

DOI:10.12403/j.1001-1498.20220296

不同栽培区气候条件对‘燕山早丰’板栗坚果经济性状的影响

樊晓芸¹, 郭素娟^{1*}, 江锡兵², 李艳华³

(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. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400; 3. 云南省玉溪市易门县林业和草原局, 云南 玉溪 651100)

摘要: [目的] 筛选影响不同栽培区‘燕山早丰’板栗坚果品质的关键气候因子, 建立‘燕山早丰’板栗栽培关键气候因子评价体系, 为‘燕山早丰’板栗品种科学种植和引种区划提供理论依据。[方法] 以 8 个不同栽培区‘燕山早丰’板栗品种为研究对象, 将坚果品质指标与气候因子进行相关性分析和回归分析, 并构建坚果品质指标与关键气候因子的非线性回归方程。[结果] ‘燕山早丰’在浙江金华坚果横径 (33.63 mm)、坚果纵径 (26.98 mm)、果形指数 (0.73) 和单粒质量 (10.86 g) 均高于其他栽培区, 在河北迁西可溶性糖含量 (19.01%) 和支链淀粉/直链淀粉比值 (1.69) 均高于其他地区; 影响‘燕山早丰’坚果品质的关键气候因子为温度因子、光照因子和水分因子, 且温度因子中生长季均温日较差对坚果品质影响最大; ‘燕山早丰’在生长季均温日较差 25.89℃ 的生态区域坚果品质表现最佳, 其品质指标优化值为: 可溶性糖含量 25.63%、支链淀粉/直链淀粉比值 1.93、蛋白质含量 8.32%。[结论] 日照时数越长、平均温度越大、生长季均温日较差越大的气候条件有利于‘燕山早丰’甜糯品质的形成。

关键词: 板栗; 品质; 气候因子; 评价模型

中图分类号: S664.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2023)01-0022-09

板栗 (*Castanea mollissima* Bl.) 壳斗科 (Fagaceae) 栗属 (*Castanea* Mill.), 是我国重要的木本粮食树种之一^[1]。板栗营养丰富, 栽培范围广, 适应性强, 兼具较高的生态效益和经济价值^[2], 我国 22 个省、自治区和直辖市将板栗作为一种重要的经济作物进行种植^[3], 目前栽植总面积和产量稳居世界第一^[4]。燕山地区作为北方板栗的传统主产区, 板栗品种较多, 其中, ‘燕山早丰’为最受当地栗农欢迎的品种之一^[5]。‘燕山早丰’不仅在北方地区种植, 引种到南方后的品质也为上等^[6]。不同栽培区的气候条件导致‘燕山早丰’板栗品质存在较大差异, 只有种植于适宜的栽培区才能产生最大效益。因此, 研究影响‘燕山早丰’板栗坚果

品质对气候因子的响应, 对‘燕山早丰’的引种及科学种植具有重要意义。

植物内在品质的形成受 2 种因素共同调控, 一种是植物内部生理调节, 另一种是光照、水分、温度、养分、空气等环境因子的作用^[7]。气候因子是影响果实品质的主要环境因子, 尤其在果实发育期, 影响则更为显著^[8]。气候因子中温度因子是限制茶叶品质形成的主要因子^[9], 而在茶叶生长过程中受温度因子的影响大于降水, 降水大于日照^[10]。研究表明, 与光照因子和水分因子相比, 热量因子对水蜜桃 (*Prunus persica* L.) 品质的影响更显著^[11]; 分析苹果 (*Malus pumila* Mill.) 品质与气候因子关系得出, 单果质量主要受 8 月降水量和 9 月日照

收稿日期: 2022-06-07 修回日期: 2022-09-26

基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFD1001604)

* 通讯作者: 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

时数的影响, 糖含量则主要与生长季温度日较差和日照时数密切相关^[12]; 影响脐橙 (*Citrus sinensis* Osb. var. *brasiliensis* Tanaka) 品质的主要气候因子为 6—11 月的温度、日照时数和降水量^[13]; 生态因子影响核桃 (*Juglans regia* L.) 果实性状, 具体表现为年平均温度显著影响果实厚度^[14]; 对 4 个不同区域的骏枣 (*Ziziphus jujube* Mill.) 品质与气候因子研究可知, 降雨量是影响果实品质的关键气候因子^[15], 影响平榛 (*Corylus heterophylla* Fisch.) 品质的关键气候因子为年日照时间^[16]; 分析不同产地的宁夏枸杞 (*Lycium barbarum* L.) 外观形态与气候因子的相关性可知, 影响枸杞果实形态的主导因子为平均温度^[17]; 限制长柄扁桃 (*Prunus pedunculata* Pall.) 生长的关键因子为降水季节性分布^[18]。由以上分析可知, 经济作物的果实生长及品质与气候因子密切相关, 研究具体指标与气候因子的相关性对于增加产量和品质至关重要。

在板栗品质与气象方面的研究表明, 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^[19]; 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^[20]; 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^[21]; 也有研究认为, 温度和日照时数均会影响板栗淀粉和糖含量^[22]。由此可见, 板栗坚果品质与气候因子密切相关。我国板栗分布范围广, 但大多是基于同一地区不同板栗果实品质与气候因子关系的研究^[23], 而对不同生态区域板栗品质与气候因子的关系鲜有报道。

本研究测定了 8 个不同栽培区‘燕山早丰’板栗坚果品质, 并对坚果表型性状和内在品质指标与关键气候因子进行了相关性分析和回归分析, 筛选影响不同栽培区‘燕山早丰’坚果品质的关键气候因子, 并建立不同栽培区‘燕山早丰’板栗坚果评价模型和栽培关键气候因子优化体系, 旨在揭示不同栽培区‘燕山早丰’的品质差异, 为‘燕山早丰’板栗品种科学种植和引种区划提供理论依据。

1 试验材料及气象数据来源

1.1 试验材料

以不同栽培区板栗品种‘燕山早丰’为研究对象, 具体包括河北迁西县 (I 区)、河北昌黎县

(II 区)、天津蓟州区 (III 区)、北京怀柔区 (IV 区)、山东泰安市 (V 区)、河南信阳市 (VI 区)、浙江金华市 (VII 区)、云南易门县 (VIII 区) 8 个区域。所有区域‘燕山早丰’树龄一致 (15~20 年生), 且树势中庸, 所选果园栽植密度、土壤条件、地势地形和栽培管理水平相近。‘燕山早丰’最初由河北省农林科学院昌黎果树研究所选育而来, 适宜炒食及加工, 栽植区域为华北地区, 所有区域均为嫁接苗木, 所选砧木均为当地实生苗。

各区域‘燕山早丰’成熟期具有差异性。I 区—IV 区坚果成熟期均为 9 月初至上旬, V 区为 8 月底至 9 月初, VI 区和 VII 区均为 8 月底, VIII 区为 7 月下旬。

1.2 气象数据来源

各栽培区气象数据资料来源于当地各气象站数据资料及中国气象数据网提供的 1981—2020 年气象数据 (<http://www.nmic.cn/data.html>)。气象数据包括各栽培区年气候因子和板栗果实生长季 (4—9 月) 气候因子, 其中, 生长季气候因子中的降水量和日照时数计算累积值, 其余指标计算均值。不同栽培区气象数据见表 1。

2 研究方法

2.1 试验设计

在各地区板栗坚果成熟期, 在每个区域随机选取 3 个土壤条件、地势地形和栽培管理水平相近果园, 随机选取 15~20 年生、树势中庸的该品种 10 株, 在树冠外围中部东南西北 4 个方向各取 20 粒坚果 (边果), 随机抽取边果 100 粒, 测定单粒质量、坚果横径、纵径、厚度、果形指数等表型性状, 3 次重复。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。

2.2 各项指标测定方法

2.2.1 表型性状指标测定及果形指数计算 游标卡尺测量横径、纵径、厚度; 果形指数 = 纵径/横径。

2.2.2 内在品质指标测定及含水量计算 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, 先计算初始质量, 后置于烘箱中先 105 ℃ 杀青 0.5 h, 再 80 ℃ 烘干至恒质量。用粉碎机将烘干后的样品粉碎后

表1 不同栽培区气象数据资料
Table 1 Climate data of different cultivation areas

气候因子 Climate factor	栽培区 Cultivation region							
	I 区	II 区	III 区	IV 区	V 区	VI 区	VII 区	VIII 区
年平均温度 Annual mean temperature/°C	11.3	12.6	11.7	11.8	13.3	15.5	16.9	16.5
年均温日较差 Average annual temperature difference/°C	11.6	9.8	10.2	11.8	11.1	8.7	8.6	10.1
年日照时数 Annual mean sunshine hours/h	2 706	2 809	2 700	2 800	2 627	2 250	1 888	1 706
年降水量 Annual mean precipitation/mm	680.8	602.9	615.3	585.2	685.6	1 007.8	1 380	843.5
极端最低温 Annual extreme minimum temperature/°C	-20.8	-22.7	-22.4	-22.4	-20.7	-17.3	-13.2	-4.6
极端最高温 Annual extreme maximum temperature/°C	40.6	39.4	41.7	41.0	42.1	39.4	40.8	35.5
生长季平均温度 Mean temperature of monthly/°C	21.16	19.30	22.20	21.58	22.30	23.60	24.00	21.30
生长季最低温度 The lowest temperature of monthly/°C	8.19	7.70	11.60	10.40	9.61	15.00	14.40	12.40
生长季最高温度 The highest temperature of monthly/°C	33.7	30.5	33.7	34.45	34.3	36.1	35.3	30.7
生长季均温日较差 Temperature difference of monthly/°C	25.55	22.4	24.2	23.51	25.0	21.1	20.9	18.2
生长季总降水量 Precipitation of monthly/mm	355.23	661.60	426.80	372.00	436.20	476.30	1 070	547.90
生长季总日照时数 Sunshine of monthly/h	1 530.03	1 522	1 685.6	1 572.7	1 336.7	1 179.4	1 143	1 264.3

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。可溶性糖、淀粉含量测定: 可溶性糖含量采用蒽酮硫酸比色法测定^[24]; 直链淀粉和支链淀粉含量参照 GB/T 15683—2008^[25] 进行测定, 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; 蛋白质含量参照 GB 5009.5—2016^[27] 进行测定, 蛋白质含量=N 元素含量×6.25, 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^[28]。所有指标均重复 3 次。

2.3 数据处理

利用 Excel 2010 进行数据统计, SPSS Statistics 26.0 软件进行方差分析和相关性分析, Origin 2019 进行作图, LINGO 12.0 软件求解关键气候因子最优方案。

变异系数 (CV)^[27]:

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

式中: s 为标准差, \bar{x} 为平均值。

3 结果与分析

3.1 不同栽培区‘燕山早丰’板栗坚果表型性状差异分析

由表 2 可知: ‘燕山早丰’板栗坚果各表型性状在不同栽培区间均存在差异; 不同栽培区‘燕山早丰’单粒质量均值为 9.55 g, VI 区 (10.21 g) 和

VII 区 (10.86 g) 差异不显著, 但均显著高于其他地区 ($P < 0.05$), 单粒质量最小的区域为 IV 区 (8.54 g); VII 区的坚果横径、坚果纵径和果形指数均最大, 并显著高于其他 7 个地区, 其中, ‘燕山早丰’板栗坚果在不同栽培区之间的果形指数均小于 1, VII 区的最大 (0.73), VIII 区次之; VIII 区坚果厚度显著高于其他地区 (24.48 mm)。^{‘燕山早丰’坚果表型性状变异系数由大到小为: 单粒质量 (11.31%) > 坚果厚度 (6.31%) > 坚果纵径 (4.95%) > 坚果横径 (4.85%) > 果形指数 (2.94%)。果形指数变异系数最小, 表明‘燕山早丰’果形指数较其它表型性状在不同栽培区之间稳定性更高, 即不同栽培区‘燕山早丰’具有相对一致的果形指数。}

3.2 不同栽培区‘燕山早丰’板栗坚果内在品质差异分析

由表 3 可知: ‘燕山早丰’板栗坚果内在品质在不同栽培区间均存在差异 ($P < 0.05$); VII 区的含水量最高 (46.54%), I 区的含水量最低 (40.01%); I 区的可溶性糖含量最高 (19.01%), VII 区的可溶性糖含量最低 (9.54%); 支链淀粉/直链淀粉比值范围为 0.78~1.69, I 区的支链淀粉/直链淀粉比值 (1.69) 显著高于其他地区, 且差异显著; VII 区的蛋白质含量最高 (8.32%), VI 区 (7.98%) 和 VIII 区 (7.54%) 次之。^{‘燕山早丰’坚果内在品质指标变异系数最大的为支链淀粉/直链淀粉比值}

表 2 不同栽培区‘燕山早丰’板栗坚果表型性状差异性分析

Table 2 Analysis on differences of phenotypic traits of 'Yanshanzaofeng' chestnut nuts in different cultivation region

项目 Item	坚果横径 Transverse diameter/mm	坚果纵径 Vertical diameter/mm	坚果厚度 Thickness/mm	果形指数 Fruit shape index	单粒质量 Single grain weight/g
I 区 Region I	28.84 ± 1.53 d	25.22 ± 1.11 c	18.55 ± 1.21 d	0.64 ± 0.04 c	8.63 ± 1.21 c
II 区 Region II	31.11 ± 1.43 b	26.86 ± 1.04 b	21.27 ± 0.89 c	0.68 ± 0.03 b	10.01 ± 1.05 b
III 区 Region III	28.65 ± 1.29 d	25.33 ± 1.21 c	18.47 ± 1.22 d	0.64 ± 0.01 c	8.76 ± 1.14 c
IV 区 Region IV	28.74 ± 1.68 d	25.64 ± 1.32 bc	18.25 ± 1.35 d	0.64 ± 0.02 c	8.54 ± 1.06 c
V 区 Region V	30.55 ± 1.44 c	26.76 ± 1.42 b	19.32 ± 1.53 cd	0.65 ± 0.02 c	9.76 ± 0.89 b
VI 区 Region VI	32.54 ± 1.62 ab	26.53 ± 1.55 bc	22.05 ± 1.33 b	0.70 ± 0.03 ab	10.21 ± 1.12 a
VII 区 Region VII	33.63 ± 1.50 a	26.98 ± 1.37 a	21.03 ± 1.05 c	0.73 ± 0.01 a	10.86 ± 1.22 a
VIII 区 Region VIII	30.11 ± 1.38 bc	26.89 ± 1.38 b	24.48 ± 1.74 a	0.72 ± 0.03 a	9.61 ± 0.97 b
平均值 ± 标准差 Mean ± Standard deviation	30.52 ± 1.48	26.28 ± 1.30	20.43 ± 1.29	0.68 ± 0.02	9.55 ± 1.08
变异系数 Variable coefficient/%	4.85	4.95	6.31	2.94	11.31

注: 同列不同小写字母表示不同栽培区间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Notes: Different lowercase letters after the same column of values indicate significant ($P < 0.05$) in this index between different Cultivation areas. The same below.

(18.80%), 表明其在不同栽培区该性状稳定性较低, 其次为可溶性糖含量 (9.29%)、蛋白质含量 (4.48%), 含水量的变异系数最小 (2.51%),

表明‘燕山早丰’坚果含水量在不同栽培区之间稳定性较高。

表 3 不同栽培区‘燕山早丰’板栗坚果内在品质差异性分析

Table 3 Analysis on the difference of inner quality of 'Yanshanzaofeng' chestnut nuts in different cultivation areas

项目 Item	含水量 Water content/%	可溶性糖 Contents of soluble sugar/%	支链淀粉/直链淀粉 Amylopectin content/amylose content	蛋白质含量 Protein content/%
I 区 Region I	40.01 ± 1.21 c	19.01 ± 0.56 a	1.69 ± 0.11 a	7.17 ± 0.32 bc
II 区 Region II	43.79 ± 1.05 b	12.52 ± 0.76 c	1.24 ± 0.12 c	6.12 ± 0.42 d
III 区 Region III	40.43 ± 1.14 c	13.95 ± 1.11 b	1.59 ± 0.15 b	6.95 ± 0.26 c
IV 区 Region IV	40.52 ± 1.06 c	13.57 ± 0.87 b	1.52 ± 0.11 b	6.74 ± 0.33 cd
V 区 Region V	44.62 ± 0.89 b	10.99 ± 1.44 d	0.88 ± 0.17 d	6.36 ± 0.42 d
VI 区 Region VI	45.79 ± 1.12 a	10.12 ± 1.33 d	0.81 ± 0.18 d	7.98 ± 0.26 b
VII 区 Region VII	46.54 ± 1.22 a	9.54 ± 1.50 e	0.78 ± 0.14 e	8.32 ± 0.31 a
VIII 区 Region VIII	42.78 ± 0.97 b	11.01 ± 1.38 d	0.85 ± 0.13 d	7.54 ± 0.21 b
平均值 ± 标准差 Mean ± Standard deviation	43.06 ± 1.08	12.59 ± 1.12	1.17 ± 0.14	7.15 ± 0.32
变异系数 Variable coefficient/%	2.51	9.29	18.80	4.48

3.3 ‘燕山早丰’板栗坚果品质与气候因子相关性分析

表 4 表明: 坚果横径与年日照时数呈极显著正相关, 与生长季平均温度呈显著正相关; 坚果纵径与生长季均温日较差呈极显著正相关; 坚果厚度与

生长季平均温度和生长季总降水量均呈极显著正相关; 果形指数与年平均温度和生长季平均温度均呈极显著正相关; 单粒质量与年平均温度和生长季总降水量均呈极显著正相关, 与生长季均温日较差呈显著负相关; 可溶性糖与生长季均温日较差和生长

季总日照时数均呈极显著正相关,与年日照时数呈显著正相关;支链淀粉/直链淀粉比值与年日照时数呈显著正相关,与生长季平均温度、生长季均温

日较差和生长季总日照时数均呈极显著正相关;蛋白质与年平均温度和生长季总降水量均呈显著正相关,与生长季总日照时数呈极显著负相关。

表 4 ‘燕山早丰’板栗坚果品质指标与气候因子的相关性

Table 4 Correlation between quality indexes of 'Yanshanzaofeng' chestnut nuts and climate factors

气候因子 Climate factors	坚果横径 Transverse diameter	坚果纵径 Vertical diameter	坚果厚度 Thickness mm	果形指数 Fruit shape index	单粒质量 Single grain weight	含水量 Watercontent	可溶性糖含量 Contents of soluble sugar	支链淀粉/ 直链淀粉 Amylopectin content/ Amylosecontent	蛋白质 含量 Protein content
年平均温度 Annual mean temperature	0.354	0.235	0.431	0.893**	0.764**	0.432	0.564	0.538	0.662*
年均温日较差 Average annual temperature difference	-0.443	0.121	-0.111	0.248	-0.549	-0.321	0.623	0.573	-0.544
年日照时数 Annual mean sunshine hours	0.688**	0.656	0.143	0.256	-0.611	-0.543	0.643*	0.669*	-0.263
年降水量 Annual mean precipitation	0.234	0.104	0.205	0.112	0.556	0.645*	-0.548	-0.465	0.488
极端最低温 Annual extreme minimum temperature	0.410	-0.334	-0.124	0.556	0.604	-0.116	0.368	0.237	0.314
极端最高温 Annual extreme maximum temperature	-0.236	0.230	0.321	-0.342	-0.522	0.158	0.228	0.311	0.163
生长季平均温度 Mean temperature of monthly	0.649*	0.234	0.722**	0.742**	0.311	0.656*	0.572	0.822**	0.557
生长季最低温度 The lowest temperature of monthly	0.114	0.362	0.125	0.345	0.423	0.325	0.164	0.186	0.182
生长季最高温度 The highest temperature of monthly	0.240	0.526	0.312	0.141	0.206	0.529	0.127	0.422	0.109
生长季均温日较差 Temperature difference of monthly	0.104	0.745**	-0.322	-0.624	-0.676*	-0.546	0.869**	0.858**	-0.211
生长季总降水量 Precipitation of monthly	0.352	0.124	0.822**	0.523	0.688**	0.825**	-0.489	-0.574	0.664*
生长季总日照时数 Sunshine of monthly	-0.115	0.213	0.148	-0.232	-0.452	-0.529	0.834**	0.725**	-0.724**

注: *表示显著相关 ($P<0.05$), **表示极显著相关 ($P<0.01$)。下同。

Nates: *means correlation is significant at $P<0.05$ level, **means correlation is extremely significant at $P<0.01$. The same below.

由此可知,影响‘燕山早丰’板栗坚果品质指标的关键气候因子主要有 7 个,其中,温度因子包括年平均温度、生长季平均温度和生长季均温日较差,光照因子包括年日照时数和生长季日照时数,水分因子包括年降水量和生长季降水量。

3.4 ‘燕山早丰’板栗坚果气候品质评价模型

为了进一步探明关键气候因子对‘燕山早丰’板栗坚果品质的重要程度,将相关性分析呈显著水平及逐步回归分析筛选出来的关键气候因子与坚果品质指标作多元非线性回归分析处理,得到影响不同栽培区‘燕山早丰’板栗坚果与关键气候因子的非线性回归方程(表 5)。

由表 4、5 可知:在不同栽培区,年日照时数和生长季平均温度单独作用对坚果横径具有显著正效应;坚果纵径主要受年日照时数和生长季均温日较差的影响,且单独作用和两两交叉作用均对其产

生显著正效应;生长季平均温度和生长季总降水量以及二者交互作用均对坚果厚度产生显著正效应;果形指数主要受年平均温度和生长季平均温度的影响,二者单独作用和交叉作用均对果形指数具有显著正效应;单粒质量主要受年平均温度、生长季均温日较差和生长季总降水量的影响,其中,年平均温度和生长季总降水量单独作用对其具有显著正效应,生长季均温日较差和生长季总降水量的交叉作用则对其产生显著负效应;含水量主要与年降水量、生长季平均温度和生长季总降水量有关,三者单独作用对其均产生显著正效应;年日照时数和生长季总日照时数单独作用和交叉作用均对可溶性糖含量具有显著正效应,生长季均温日较差单独作用以及与年日照时数交叉作用均对可溶性糖含量具有极显著正效应;支链淀粉/直链淀粉比值主要受年日照时数、生长季平均温度和生长季均温日较差影

表 5 影响不同栽培区‘燕山早丰’板栗坚果品质的关键气候因子及回归方程

Table 5 Main climate factors and regression equation affecting nut quality of 'Yanshanzaofeng' chestnut in different cultivation areas

品质指标 Quality index	关键气候因子 Major affecting factor	回归方程 Non-linear regression formula	偏相关系数 Partial correlation coefficient
横径 (Y1) Transverse diameter/mm	X3;X7	$Y1=9.23 + 0.63X3 + 0.01X7 - 0.02X3X7$	$r(X3)=0.934^*$, $r(X7)=0.945^*$, $r(X3X7)=0.925^*$
纵径 (Y2) Vertical diameter/mm	X3;X10	$Y2=10.34 + 0.02X3 + 0.01X10 + 0.03X3X10$	$r(X3)=0.948^*$, $r(X10)=0.954^*$, $r(X3X10)=0.966^*$
厚度 (Y3) Thickness/mm	X7;X11	$Y3=11.05 + 0.69X7 + 0.15X11 + 0.12X7X11$	$r(X7)=0.920^*$, $r(X11)=0.922^*$, $r(X7X11)=0.972^*$
果形指数 (Y4) Fruit shape index	X1;X7	$Y4=1.23 + 0.47X1 + 0.09X7 + 0.35X1X7$	$r(X1)=0.957^*$, $r(X7)=0.943^*$, $r(X1X7)=0.968^*$
单粒质量 (Y5) Single grain weight/g	X1;X10;X11	$Y5=27.85 + 0.27X1 + 0.83X11 - 0.61X10X11$	$r(X1)=0.925^*$, $r(X11)=0.947^*$, $r(X10X11)=0.936^*$
含水量 (Y6) Water content/%	X4;X7;X11	$Y6=51.22 + 0.02X4 + 0.12X7 - 0.03X11 + 0.01X7X11$	$r(X4)=0.952^*$, $r(X7)=0.923^*$, $r(X11)=0.966^*$, $r(X7X11)=0.946^*$
可溶性糖含量 (Y7) Contents of soluble sugar/%	X3;X10;X12	$Y7=9.26 + 0.001X3 + 0.004X10 - 0.12X12 + 0.25X3X10 + 0.01X3X12$	$r(X3)=0.941^*$, $r(X10)=0.992^{**}$, $r(X12)=0.962^*$, $r(X3X10)=0.994^{**}$, $r(X3X12)=0.953^*$
支链淀粉/直链淀粉 (Y8) Amylopectin content/Amylose content	X3;X7;X10	$Y8=-18.87 + 0.02X3 + 0.24X7 + 0.61X10 + 0.54X3X10$	$r(X3)=0.923^*$, $r(X7)=0.955^*$, $r(X10)=0.998^{**}$, $r(X3X10)=0.999^{**}$
蛋白质含量 (Y9) Protein content/%	X1;X11;X12	$Y9=9.68 + 0.43X1 + 0.02X11 - 0.01X11X12$	$r(X1)=0.966^*$, $r(X11)=0.953^*$, $r(X11X12)=-0.933^*$

注: X1:年平均温度; X3:年日照时数; X4:年降水量; X7:生长季平均温度; X10:生长季均温日较差; X11:生长季总降水量; X12:生长季总日照时数。

Nates: X1: Annual mean temperature; X3: Annual mean sunshine hours; X4: Annual mean precipitation; X7: Mean temperature of monthly; X10: Temperature difference of monthly; X11: Precipitation of monthly; X12: Sunshine of monthly.

响, 生长季均温日较差单独作用以及和年日照时数交叉作用对其均产生极显著正效应, 年日照时数和生长季平均温度单独作用对其均具有显著正效应; 年平均温度和生长季总降水量单独作用对蛋白质含量产生显著正效应, 生长季总降水量和生长季总日照时数交叉作用对蛋白质含量产生显著负效应。

3.5 ‘燕山早丰’板栗栽培关键气候因子评价体系的建立

由表 6 可知: 当年平均温度为 11.5 °C、年日

照时数为 2 846 h、生长季平均温度为 22.6 °C、生长季均温日较差为 25.89 °C、生长季总降水量为 427.66 mm、生长季总日照时数为 1 589.8 h 时, ‘燕山早丰’板栗坚果品质表现最佳, 其品质指标优化值为坚果横径 29.01 mm、坚果纵径 18.57 mm、坚果厚度 26.05 mm、果形指数 0.64、单粒质量 9.56 g、含水量 43.7%、可溶性糖含量 25.63%、支链淀粉/直链淀粉比值 1.93、蛋白质含量 8.32%。

表 6 不同栽培区‘燕山早丰’板栗坚果品质与关键气候因子的优化值

Table 6 Optimization values of chestnut quality and key climate factors of 'Yanshanzaofeng' in different cultivation areas

关键气候因子 Main climate factors	最适值 Optimum	品质指标 Quality index	优化值 Optimal value
年平均温度 Annual mean temperature/°C	11.5	坚果横径 Transverse diameter/mm	29.01
年日照时数 Annual mean sunshine hours/h	2846	坚果纵径 Vertical diameter/mm	18.57
生长季平均温度 Mean temperature of monthly/°C	22.6	坚果厚度 Thickness/mm	26.05
生长季均温日较差 Temperature difference of monthly/°C	25.89	果形指数 Fruit shape index	0.64
生长季总降水量 Precipitation of monthly/mm	427.66	单粒质量 Single grain weight/g	9.56
生长季总日照时数 Sunshine of monthly/h	1589.8	含水量 Water content/%	43.7
		可溶性糖含量 Contents of soluble sugar/%	25.63
		支链淀粉/直链淀粉 Amylopectin content/Amylose content	1.93
		蛋白质含量 Protein content/%	8.32

4 讨论

板栗在我国分布范围广,不同的气象条件使板栗的品质表现出显著差异性^[1]。江锡兵等^[21]研究表明,板栗坚果单粒质量在南方地区大于北方地区,本研究与此结论一致。淀粉含量是板栗坚果主要的品质指标之一,总淀粉含量等于直链淀粉与支链淀粉含量之和,二者的比例还会影响栗仁食用口感以及加工特性^[22],支链淀粉/直链淀粉比值越大则糯性越强^[23]。本研究中,河北迁西地区‘燕山早丰’板栗支链淀粉/直链淀粉比值显著大于其他区域,表明河北迁西地区该品种坚果糯性更强,结合其可溶性糖含量最高的结果,表明该区‘燕山早丰’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‘燕山早丰’板栗品种更适合炒食。含水量作为影响新鲜板栗贮藏寿命的重要指标之一,坚果含水量越小,贮藏性越强^[5],河北迁西地区‘燕山早丰’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^[29-30]。本研究结果显示,不同栽培区‘燕山早丰’表型性状变异系数最小的为果形指数(2.94%),内在品质指标变异系数最小的为含水量(2.51%),表明‘燕山早丰’果形指数和含水量具有较高的稳定性。板栗作为喜光树种,温度和光照对其有显著影响^[31]。坚果横径与生长季平均温度呈显著正相关,坚果纵径与生长季均温日较差呈极显著正相关,坚果厚度与生长季平均温度呈极显著正相关,果形指数与年平均温度和生长季平均温度均呈极显著正相关,单粒质量与生长季均温日较差呈显著负相关,因此,本研究认为,影响坚果表型性状的主要气候因子为温度因子,这与李洪果等^[32]和黄志伟等^[33]研究所得表型性状主要受温度因子影响的结论基本一致。本研究结果表明,生长季气候因子比年度气候因子更会影响板栗坚果品质。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^[34]。

非线性回归方程说明坚果品质同时受到多种气候因子的共同影响,在分析气候因子对坚果品质的影响时要综合考虑,避免片面分析。本研究所得‘燕山早丰’板栗坚果气候品质评价模型可将种植地区的相关气象与因子数据代入模型后,即可获得对

应品质指标的数据值,可初步评估‘燕山早丰’引种于该地后的品质表现,为科学引种提供理论参考。

5 结论

影响板栗坚果品质的主要气候因子为温度因子,其次为光照因子和水分因子,且温度因子中生长季均温日较差对坚果品质影响最大。‘燕山早丰’在河北迁西地区表现为可溶性糖含量(19.01%)和支链淀粉/直链淀粉比值(1.69)显著高于其他区域,表明河北迁西地区板栗甜糯性较好,最适合糖炒。

‘燕山早丰’在生长季均温日较差 25.89 °C 的生态区域坚果品质表现最佳,其品质指标优化值分别为:可溶性糖 25.63%、支链淀粉/直链淀粉比值 1.93、蛋白质 8.32%。

参考文献:

- [1] 张宇和,柳 蓁,梁维坚.中国果树志板栗榛子卷[M].北京:中国林业出版社,2005:63-68.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] MASSANTINI R, MOSCETTI R, FRANGIPANE M T. Evaluating progress of chestnut quality A review of recent developments[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021(113): 245-254.
- [5] 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.
- [6] 杨 斌.8个板栗品种在甘肃陇南的引种表现[J].中国果树,2003(5):19-20.
- [7] SUTAN S. Phenotypic plasticity for plant development, function and life history[J]. Trends in Plant Science, 2001, 1(5): 537-542.
- [8] 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.
- [9] 刘瑞娜,陈金华,曹 雯,等.基于气候指数的安徽省茶叶气候品质评价[J].生态学杂志,2019,38(2):612-618.
- [10] 金志凤,叶建刚,杨再强,等.浙江省茶叶生长的气候适宜性[J].应用生态学报,2014,25(4):967-973.
- [11] 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].生态学杂志,2019,38(11):3366-3375.
- [12] 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.

- [13] 谢远玉, 王培娟, 朱凌云, 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.
- [14] 魏丽萍, 韩艳英, 大布穷, 等. 西藏光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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 王亚军, 梁晓娃, 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.
- [18] 张君明, 边 磊, 周飞梅, 等. 长柄扁桃适宜分布区对气候变化的响应[J]. 林业科学研究, 2022, 35 (5): 180-187.
- [19] 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.
- [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, 1 (22): 160-161.
- [21] 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.
- [22] ZHANG Y, NITSCHKE M, BI P. Risk factors for direct heat-related hospitalization during the 2009 Adelaide heatwave: a case crossover study[J]. Science of the Total Environment, 2013, 442(1): 1-5.
- [23] 江锡兵, 滕国新, 范金根, 等. 长江中下游区板栗主栽品种果实表型和品质综合评价[J]. 林业科学研究, 2022, 35 (1): 70-81.
- [24] 梁丽松, 徐 娟, 王贵禧, 等. 板栗淀粉糊化特性与淀粉粒径及直链淀粉含量的关系[J]. 中国农业科学, 2009, 42 (1): 251-260.
- [25] GB/T 15683-2008. 大米 直链淀粉含量的测定[S].
- [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.
- [27] 张深梅, 奚建伟, 洪俊彦, 等. 大别山山核桃果实与叶片性状的表型多样性研究[J]. 林业科学研究, 2020, 33 (1): 152-161.
- [28] 曹小艳, 李 志, 张 卿, 等. 不同板栗品种(系)抗性淀粉综合评价[J]. 中国粮油学报, 2019, 34 (7): 39-46.
- [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.
- [30] 王娅丽, 顾志杰, 贾巧霞. 37份文冠果优新种质资源表型性状遗传变异分析[J]. 林业科学研究, 2022, 35 (5): 1-12.
- [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.
- [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): 69-83.
- [33] 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.
- [34] YANG F, HUANG X, ZHANG C, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of chinese chestnut (*Castanea mollissima* Bl.) and its protein subunit[J]. Royal Society of Chemistry, 2018, 1(8): 2653-2659.

Response of Chestnut Quality of 'Yanshanzaofeng' to Climate Factors in Different Cultivation Areas

FAN Xiao-yun¹, GUO Su-juan¹, JIANG Xi-bing², LI Yan-hua³

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311499, Zhejiang, China; 3. Forestry and Grassland Bureau of Yimen County, Yuxi City, Yunnan Province, Yuxi 651100, Yunnan, China)

Abstract: [Objective] To explore the key climate factors affecting the quality of 'Yanshanzaofeng' chestnut in different cultivation areas and establish the key climate factors evaluation system of 'Yanshanzaofeng' cultivation for providing theoretical basis for the scientific planting and introduction of 'Yanshanzaofeng'. [Methods] Based on 'Yanshanzaofeng' planted in eight different growing areas, the correlation and regression analysis were carried out between nut quality indexes and climate factors, and the nonlinear regression equation between nut quality indexes and key climate factors was constructed. [Results] The results showed that the cross diameter (33.63 mm), longitudinal diameter (26.98 mm), fruit shape index (0.73) and single grain weight (10.86 g) of 'Yanshanzaofeng' in Jinhua cultivation area were higher than those in other cultivation areas. The soluble sugar content (19.01%) and amylopectin/amylose ratio (1.69) in qianxi cultivation area of Hebei province were higher than those in other areas. The key climate factors affecting the quality of 'Yanshanzaofeng' nuts were temperature, light and water, and the daily range of average temperature in growing season had the greatest influence on the quality of nuts. The nut quality of 'Yanshanzaofeng' was the best in the ecological area with a daily average temperature difference of 25.89°C in the growing season. The optimal value of quality indexes were soluble sugar 25.63%, amylopectin/amylose ratio 1.93, protein 8.32%. [Conclusion] Climatic conditions such as longer sunshine duration, higher average temperature and greater diurnal range of average temperature in growing season are conducive to the formation of sweet and waxy quality of 'Yanshanzaofeng'.

Keywords: *Castanea mollissima* Bl.; quality; climate factors; evaluation model

(责任编辑: 徐玉秀)