桂花栗’‘Daguihua’‘早栗子’‘Zaolizi’‘中迟栗’‘Zhongchili’‘十月寒’‘Shiyuehan’‘迟栗子’‘Chilizhi’‘九月寒’‘Jiuyuehan’‘湖北油栗’‘Hubeiyouli’‘罗田早栗’‘Luotianzaoli’‘粘底板’‘Zhandiban’‘焦扎’‘Jiaozha’‘短扎’‘Duanzha’‘青扎’‘Qingzha’‘青毛软刺’‘Qingmaoruanci’‘短毛焦刺’‘Duanmaojiaocici’‘铁粒头’‘Tielitou’‘大底青’‘Dadiqing’‘桂花香’‘Guihuaxiang’‘二新早’‘Erxinzaoli’‘魁栗’‘Kuili’‘浅刺大板栗’‘Qiancidabanli’‘狗毛栗’‘Goumaoli’‘双季板栗’‘Shuangjibanli’‘它栗’‘Tali’‘檀桥板栗’‘Tanqiaobanli’‘蜜蜂球’‘Mifengqiu’‘叶里藏’‘Yelicang’‘处暑红’‘Chushuhong’‘毛板红’‘Maobanhong’‘浙早1号’‘Zhezao 1’
IV	‘贵州油栗’‘Guizhouyouli’‘贵州早栗’‘Guizhouzaoli’‘贵州迟栗’‘Guizhouchili’‘贵州野毛栗’‘Guizhouyemaoli’‘易门1号’‘Yimen 1’‘易门2号’‘Yimen 2’‘易门3号’‘Yimen 3’‘永仁云夏’‘Yongrenyunxia’‘宝塔板栗’‘Baotabanli’‘弥勒板栗’‘Milibanli’

注: I. 淮海地区; II. 西北地区; III. 长江中下游地区; IV. 西南地区。下同。Notes: I, Huanghuaihai region; II, Northwest region; III, the middle and lower reaches of the Yangtze River region; IV, Southwest region. The same below.

各地区气象数据资料来源于当地各气象站数据资料以及中国气象数据网提供的1981—2020年气象数据(<http://www.nmic.cn/data.html>)。对各地区6—9月的最低温、最高温、温差、平均温度、降水量和日照时数6项气象指标进行统计与整理,其中降水量和日照时数计算6—9月累积值,其余指标计算均值。

1.2 试验设计

在各地区板栗坚果成熟期,每个品种随机选取3株,在树冠外围中部东南西北4个方向各取20粒坚果边果,并测定单粒质量、坚果横径、纵径、厚度、果形指数等表型性状。坚果置于实验室低温低湿种子柜(ZD-1000FC)储藏(0~2℃),贮藏1个月后测定。

1.3 各项指标测定

1.3.1 表型性状指标测定

利用游标卡尺测量样品横径、纵径和厚度。果形指数 = 纵径/横径。

1.3.2 内在品质指标测定

含水量测定: 参照 GB/T 5009.3—2003《食品中水分的测定》进行。随机选取混合均匀后的坚果 30 粒, 先计算出初始质量, 后置于烘箱中先 105 °C 杀青 0.5 h, 再 80 °C 烘干至恒质量。用粉碎机将烘干后的样品进行粉碎, 粉碎完成后过 100 目筛, 后保存于自封袋中, 标记后作为坚果品质指标待测样品。所有指标均重复 3 次。

可溶性糖、淀粉含量测定: 可溶性糖含量测定采用蒽酮硫酸比色法^[24]; 直链淀粉和支链淀粉含量测定参照 GB/T 15683—2008《大米直链淀粉含量的测定》进行, 总淀粉含量 = 直链淀粉含量 + 支链淀粉含量^[26]。所用仪器均为双光束紫外分光光度计。

蛋白质含量测定: 参照 GB 5 009.5—2010《食品中蛋白质的测定》进行。用 H₂SO₄-H₂O₂ 法对样品进行消煮, 制成待测液后用 Smartchem-450 全自动间断分析仪测定样品中 N 元素含量^[27]。蛋白质含量 =

N 元素含量 × 6.25。

1.4 气候适应性评价方法

利用主成分分析获得各气候因子的权重系数值 W_i , 利用模糊隶属函数^[28]计算各因子的隶属度值 D_i , 再计算气候适应性指数(CAI)。

$$CAI = W_i \times D_i \quad (1)$$

式中: i 表示指标个数。

1.5 数据处理

利用 Excel 2010 进行数据统计, SPSS Statistics 26.0 软件进行方差分析、相关性分析以及主成分分析, Origin 2019 进行作图, 利用“ward.D”进行系统聚类。变异系数(CV)^[16]计算如下式:

$$CV = s/\bar{x} \times 100\%$$

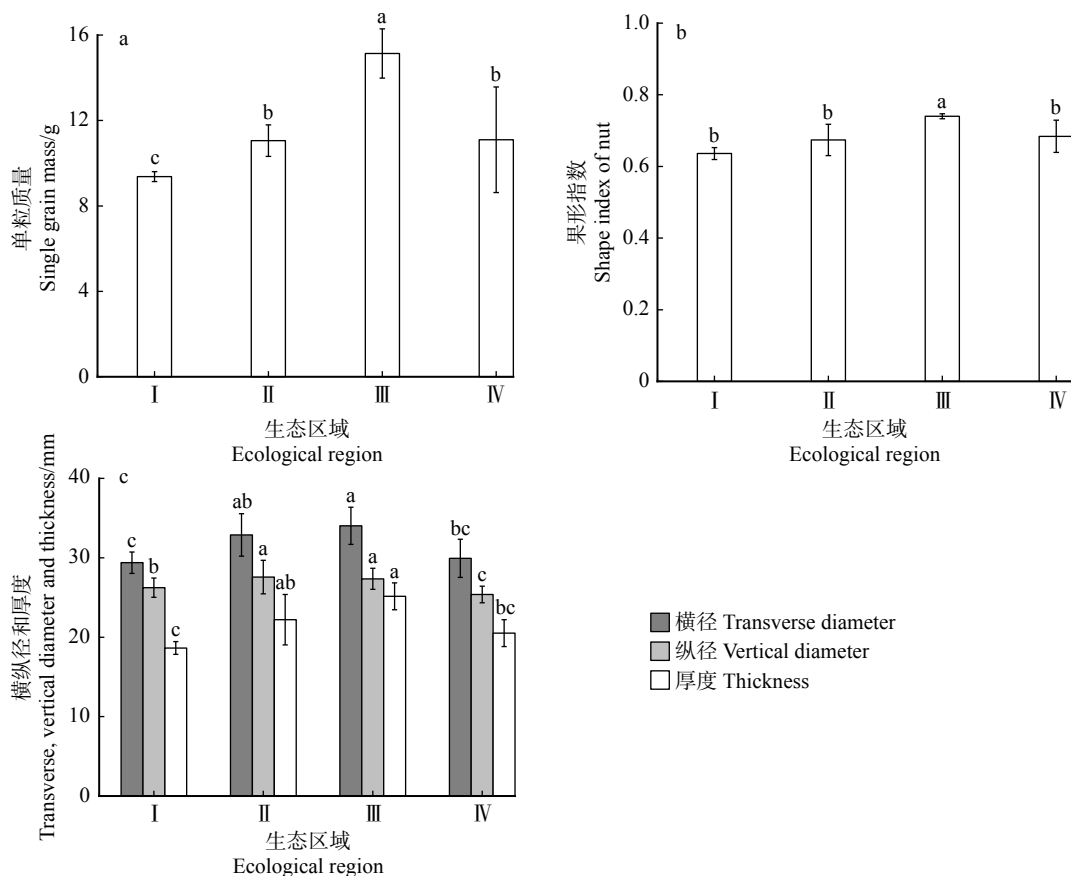
式中: s 表示标准差, \bar{x} 表示平均值。

2 结果与分析

2.1 不同生态区域板栗品质差异

2.1.1 不同生态区域板栗表型性状差异性分析

对不同区域板栗表型性状进行差异性分析(图 1 和表 2)可知, 坚果表型性状在不同区域之间存在显



不同小写字母代表各表型形状在不同区域之间差异显著($P < 0.05$)。下同。Different lowercase letters represent significant differences in phenotypic shapes between different regions ($P < 0.05$). The same below.

图 1 不同生态区域板栗表型性状差异性分析

Fig. 1 Analysis of phenotypic characters of chestnut in different ecological regions

表2 不同生态区域板栗坚果内外品质差异性分析

Tab. 2 Phenotypic shape and intrinsic quality of chestnut nuts in different ecological regions

项目 Item	横径 Transverse diameter/cm	纵径 Vertical diameter/cm	厚度 Thickness/cm	果形指数 Nut shape index	单粒质量 Single grain mass/g	含水量 Water content/%	可溶性 糖含量 Content of soluble sugar/%	支链淀粉/ 直链淀粉 Amylopectin content/ amylose content	蛋白质含量 Protein content/%
I	29.38 ± 1.34c	18.64 ± 0.81c	26.23 ± 1.21b	0.64 ± 0.02b	9.37 ± 0.24c	40.69 ± 0.82c	15.26 ± 0.88a	1.33 ± 0.21a	6.93 ± 0.29c
II	32.87 ± 2.68ab	22.20 ± 3.18ab	27.58 ± 2.11a	0.67 ± 0.04b	11.06 ± 0.74b	41.90 ± 0.68bc	10.74 ± 0.68c	1.09 ± 0.18b	6.84 ± 0.27c
III	34.02 ± 2.35a	25.15 ± 1.69a	27.35 ± 1.33a	0.74 ± 0.01a	15.14 ± 1.15a	48.15 ± 1.84a	10.02 ± 0.47d	0.81 ± 0.09c	8.93 ± 0.48a
IV	29.93 ± 2.41bc	20.51 ± 1.69bc	25.38 ± 1.05c	0.68 ± 0.05b	11.10 ± 2.47b	43.29 ± 2.25b	11.29 ± 1.18b	0.85 ± 0.08c	7.35 ± 0.34b
平均值 Mean	31.55	21.63	26.64	0.68	11.67	43.31	11.83	1.02	7.54
标准差 Standard deviation	2.19	1.84	1.43	0.03	1.15	1.40	0.80	0.14	0.35
变异系数 Variation coefficient/%	6.94	5.82	5.37	4.41	9.85	3.22	6.81	7.50	4.64

注:表中数据均为平均值 ± 标准差。采用Duncan单因素方差分析,同一列数值后的不同小写字母表示不同栽培区之间该指标差异显著($P < 0.05$)。下同。Notes: data are mean ± standard deviation. Duncan's one-way analysis of variance is used. Different lowercase letters after the same column of values indicate significant ($P < 0.05$) difference in this index between varied cultivation areas. The same below.

著差异性($P < 0.05$)。单粒质量平均值为 11.67 g, III区单粒质量最大(15.14 g),并显著高于其他区域,II区和IV区差异不显著,I区单粒质量最小(9.37 g)。所有区域果形指数均小于 1,其中III区最大(0.74),IV区果形指数仅次于III区,。III区横径、纵径和厚度值均最大,II区次之,II区和III区差异性不显著,IV区厚度最小。由表2可知:单粒质量变异系数最大,为 9.85%,横径、纵径、厚度以及果形指数变异系

数分别为 6.94%、5.82%、5.37%、4.41%,果形指数变异系数最小,表明板栗坚果表型指数具有较高的遗传稳定性,即不同区域板栗在果形指数方面具有较好的一致性。

2.1.2 不同生态区域板栗内在品质差异性分析

通过对不同区域板栗坚果内在品质指标进行方差分析可知(图2和表2),不同区域板栗内在品质指标之间均存在显著差异性($P < 0.05$)。含水量最高

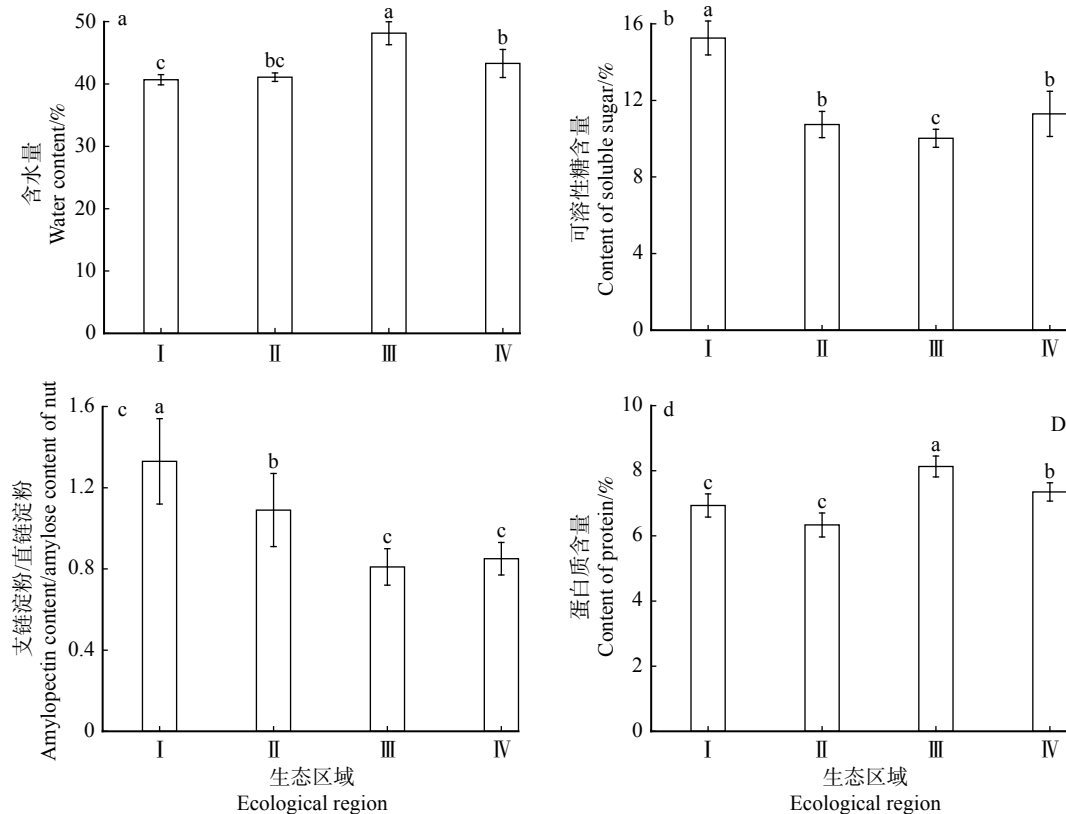


图2 不同生态区域板栗内在品质差异性分析

Fig. 2 Analysis on the difference of internal quality of chestnut in different ecological regions

的区域为III区(48.15%),其含量显著高于其他区域,含量最低的区域为I区(40.69%)。可溶性糖含量在不同区域之间均差异显著,其中在I区含量最高(15.26%),III区含量最低(10.02%)。支链淀粉/直链淀粉的比值范围介于0.42~0.60之间,最大值为I区,且其与II区、III区、IV区之间差异显著,III区和IV区之间不显著。蛋白质含量最高的区域为III区(8.13%),其次为IV区(7.35%),其在I区和II区之间差异不显著。变异系数最大的为支链淀粉/直链淀粉比值(7.50%),表明其离散程度较大,遗传稳定性较差,其次为可溶性糖(6.81%)和蛋白质(4.64%),而变异系数最小为含水量(3.22%),表明板栗坚果含水量在不同生态区域之间遗传稳定性较好。

2.2 板栗品质与气候因子关系研究

2.2.1 影响板栗品质的关键气候因子筛选

对4大板栗主栽区12个省(市)24个区(县)共12个气候因子进行主成分分析,由表3可知:前3个主成分的特征根均大于1,累积方差贡献率为

表3 气候因子主成分分析

Tab. 3 Principal component analysis of climate factors

气候因子 Climate factor	特征向量 Eigenvector		
	F1	F2	F3
年平均温度 Annual mean temperature	0.53	0.21	0.13
年均温日较差 Annual average daily temperature difference	0.37	0.33	0.22
年日照时数 Annual sunshine hour	0.22	0.50	0.15
年降水量 Annual precipitation	-0.11	0.32	0.45
年极端最低温 Annual extreme minimum temperature	0.21	0.41	0.33
年极端最高温 Annual extreme maximum temperature	0.39	0.32	0.12
生长季平均温度 Mean temperature in growing season	0.40	0.21	0.18
生长季最低温度 The lowest temperature in growing season	0.31	0.43	0.24
生长季最高温度 The highest temperature in growing season	0.38	0.17	0.31
生长季温差 Temperature difference in growing season	0.48	0.11	0.27
生长季降水量 Precipitation in growing season	0.10	0.24	0.48
生长季日照时数 Sunshine hour in growing season	0.09	0.56	0.25
特征值 Eigenvalue	3.23	2.45	1.36
方差贡献率 Variance contribution rate/%	49.54	18.44	16.52
累积贡献率 Cumulative contribution rate/%	49.54	67.98	84.50

注: F1、F2、F3分别表示第一主成分、第二主成分和第三主成分的特征向量值。Note: F1, F2, F3 represent the characteristic vectorial values of the first, second and third principal components, respectively.

84.50%,按照累积方差贡献率>80%的原则,前3个主成分能够反映原气候因子指标的绝大部分信息。第一主成分的方差贡献率为49.54%,特征向量较大的指标有年平均温度、生长季温差、生长季平均温度、极端最高温、生长季最高温度和年均温日较差,特征向量绝对值的大小可以反映其在主成分中的重要程度,说明第一主成分可归为热量因子,其中以年平均温度、生长季平均温度和生长季温差影响最大;第二主成分影响较大的指标为生长季日照时数和年日照时数,主要反映光照条件,说明第二主成分可归为光照因子;第三主成分影响较大的指标为生长季降水量和年降水量,可将其归为水分因子。综上所述:影响板栗品质的主要关键气候因子分为热量因子、光照因子和水分因子,包括的指标分别为:年平均温度、生长季温差、生长季平均温度,生长季日照时数和年日照时数,生长季降水量和年降水量。

2.2.2 板栗品质与关键气候因子的相关性分析

对不同品质指标与关键气候因子之间进行相关性分析,相关性系数 r 结果见表4。由表4可知:单粒质量与年平均温度呈极显著正相关,与生长季温差呈显著负相关,与生长季降水量呈显著正相关;横径与年日照时数和生长季平均温度均呈显著正相关;纵径与年平均温度和生长季温差均呈显著负相关;厚度与年降水量和生长季平均温度均呈显著正相关;果形指数与年平均温度和生长季平均温度均呈显著负相关;含水量与生长季降水量呈极显著正相关,与年降水量和生长季平均温度呈显著正相关;可溶性糖含量与生长季温差和生长季日照时数呈极显著正相关,与年日照时数呈显著正相关,与生长季降水量呈不显著负相关;支链淀粉/直链淀粉比值与生长季平均温度、生长季温差和生长季日照时数均呈极显著正相关,与年日照时数呈显著正相关,与生长季降水量呈不显著负相关;蛋白质含量与生长季日照时数呈极显著负相关,与年平均温度呈显著正相关,与年日照时数呈显著负相关。

2.2.3 板栗气候品质模型的建立

表4结果表明:板栗品质与气候因子密切相关,因此可利用气候因子评价板栗坚果表型性状和内在品质的优劣。为了进一步探明关键气候因子对板栗各品质影响的重要程度,本文以板栗坚果不同品质指标筛选出来的主要气候因子为自变量,坚果品质指标为因变量,通过逐步回归分析构建板栗气候品质评价模型(表5)。

由表5可知:板栗坚果表型性状和内在品质指标同时受多个气候因子的影响,建立的逐步回归方程均通过显著性水平检验($P < 0.05$),表明所构建板

表4 板栗坚果品质指标与气候因子的相关性

Tab. 4 Correlations between quality indexes of chestnut and climate factors

项目 Item	年平均温度 Annual mean temperature	年日照时数 Annual sunshine hour	年降水量 Annual precipitation	生长季平均温度 Mean temperature in growing season	生长季温差 Temperature difference in growing season	生长季日照时数 Sunshine hour in growing season	生长季降水量 Precipitation in growing season
横径 Transverse diameter	0.345	0.654*	0.311	0.634*	0.102	0.234	0.012
纵径 Vertical diameter	-0.632*	0.312	-0.102	-0.546	-0.676*	0.365	0.249
厚度 Thickness	0.311	0.416	0.645*	0.612*	-0.354	-0.109	0.202
果形指数 Nut shape index	-0.678*	-0.198	-0.352	-0.685*	-0.321	-0.226	0.314
单粒质量 Single grain mass	0.695**	-0.456	0.563	0.243	-0.676*	-0.543	0.612*
含水量 Water content	0.441	-0.547	0.623*	0.618*	-0.543	-0.538	0.785**
可溶性糖含量 Content of soluble sugar	0.586	0.623*	-0.531	0.564	0.845**	0.789**	-0.546
支链淀粉/直链淀粉 Amylopectin content/ amylose content	0.531	0.668*	-0.564	0.890**	0.876**	0.814**	-0.578
蛋白质含量 Protein content	0.654*	-0.684*	0.556	0.589	0.436	-0.754**	0.576

注: *表示相关性显著($P < 0.05$), **表示相关性极显著($P < 0.01$)。下同。Notes: * means correlation is significant at $P < 0.05$ level, ** means correlation is extremely significant at $P < 0.01$ level. The same below.

表5 板栗坚果气候品质指标评价模型

Tab. 5 Evaluation model of climatic quality index of chestnut

品质指标 Quality index	符号 Code	主要影响因子 Major affecting factor	气候品质评价模型 Climate quality evaluation model	r	P
单粒质量 Single grain mass	Y_1	X_1, X_5, X_7	$Y_1 = 30.628 - 0.495X_1 - 0.465X_5 - 0.013X_7$	0.845	0.032
横径 Transverse diameter	Y_2	X_2, X_4	$Y_2 = 11.216 + 0.002X_2 + 0.634X_4$	0.789	0.023
纵径 Vertical diameter	Y_3	X_1, X_5	$Y_3 = 24.345 - 0.354X_1 - 0.026X_5$	0.878	0.016
厚度 Thickness	Y_4	X_3, X_4	$Y_4 = 10.366 + 0.013X_3 + 0.352X_4$	0.883	0.003
果形指数 Nut shape index	Y_5	X_1, X_4	$Y_5 = 1.154 - 0.022X_1 - 0.011X_4$	0.787	0.013
含水量 Water content	Y_6	X_3, X_4, X_7	$Y_6 = 45.135 - 0.018X_3 + 0.537X_4 - 0.012X_7$	0.822	0.014
可溶性糖含量 Content of soluble sugar	Y_7	X_2, X_5, X_6	$Y_7 = 9.435 + 0.001X_2 - 0.115X_5 + 0.004X_6$	0.854	0.011
支链淀粉/直链淀粉 Amylopectin content/ Amylose content	Y_8	X_2, X_4, X_5, X_6	$Y_8 = -19.592 + 0.003X_2 + 0.156X_4 + 0.121X_5 + 0.010X_6$	0.895	0.013
蛋白质含量 Protein content	Y_9	X_1, X_2, X_6	$Y_9 = 9.456 + 0.526X_1 - 0.002X_2 - 0.004X_6$	0.819	0.021

注: 各项因子均通过了显著性检验($P < 0.05$)。 X_1 . 年平均温度; X_2 . 年日照时数; X_3 . 年降水量; X_4 . 生长季平均温度; X_5 . 生长季温差; X_6 . 生长季日照时数; X_7 . 生长季降水量。Notes: all factors pass the significance test ($P < 0.05$). X_1 , annual mean temperature; X_2 , annual sunshine hour; X_3 , annual precipitation; X_4 , mean temperature in growing season; X_5 , temperature difference in growing season; X_6 , sunshine hour in growing season; X_7 , precipitation in growing season.

栗气候品质评价模型均具有较高拟合性。其中, 表型性状拟合系数最大的为坚果厚度, 拟合系数为 0.883, 主要受年降水量和生长季平均温度的影响; 内在品质指标拟合系数最大的为支链淀粉/直链淀粉比值, 拟合系数为 0.895, 主要受年日照时数、生长季温差、生长季平均温度及生长季日照时数的综合

影响。

2.3 板栗栽培区气候适应性评价模型

2.3.1 气候因子权重系数的确定

运用主成分分析获得各气象指标的权重系数, 利用模糊理论隶属函数计算各因子的隶属度(表6)。由表6可知: 所有因子的隶属函数类型均为抛物线

表 6 板栗各气候因子隶属函数阈值及权重系数

Tab. 6 Threshold of membership function and weight coefficient of climate factors in chestnut

气候因子 Climate factor	隶属函数类型 Subordinate function type	下限 Lower limit	最优下限 Optimal lower limit	最优上限 Optimal upper limit	上限 Upper limit	权重系数 Weight coefficient
年平均温度 Annual mean temperature/°C		11.31	12.56	14.87	16.58	0.11
年均温日较差 Annual average daily temperature difference/°C		8.53	9.76	10.98	12.6	0.09
年均日照时数 Annual mean sunshine hour/h		1 300.00	1 800.00	2 300.00	2 800.00	0.06
年降水量 Annual precipitation/mm		609.90	815.20	1 100.00	1 419.00	0.11
年极端最低温 Annual extreme minimum temperature/°C		-25.70	-16.60	-9.30	-4.30	0.02
年极端最高温 Annual extreme maximum temperature/°C	抛物线型 Parabolic type	35.50	38.40	39.90	42.50	0.04
生长季平均温度 Mean temperature in growing season/°C		19.87	20.76	21.44	22.64	0.14
生长季最低温度 The lowest temperature in growing season/°C		15.06	16.98	18.89	20.01	0.03
生长季最高温度 The highest temperature in growing season/°C		31.07	33.88	35.56	37.35	0.08
生长季温差 Temperature difference in growing season/°C		18.98	20.76	22.32	24.64	0.14
生长季降水量 Precipitation in growing season/mm		321.30	380.55	441.54	498.76	0.12
生长季日照时数 Sunshine hour in growing season/h		410.43	500.76	590.65	683.30	0.13

型, 权重系数较大的指标有生长季平均温度(0.14)、生长季温差(0.14)、生长季日照时数(0.13)和生长季降水量(0.12), 说明生长季温度和生长季日照时数显著影响板栗果实生长发育。

2.3.2 板栗各栽培区气候适应性指数比较分析

由表 7 可知: 不同区域的气候适应性指数(CAI)差异较显著, I 区的 11 个地区 CAI 值均达到了 0.85 以上, 其中燕山地区的 CAI 均值达到了 0.93, 迁西地区 CAI 值最大, 而山东地区 CAI 值略低于 I 区的其他地区; III 区的 CAI 值最小, 最大值为湖北罗田(0.77), 最小值为江苏苏州(0.71)。各区域 CAI 值从大到小顺序为 I 区 > II 区 > IV 区 > III 区。

2.3.3 不同生态区域板栗气候适应性评价及分区

依据各地区 CAI 值对不同生态区域进行聚类分析, 由图 3 可知: 依据 CAI 值可将所有地区划分为 3 个等级, 即最适宜区、较适宜区和一般适宜区。最适宜区的 CAI 值介于 0.90 ~ 0.96 之间, 包括河北宽城、河北迁西、河北昌黎、北京怀柔、河北遵化、天津蓟州等 6 个地区; 较适宜区的 CAI 值介于 0.81 ~ 0.89 之间, 包括山东泰安、山东乳山、山东莒南、山东费县、陕西镇安、陕西长安、云南易门、云南永仁、贵州荔波等 12 个地区; 一般适宜区的 CAI 值介于 0.71 ~ 0.77 之间, 包括河南罗山、湖北罗田、江苏苏州、安徽金寨、浙江诸暨等 6 个地区。

3 讨 论

板栗在我国分布范围广, 不同生态环境使板栗坚果在表型性状和内在品质方面存在显著差异性^[6]。单粒质量最大的区域为长江中下游地区, 其次为西南地区, 最小的区域为黄淮海地区。江锡兵等^[15]研究表明, 南方板栗单粒质量大于北方板栗, 本研究与此结论基本一致。支链淀粉/直链淀粉比值越大则糯性越强^[24], 黄淮海地区板栗支链淀粉/直链淀粉比值显著大于其他区域, 表明黄淮海地区板栗坚果糯性更强, 同时, 与其他区域相比, 黄淮海地区可溶性糖含量最高, 表明该区板栗不仅糯性好, 甜度也较高, 该结论与阚黎娜等^[29]研究结果基本一致, 故而该区域所栽培板栗最适合进行炒食。长江中下游地区板栗含水量最高, 西南区域次之, 而黄淮海地区最低, 南方板栗含水量高于北方板栗, 此结论与 Yang 等^[30]相似。坚果含水量越小, 贮藏性越强^[17], 黄淮海地区板栗坚果含水量较低, 故具有良好的贮藏性。性状离散程度用变异系数表示, 变异系数越小, 表明该性状指标稳定性越好^[16]。本研究结果显示: 不同生态区域板栗表型性状和内在品质均存在显著差异性, 表型性状变异系数最小的是果形指数(4.41%), 内在品质变异系数最小的是含水量(7.50%), 表明板栗坚果果形指数和含水量稳定性较好。

表7 板栗不同栽培区气候适应性指数(CAI)

Tab. 7 Climate adaptability index (CAI) of different cultivated areas of chestnut

生态区域 Ecological region	栽培区 Cultivating region	CAI
I	河北宽城 Hebei Kuancheng	0.95
	河北迁西 Hebei Qianxi	0.96
	河北遵化 Hebei Zunhua	0.94
	河北昌黎 Hebei Changli	0.90
	北京怀柔 Beijing Huairou	0.92
	天津蓟州 Tianjin Jizhou	0.93
	山东乳山 Shandong Rushan	0.87
	山东泰安 Shandong Taian	0.89
	山东费县 Shandong Feixian	0.85
	山东莒南 Shandong Ju'nan	0.86
河南确山 Henan Queshan	0.85	
II	陕西长安 Shaanxi Changan	0.83
	陕西镇安 Shaanxi Zhen'an	0.84
	陕西宝鸡 Shaanxi Baoji	0.83
	陕西柞水 Shaanxi Zhashui	0.82
III	河南罗山 Henan Luoshan	0.76
	安徽金寨 Anhui Jinzhai	0.73
	江苏苏州 Jiangsu Suzhou	0.71
	湖北罗田 Hubei Luotian	0.77
	浙江杭州 Zhejiang Hangzhou	0.74
	浙江诸暨 Zhejiang Zhuji	0.74
IV	云南永仁 Yunnan Yongren	0.81
	云南易门 Yunnan Yimen	0.83
	贵州荔波 Guizhou Libo	0.82

板栗作为喜光树种,温度和光照对其有显著影响^[31]。坚果单粒质量与年平均温度呈极显著正相关,与生长季温差呈显著负相关,与生长季降水量呈显著正相关;横径与年日照时数和生长季平均温度均呈显著正相关;纵径与年平均温度和生长季温差均呈显著负相关;厚度与年降水量和生长季平均温度均呈显著正相关;果形指数与年平均温度和生长季平均温度均呈显著负相关。因此,本研究认为板栗坚果表型性状主要受热量因子的影响,尤其是年平均温度和生长季平均温度,这与李洪果等^[32]研究得出的表型性状主要受温度因子影响的结论基本一致。影响品质的主要气候因子为热量因子,其次为光照因子,最后为水分因子,此结论与黄志伟等^[28]研究结果基本一致。含水量与生长季降水量呈极显著正相关,与年降水量和生长季平均温度呈显著正相关;蛋白质含量与生长季日照时数呈极显著负相关,与年平均温度呈显著正相关,与年日照时数呈显著负相关;可溶性糖、支链淀粉/直链淀粉比值与生长季温差和生长季日照时数均呈极显著正相关,植物通过光合作用产生碳水化合物,日较差越大、日照时间越长,均有利于碳水化合物的合成^[14,33]。

本文利用主成分分析获得各气候因子权重值,计算出不同板栗区域气候适应性指数值,将选择的20个板栗主栽区域划分为最适宜区、较适宜区和适宜区,该分类与江锡兵等^[15]对我国不同栽培区板栗品质差异性等级分析相近,即北方板栗品质比南方品质优良,不同区域气候适应性指数的大小验证了

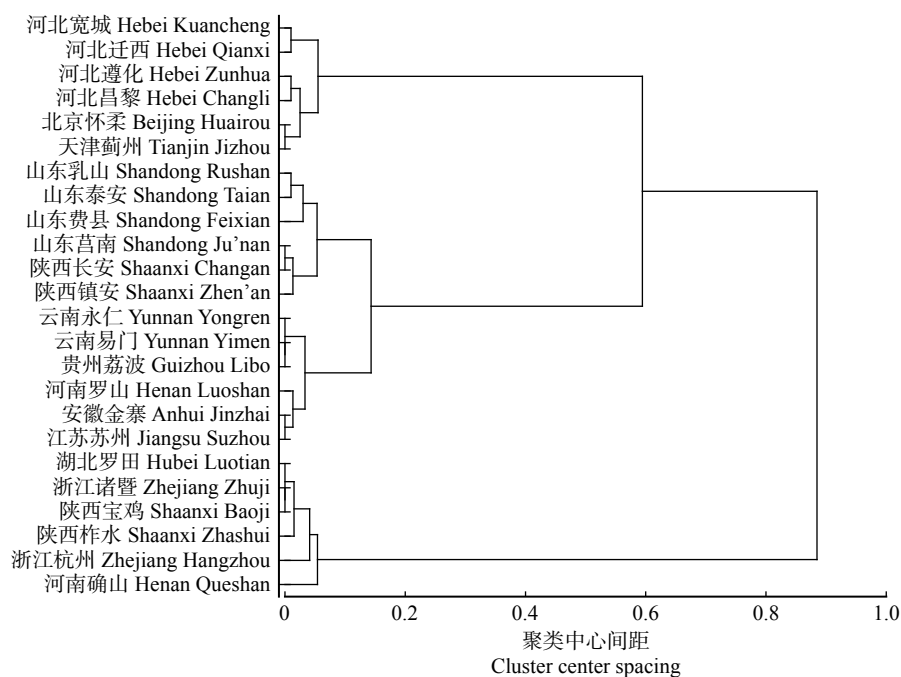


图3 不同地区板栗气候适应性指数聚类分析

Fig. 3 Clustering analysis of climate adaptability index of different regions

这一结论。聚类结果表明:黄淮海地区北部属于最适宜区,尤其是燕山地区迁西县,作为板栗栽培最适宜区,符合市场和消费者的认可度。运用主成分分析获得各气象指标的权重系数显示:气候因子权重系数最大为生长季平均温度(0.14)和生长季温差(0.14),其次为生长季日照时数(0.13)及生长季总降水量(0.12)。可见,生长季平均温度、生长季温差对板栗果实生长发育影响显著。

4 结 论

板栗坚果表型性状和内在品质指标之间存在丰富的遗传变异。板栗坚果表型性状和内在品质与气候因子密切相关,坚果表型性状主要受热量因子的影响,内在品质则受热量因子、光照因子和水分因子的综合影响,研究品质与气候因子关系时应综合考虑。板栗各栽培区域依据气候适应性指数可划分为最适宜区、较适宜区和适宜区。最适宜区包括黄淮海北部的河北宽城、河北迁西、河北昌黎、北京怀柔、河北遵化、天津蓟州等 6 个地区;较适宜区包括黄淮海东部区域的山东泰安、山东乳山、山东莒南、山东费县以及西北区域的陕西镇安、陕西长安和西南区域的云南易门、云南永仁、贵州荔波等 9 个地区;适宜区包括长江中下游的河南罗山、湖北罗田、江苏苏州、安徽金寨、浙江诸暨等 5 个地区。生长季温差大、平均温度高、日照时数长的气候条件有利于板栗坚果甜、糯品质的形成。

本研究选取我国 20 个主栽区 105 个板栗品种进行了气候适应性评价和适宜种植区分类,将为板栗引种以及科学种植提供理论依据,但还需要进一步扩大栽培区范围,以期获得更加精准的板栗气候适宜性区划。此外,本研究更偏向于板栗炒食特性种植区划,随着板栗产业化发展和深加工产品研发,研究板栗品质与气候因子关系时应综合考虑其加工特性。

参 考 文 献

- [1] 张宇和,柳鉴,梁维坚.中国果树志 板栗 榛子卷[M].北京:中国林业出版社,2005.
Zhang Y H, Liu L, Liang W J. The Chinese fruit tree Chinese chestnut hazelnut roll[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2005.
- [2] 路超,郭素娟.16份板栗种质资源主要营养成分分析与综合评价[J].食品工业科技,2016,37(23):357-361.
Lu C, Guo S J. Analysis on the nutritional characters and comprehensive evaluation of 16 chestnut germplasm resources[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(23): 357-361.
- [3] 郭素娟,吕文君,邹锋,等.迁西板栗主栽品种授粉组合的优化[J].江西农业大学学报,2013,35(3):437-443.
Guo S J, Lü W J, Zou F, et al. Experiment on screening pollination varieties for main *Castanea mollissima* varieties in Yan Mountain[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2013, 35(3): 437-443.
- [4] Yang B, Jiang G, Gu C, et al. Structural changes in polysaccharides isolated from chestnut (*Castanea mollissima* Bl.) fruit at different degrees of hardening[J]. Food Chemistry, 2010, 119(3): 1211-1215.
- [5] Massantini R, Moschetti R, Frangipane M T. Evaluating progress of chestnut quality: a review of recent developments[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021(113): 245-254.
- [6] 张丽,郭素娟,孙慧娟,等.硼砂和蔗糖对板栗果实非结构性碳水化合物含量的影响[J].果树学报,2018,35(3):319-325.
Zhang L, Guo S J, Sun H J, et al. Effects of borax and sucrose on the non-structural carbohydrate content in Chinese chestnut fruit[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(3): 319-325.
- [7] 张强.‘富士’苹果果实品质与土壤养分和气象因子关系的研究[D].北京:中国农业大学,2018.
Zhang Q. Study on relationship between fruit quality of ‘Fuji’ apple and soil nutrition, meteorological factors[D]. Beijing: China Agricultural University, 2018.
- [8] 杨栋,朱佳敏,丁焯毅,等.浙江省水蜜桃物候、品质和产量对气候变化的响应[J].生态学报,2019,38(11):3366-3375.
Yang D, Zhu J M, Ding Y Y, et al. Responses of phenology, quality and yield of juicy peach to climate in Zhejiang Province[J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(11): 3366-3375.
- [9] 王亚军,梁晓婕,张波,等.产地差异对宁夏枸杞果实形态及糖分含量的影响[J].干旱地区农业研究,2018,36(5):68-75,81.
Wang Y J, Liang X J, Zhang B, et al. Effects of different habitats on the fruit morphol of *Lycium Barbarum* L.[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2018, 36(5): 68-75,81.
- [10] 魏丽萍,韩艳英,大布穷,等.西藏核桃果实表型性状变异分析与种质资源筛选[J].北京林业大学学报,2020,42(7):48-57.
Wei L P, Han Y Y, Dabuqiong, et al. Analysis on phenotypic variation and germplasm resource selection of wild *Amygdalus mira* in Tibet of southwestern China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2020, 42(7): 48-57.
- [11] 魏钦平,程述汉,唐芳,等.红富士苹果品质与生态气象因子关系的研究[J].应用生态学报,1999,10(3):289-292.
Wei Q P, Cheng S H, Tang F, et al. Relationship between fruit quality of Fuji apple meteorological factors[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(3): 289-292.
- [12] 禄彩丽,何秉宇,马珊,等.环塔里木盆地骏枣质地品质及其与气象因子的关系[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2021,49(2):1-9.
Lu C L, He B Y, Ma S, et al. Texture quality of *Ziziphus jujuba* cv. Junzao of Tarim Basin and its relationship with meteorological factors[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2021, 49(2): 1-9.
- [13] 姚俊英,张海玉,南极月,等.平榛气候品质评价技术与方法[J].

- 东北林业大学学报, 2019, 47(11): 73-76.
- Yao J Y, Zhang H Y, Nan J Y, et al. Technology and methods in climate quality assessment of *Corylus heterophylla* Fisch[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2019, 47(11): 73-76.
- [14] 谢远玉, 王培娟, 朱凌金, 等. 基于气象因子的赣南脐橙气候品质指标评价模型[J]. 生态学杂志, 2019, 38(7): 2265-2274.
- Xie Y Y, Wang P J, Zhu L J, et al. Climate quality evaluation model for navel orange in Ganzhou[J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(7): 2265-2274.
- [15] 江锡兵, 龚榜初, 刘庆忠, 等. 中国板栗地方品种重要农艺性状的表型多样性[J]. 园艺学报, 2014, 41(4): 641-652.
- Jiang X B, Gong B C, Liu Q Z, et al. Phenotypic diversity of important agronomic traits of local cultivars of Chinese chestnut[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2014, 41(4): 641-652.
- [16] 刘亚斌, 郭素娟, 孙传昊. 基于巢式分组设计的板栗刺苞与坚果形态多样性分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(10): 51-60.
- Liu Y B, Guo S J, Sun C H. Morphological diversity analysis of chestnut thorns bract and nuts based on nested grouping design[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2020, 40(10): 51-60.
- [17] 杜常健, 孙佳成, 武妍妍, 等. 燕山北部山区板栗优良种质资源收集及其品质评价[J]. 林业科学研究, 2020, 33(3): 1-11.
- Du C J, Sun J C, Wu Y Y, et al. Collection and quality evaluation of elite chestnut germplasm resources in northern Yanshan Mountains[J]. Forest Research, 2020, 33(3): 1-11.
- [18] 于长文, 许启慧, 马贵东, 等. 河北青龙板栗生长气象条件分析与气候品质认证[J]. 农学学报, 2020, 10(3): 93-100.
- Yu C W, Xu Q H, Ma G D, et al. Growth meteorological condition analysis and climate quality certification of Qinglong chestnut in Hebei[J]. Journal of Agriculture, 2020, 10(3): 93-100.
- [19] 高桂芹, 王猛, 费晓臣, 等. 迁西县板栗气象干旱指数保险产品的设计[J]. 现代农业科技, 2017(2): 183-185.
- Gao G Q, Wang M, Fei X C, et al. Design of product for Chinese chestnut meteorological drought index insurance in Qianxi County[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2017(2): 183-185.
- [20] 王文君. 气象灾害对遵化市板栗产业的影响及其防范措施[J]. 现代农业科技, 2017(22): 160-161.
- Wang W J. Effects of meteorological disasters on chestnut industry in Zunhua City and its preventive measures[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2017(22): 160-161.
- [21] 邹伦星, 李鑫, 李海燕, 等. 大悟县板栗种植气象条件分析[J]. 南方农业, 2015, 9(24): 45-46.
- Zou L X, Li X, Li H Y, et al. Analysis on meteorological conditions of chestnut planting in Dawu County[J]. South China Agriculture, 2015, 9(24): 45-46.
- [22] 刘艳, 柳文祥, 王金金, 等. 炒食板栗品种营养品质评价及糖分分析[J]. 北京农学院学报, 2013, 28(2): 21-24.
- Liu Y, Liu W X, Wang J J, et al. The evaluation of nutrition quality and the analysis of sugar components in fried chestnut varieties (*Castanea mollissima*)[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2013, 28(2): 21-24.
- [23] Sasaki T, Yasui T, Kiribuchi-Otobe C, et al. Rheological properties of starch gels from wheat mutants with reduced amylose content[J]. Cereal Chemistry, 2007, 84(1): 102-107.
- [24] 梁丽松, 徐娟, 王贵禧, 等. 板栗淀粉糊化特性与淀粉粒粒径及直链淀粉含量的关系[J]. 中国农业科学, 2009, 42(1): 251-260.
- Liang L S, Xu J, Wang G X, et al. Relationship between starch pasting, amylose content and starch granule size in different Chinese chestnut variety groups[J]. Scientia Agricultural Sinica, 2009, 42(1): 251-260.
- [25] 孙涵, 毛留喜, 毕宝贵. 中国精细化农业气候区划: 产品制作与发布系统[M]. 北京: 气象出版社, 2015.
- Sun H, Mao L X, Bi B G. Refined agroclimatic regionalization in China: production and distribution system[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2015.
- [26] 王广鹏, 刘庆香, 孔德军, 等. 两种板栗淀粉含量测定方法的比较研究[J]. 安徽农学通报, 2007, 18(5): 27, 107.
- Wang G P, Liu Q X, Kong D J, et al. Comparative studies on two methods for analyzing starch content in *Castanea mollissima* Bl. [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2007, 18(5): 27, 107.
- [27] 黄小红, 别娜娜, 周圣东. 连续流动分析仪测定地表水中的总氮[J]. 分析仪器, 2010, 11(4): 36-38.
- Huang X H, Bie N N, Zhou S D. Determination of total nitrogen in surface water by continuous flow analysis[J]. Analytical Instrumentation, 2010, 11(4): 36-38.
- [28] 黄志伟, 曹剑, 柏玉平. 不同油茶品种对重庆市气候的适应性评价[J]. 南方农业学报, 2016, 47(8): 1338-1343.
- Huang Z W, Cao J, Bai Y P. Adaptability of different *Camellia oleifera* Abel. varieties to climate of Chongqing[J]. Journal of Southern Agriculture, 2016, 47(8): 1338-1343.
- [29] 阚黎娜, 李倩, 谢爽爽, 等. 我国板栗种质资源分布及营养成分比较[J]. 食品工业科技, 2016, 37(20): 396-400.
- Kan L N, Li Q, Xie S S, et al. Resource distribution and nutritional quality difference of Chinese chestnuts[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(20): 396-400.
- [30] Yang F, Liu Q, Pan S, et al. Chemical composition and quality traits of Chinese chestnuts (*Castanea mollissima*) produced in different ecological regions[J]. Food Bioscience, 2015, 11: 33-42.
- [31] 马雅莉, 郭素娟. 板栗冠层光合特性的空间异质性研究[J]. 北京林业大学学报, 2020, 42(10): 71-83.
- Ma Y L, Guo S J. Spatial heterogeneity of photosynthetic characteristics in Chinese chestnut canopy[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2020, 42(10): 71-83.
- [32] 李洪果, 陈达镇, 许靖诗, 等. 濒危植物格木天然种群的表型多样性及变异[J]. 林业科学, 2019, 55(4): 72-86.
- Li H G, Chen D Z, Xu J S, et al. Phenotypic diversity and variation in natural populations of *Erythrophleum fordii*, an endangered plant species[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2019, 55(4): 72-86.
- [33] Yang F, Huang X, Zhang C, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume) and its protein subunit[J]. Royal Society of Chemistry, 2018(8): 2653-2659.

(责任编辑 范娟 赵田芸
责任编辑 马履一)