

氮磷钾肥料施用对核桃蛋白质和粗脂肪含量的影响

刘春晓¹, 苗庆选¹, 怀婷婷¹, 任爱芝¹, 郭 满¹, 马海林², 李海云¹, 司东霞^{1*}

(1. 聊城大学农学院, 山东 聊城 252059; 2. 山东省林业科学研究院, 山东 济南 250014)

摘 要: 核桃生产中盲目施肥和品质低劣的问题普遍存在。为了明确不同肥料施用对核桃品质的影响, 确定实现优质核桃生产的适宜肥料用量, 以 6 年生‘香玲’为供试植物, 在氮 (N 0、0.25、0.50、0.75、1.25 kg·株⁻¹)、磷 (P₂O₅ 0、0.10、0.20、0.40、0.80 kg·株⁻¹)、钾 (K₂O 0、0.15、0.30、0.60、1.20 kg·株⁻¹) 各设置 5 个施肥水平的情况下, 研究了氮肥、磷肥、钾肥不同用量对核桃果仁蛋白质和粗脂肪含量 2 个主要品质指标的影响。结果表明: 氮肥、磷肥施用对果仁蛋白质含量影响不显著; 钾肥施用显著影响果仁蛋白质含量, 随钾肥用量的增加, 果仁蛋白质含量呈先升后降的变化趋势, 其数学关系符合一元二次函数方程 $y = -5.2872x^2 + 4.2009x + 19.27$ (0.001 < P < 0.01)。由此函数方程计算可知, 果仁蛋白质含量最大值为 20.1%, 获得最大蛋白质含量的钾肥用量为 K₂O 0.40 kg·株⁻¹。氮肥、钾肥施用对果仁粗脂肪含量影响显著, 氮肥用量和钾肥用量与果仁粗脂肪含量的数学关系均符合直线加平台数学模型 (P < 0.001; 0.001 < P < 0.01), 根据直线加平台模型的模拟结果, 氮肥、钾肥用量为 N 0.68 kg·株⁻¹ 和 K₂O 1.24 kg·株⁻¹ 时, 核桃果仁的粗脂肪含量达到最高, 分别为 61.1% 和 65.1%; 磷肥施用对果仁粗脂肪含量的影响未达显著水平。根据不同施肥处理的果仁蛋白质和粗脂肪含量, 采用隶属函数法对核桃品质进行综合评价, 氮肥、磷肥和钾肥用量分别为 N 1.25 kg·株⁻¹、P₂O₅ 0.20 kg·株⁻¹ 和 K₂O 0.60 kg·株⁻¹ 时, 平均隶属函数值最大, 核桃果仁的综合品质最好。综上, 不同肥料施用对核桃各单一品质指标和综合品质的影响不同, 生产中应根据生产目标进行合理施肥量的推荐。

关键词: 核桃; 氮肥; 磷肥; 钾肥; 蛋白质; 粗脂肪

核桃 (*Juglans regia* L.) 又名胡桃, 属胡桃科 (Juglandaceae) 胡桃属 (*Juglans*) 植物, 是世界范围内重要的坚果和木本油料树种, 因其具有较强的环境适应性和较高的营养及经济价值, 被确定为我国国土生态绿化的优良树种和战略性干果树种之一。核桃仁是核桃的主要食用部分, 含有丰富的脂质、蛋白质、糖类、维生素和微量元素等^[1-3], 具有较高的营养价值, 名列四大干果之首^[4]。其中, 脂类是核桃仁含量最高的组分, 且以油酸、亚油酸等不饱和脂肪酸为主, 对预防心脑血管疾病、降低胆固醇等有良好的作用^[3, 5-6]; 蛋白质含量 15% 左右, 最高可达 29.7%, 核桃蛋白水解后有很好的抗

氧化、抑菌、抑制血管紧张素转化酶活性和抗肿瘤等作用^[6-7]。因此, 核桃仁的脂肪和蛋白质含量常作为评价核桃食用品质的重要指标。

氮、磷、钾是植物必需的大量元素, 通过参与植物体内的碳氮代谢等生理生化过程影响植物产品品质的形成^[8-10]。已有较多研究证明, 适量供应养分对提高苹果 (*Malus pumila*)^[11]、枣 (*Ziziphus jujuba*)^[12]、葡萄 (*Vitis vinifera*)^[13] 等经济林木的果实品质具有重要作用。由此可见, 合理施肥是提高核桃食用品质的重要途径^[14]。目前, 对核桃品质方面的研究多集中于不同区域、不同品种之间或不同油料作物间果实组分的分析对比^[5, 15], 关于不同肥料施用对核桃品质影响的相关研究鲜见报道。本试验以核桃为供试植物, 在田间栽培条件下, 研究氮肥、磷肥、钾肥不同用量对核桃果仁脂肪和蛋白质含量的影响, 以期明确不同肥料施用对核桃品质的影响, 确定获得较高核桃品质的适宜肥料用量, 为生产中合理进行核桃养分管理提供依据。

收稿日期: 2021-03-26; 录用日期: 2021-05-26

基金项目: 山东省林业科技创新项目“不同生态区核桃养分需求规律与调控技术研究”(LYCX08-2018-43); 济南市十大农业特色产业科技创新项目“南山核桃优质安全高效生产关键技术集成与示范”。

作者简介: 刘春晓 (1997-), 硕士研究生, 研究方向为园林植物栽培与保护。E-mail: 1981077878@qq.com。

通讯作者: 司东霞, E-mail: sidongxia@126.com。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究于2018年4~10月在山东冠县新青果蔬种植专业合作社核桃种植园进行。试验地点位于山东省聊城市冠县烟庄(115° 51' E, 36° 49' N), 地处鲁西北黄泛平原区, 海拔高度44 m, 属温带季风区域大陆性半干旱气候, 光照充足, 四季分明, 雨热同季。年平均气温13.3℃, 年平均降水量

549.9 mm, 年平均蒸发量2234 mm, 年平均相对湿度66%, 年无霜期日数198~227 d。

1.2 试验材料

供试核桃品种为‘香玲’, 树龄6年, 自然圆头树形, 株行距4.0 m×5.0 m, 南北行向。试验用氮肥为尿素(N 46%), 磷肥为过磷酸钙(P₂O₅ 12%), 钾肥为硫酸钾(K₂O 52%)。供试土壤为壤质潮土, 0~20和20~40 cm基本理化性状见表1。

表1 供试土壤基本理化性状

土层 (cm)	有机质 (g·kg ⁻¹)	碱解氮 (mg·kg ⁻¹)	全氮 (g·kg ⁻¹)	有效磷 (mg·kg ⁻¹)	速效钾 (mg·kg ⁻¹)	pH	电导率 (μS·cm ⁻¹)
0~20	12.4	70	0.64	23	105	8.11	274
20~40	11.6	51	0.51	19	150	8.11	291

1.3 试验设计

试验包括氮、磷、钾3个单因素田间试验, 均为5个施肥水平, 随机区组设计。其中, 氮肥试验的氮素用量分别为N 0、0.25、0.50、0.75、1.25 kg·株⁻¹, 各处理磷、钾用量相同, 均为P₂O₅ 0.20 kg·株⁻¹和K₂O 0.30 kg·株⁻¹; 磷肥试验的磷素用量分别为P₂O₅ 0、0.10、0.20、0.40、0.80 kg·株⁻¹, 各处理氮、钾用量相同, 均为N 0.50 kg·株⁻¹和K₂O 0.30 kg·株⁻¹; 钾肥试验的钾素用量分别为K₂O 0、0.15、0.30、0.60、1.20 kg·株⁻¹, 各处理氮、磷用量相同, 均为N 0.50 kg·株⁻¹和P₂O₅ 0.20 kg·株⁻¹。共计15个处理, 每处理重复4次(单株为1次重复)。氮肥、磷肥、钾肥于2018年4月6日核桃萌芽期一次性施入, 采用放射沟状施肥, 施肥深度40 cm, 施肥后灌水1次, 每667 m²灌水量60 m³, 其他管理方式同农民常规管理方式。

1.4 测定项目与方法

于2018年8月30日(核桃果实收获期)每株随机选择代表性果实30个, 果实去除青皮后风干, 取果仁, 于70℃恒温干燥箱中烘干至恒重, 磨细过筛, 测定蛋白质和粗脂肪的含量。蛋白质含量采用H₂SO₄-H₂O₂消煮, 凯氏定氮法(GB/T 5009.5-2003)测定; 粗脂肪采用石油醚浸提, 索氏提取法(GB/T 5009.6-2003)测定。以核桃果仁的蛋白质和粗脂肪含量作为评价核桃食用品质的指标, 计算各处理果仁蛋白质含量、粗脂肪含量的隶属函数值, 根据两指标的平均隶属函数值对核桃品质进行综合

评价。

1.5 数据处理与分析

试验采用Excel 2016进行数据处理、一元二次回归分析和作图, 用SAS v8.0进行线性加平台模型分析, 用SPSS 18.0进行单因素方差分析(One-way ANOVA)和多重比较。

2 结果与分析

2.1 氮肥对核桃蛋白质和粗脂肪含量的影响

氮肥用量对核桃果仁蛋白质含量的影响不显著, 但显著影响核桃果仁的粗脂肪含量(表2)。不同氮肥用量各处理核桃果仁蛋白质含量为17.6%~19.1%, 与不施氮对照相比, 除氮肥用量N 0.5 kg·株⁻¹的处理果仁蛋白质含量降低2.2%外, 其余各氮素处理的蛋白质含量均有所增加, 增加幅度在1.1%~6.1%之间, 其中, 氮肥用量为N 1.25 kg·株⁻¹的情况下, 蛋白质含量最高, 为19.1%; 不同氮肥用量各处理之间核桃果仁蛋白质含量差异未达显著水平。不同氮肥用量各处理果仁粗脂肪含量为43.5%~61.8%, 随氮肥用量的增加, 核桃果仁的粗脂肪含量呈上升的趋势, 与对照相比, 各施氮处理的果仁粗脂肪含量增加13.8%~42.1%; 氮肥用量为N 1.25和0.75 kg·株⁻¹的2个处理粗脂肪含量较高, 二者之间差异不显著, 但显著高于氮肥用量N 0.25 kg·株⁻¹的处理和对照, 与N 0.50 kg·株⁻¹的处理无统计学差异。

表 2 不同氮肥用量各处理核桃果仁蛋白质和粗脂肪含量

氮肥用量 (N kg · 株 ⁻¹)	蛋白质		粗脂肪	
	含量 (%)	增加 (%)	含量 (%)	增加 (%)
0	18.0 ± 1.6a	—	43.5 ± 9.5c	—
0.25	18.2 ± 2.4a	1.1	49.5 ± 11.4bc	13.8
0.50	17.6 ± 0.9a	-2.2	56.5 ± 3.0ab	29.9
0.75	18.3 ± 1.8a	1.7	60.5 ± 1.3a	39.1
1.25	19.1 ± 1.6a	6.1	61.8 ± 3.1a	42.1

注：同一列中相同的字母表示不同处理间差异不显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 磷肥对核桃蛋白质和粗脂肪含量的影响

磷肥用量对核桃果仁蛋白质和粗脂肪含量的影响均不显著 (表 3)。不同磷肥用量各处理的核桃果仁蛋白质含量变幅在 17.9% ~ 19.4% 之间, 磷肥用量在 P_2O_5 0.20 kg · 株⁻¹ 的情况下, 蛋白质含

量最高; 与对照相比, 施用磷肥果仁蛋白质含量增加 0.5% ~ 8.3%。各处理果仁粗脂肪含量变幅在 59.0% ~ 62.3% 之间, 施用磷肥果仁粗脂肪含量较对照增加 3.1% ~ 6.0%。不同磷肥用量各处理间果仁蛋白质和粗脂肪含量差异均未达显著水平。

表 3 不同磷肥用量各处理核桃果仁蛋白质和粗脂肪含量

磷肥用量 (P_2O_5 kg · 株 ⁻¹)	蛋白质		粗脂肪	
	含量 (%)	增加 (%)	含量 (%)	增加 (%)
0	17.9 ± 1.9a	—	59.0 ± 0.8a	—
0.10	18.0 ± 2.2a	0.5	62.0 ± 1.6a	5.1
0.20	19.4 ± 2.3a	8.3	60.8 ± 5.0a	3.1
0.40	19.1 ± 1.9a	6.8	61.0 ± 3.2a	3.4
0.80	18.6 ± 1.4a	4.0	62.3 ± 2.1a	6.0

2.3 钾肥对核桃蛋白质和粗脂肪含量的影响

钾肥用量对于核桃果仁蛋白质和粗脂肪含量均有显著影响 (表 4)。不同钾肥用量各处理果仁蛋白质含量在 16.6% ~ 20.6% 之间, 钾肥用量在 K_2O 0 ~ 0.60 kg · 株⁻¹ 之间的各钾肥处理, 蛋白质含量差异不显著, 钾肥用量为 K_2O 1.20 kg · 株⁻¹ 的情况下, 蛋白质含量显著降低, 比对照降低了

17.4%, 由此可见, 过量施用钾肥会显著降低果仁的蛋白质含量。各钾肥处理果仁粗脂肪含量变幅在 57.8% ~ 62.8% 之间, 随钾肥用量的增加, 果仁粗脂肪含量有升高的趋势, 钾肥用量为 K_2O 1.20 kg · 株⁻¹ 时含量最高, 比对照增加 8.3%, 显著高于钾肥用量 K_2O 0.15 kg · 株⁻¹ 和对照的 2 个处理, 与钾肥用量 K_2O 0.30 和 0.60 kg · 株⁻¹ 的 2 个处理差异不显著。

表 4 不同钾肥用量各处理核桃果仁蛋白质和粗脂肪含量

钾肥用量 (K_2O kg · 株 ⁻¹)	蛋白质		粗脂肪	
	含量 (%)	增加 (%)	含量 (%)	增加 (%)
0	20.1 ± 0.9a	—	58.0 ± 1.0b	—
0.15	18.7 ± 1.6ab	-7.0	57.8 ± 4.6b	-0.3
0.30	19.8 ± 0.8a	-1.5	61.3 ± 3.0ab	5.7
0.60	20.6 ± 2.3a	2.4	60.8 ± 2.5ab	4.9
1.20	16.6 ± 0.6b	-17.4	62.8 ± 4.8a	8.3

2.4 施肥量与蛋白质和粗脂肪含量的相关性分析

对氮肥、磷肥、钾肥用量与核桃果仁的蛋白质以及粗脂肪含量2个品质指标进行相关性分析。结果表明,氮肥、磷肥用量与核桃果仁蛋白质含量相关性不显著,钾肥用量与果仁蛋白质含量显著相关,其数学关系可用一元二次函数方程 $y = -5.2872x^2 + 4.2009x + 19.27$ 模拟 ($0.001 < P < 0.01$) (图1)。由此函数方程计算可知,果仁蛋白质含量最大值为20.1%,获得最大蛋白质含量的钾肥用量为 K_2O $0.40 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 。

磷肥用量与果仁粗脂肪含量无显著相关性,氮肥和钾肥用量与核桃果仁粗脂肪含量的相关性达显著水平。氮肥和钾肥用量与果仁粗脂肪含量的数学关系均符合直线加平台数学模型 ($P < 0.001$; $0.001 < P < 0.01$) (图2),根据直线加平台模型的模拟结果可得,氮肥施用量为 N $0.68 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 时,核桃的粗脂肪含量达到最高,为61.1%;钾肥用量为

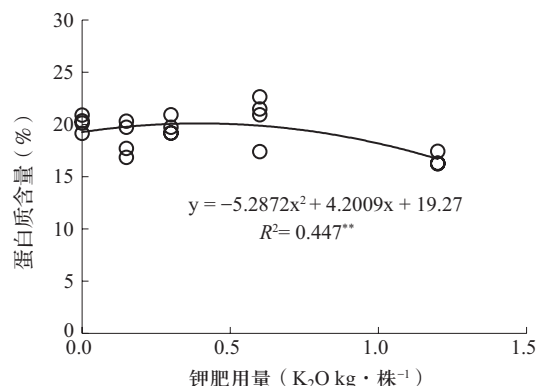


图1 施钾量与蛋白质含量的相关性分析

注:**代表极显著 ($P < 0.01$) 相关。

K_2O $1.24 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 时,核桃的粗脂肪含量最高,为65.1%。由此分析,在对核桃进行施肥管理,尤其是以粗脂肪为主要品质指标的情况下,氮肥和钾肥的最佳施用量分别为 N $0.68 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 和 K_2O $1.24 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 。

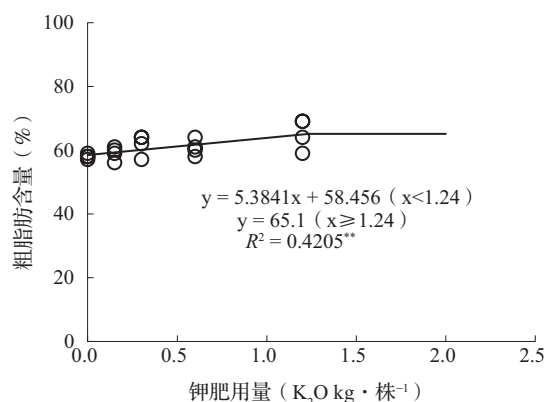
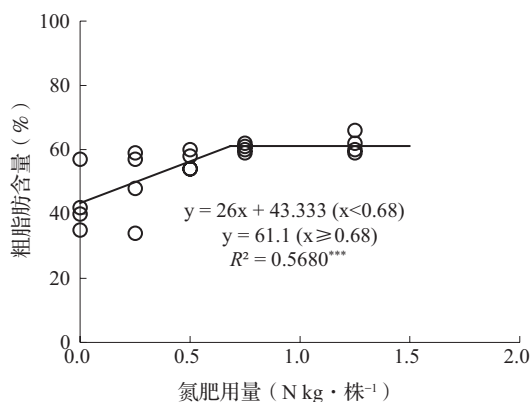


图2 施肥量与粗脂肪含量的相关性分析

注:**和***分别代表极显著 ($P < 0.01$) 相关和极其显著 ($P < 0.001$) 相关。

2.5 不同肥料施用核桃品质指标的综合评价

本试验氮肥、磷肥、钾肥不同用量条件下,选用核桃果仁蛋白质含量和粗脂肪含量2个指标,采用隶属函数法对核桃品质进行综合评价(表5)。由表5可知,不同氮肥处理核桃果仁2个品质指标的平均隶属函数值随氮肥用量的增加而增加,表明增施氮肥有助于核桃综合品质的提高,氮肥用量为

N $1.25 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 时,核桃果仁的综合品质最好。不同磷肥处理中,磷肥用量为 P_2O_5 $0.20 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 的情况下,平均隶属函数值最大,果仁品质最高,其次是 P_2O_5 $0.80 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 的处理,不施磷肥的对照品质最差。不同钾肥各处理中,钾肥用量为 K_2O $0.60 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 时,平均隶属函数值最大,核桃果仁的综合品质最好。

表 5 不同肥料用量各处理核桃品质综合评价

肥料类型	肥料用量	隶属函数值			位次
		蛋白质	粗脂肪	平均	
氮肥 (N kg · 株 ⁻¹)	0	0.27	0.00	0.13	5
	0.25	0.40	0.32	0.36	3
	0.50	0.00	0.71	0.36	4
	0.75	0.47	0.93	0.70	2
	1.25	1.00	1.00	1.00	1
磷肥 (P ₂ O ₅ kg · 株 ⁻¹)	0	0.00	0.00	0.00	5
	0.10	0.03	0.91	0.47	3
	0.20	1.00	0.55	0.77	1
	0.40	0.30	0.61	0.45	4
	0.80	0.18	1.00	0.59	2
钾肥 (K ₂ O kg · 株 ⁻¹)	0	0.88	0.04	0.46	4
	0.15	0.52	0.00	0.26	5
	0.30	0.80	0.70	0.75	2
	0.60	1.00	0.60	0.80	1
	1.20	0.00	1.00	0.50	3

3 讨论

3.1 核桃蛋白质和粗脂肪含量及其影响因素

核桃果仁营养丰富，具有较高的营养价值和药用价值。蛋白质和粗脂肪是核桃果仁的主要组分，也是评价核桃食用品质的重要指标。核桃果仁中蛋白质和粗脂肪含量受到核桃品种、环境条件、土壤肥力水平和栽培管理措施等多种因素的影响^[5, 7, 16-18]。毛晓英等^[1]和宋岩等^[19]对新疆核桃的营养品质测定结果表明，核桃果仁脂肪含量为 35.3% ~ 59.9%，薄皮核桃仁蛋白质含量达 17.7%，不同核桃品种间存在较大差异。周红等^[20]报道，新疆野核桃蛋白质含量为 17.9% ~ 19.9%，脂肪含量在 54.6% ~ 72.2% 之间，进一步证明核桃蛋白质和粗脂肪含量不同品种之间的差异性。耿树香等^[15]选择全国 6 个核桃主产区的 22 个核桃品种进行了主要营养成分的分析与评价，结果表明，蛋白质含量为 12.6% ~ 15.4%，粗脂肪含量 55.3% ~ 61.2%，不同栽培区域之间差异显著。本试验氮、磷、钾不同养分管理模式下，6 年生‘香玲’核桃果仁的蛋白质含量为 16.6% ~ 20.6%，平均为 18.7%；粗脂肪含量 43.5% ~ 65.3%，平均为 58.8%，蛋白质和粗脂肪含量的变异系数分别为

5.7% 和 9.4%，其差异主要来自肥料施用。

3.2 氮磷钾肥料施用与核桃蛋白质和粗脂肪含量

合理施肥对核桃的生长发育具有调节作用，可以促进营养器官建成，提高核桃的产量和果实品质^[21-25]。氮、磷、钾作为植物必需的大量元素，直接参与或间接影响植物的氮素代谢和脂肪代谢过程，进而在不同程度上对植物的蛋白质和粗脂肪含量产生影响。梁智等^[26]以 9 ~ 10 年生‘温 185’为试验材料，研究了氮肥、磷肥和钾肥对核桃品质的影响，结果表明，3 种肥料不同用量显著影响核桃果仁的蛋白质含量，对粗脂肪含量的影响未达显著水平。胡渊等^[27]报道，在中等土壤养分条件下，根施氮、磷、钾肥对 11 年生‘新温 185 号’核桃坚果粗脂肪含量的影响表现不同，氮肥施用量对坚果粗脂肪含量效应不显著，当磷肥施用量小于 P₂O₅ 0.484 kg · 株⁻¹ 和钾肥施用量小于 K₂O 0.198 kg · 株⁻¹ 时，对坚果粗脂肪含量的影响均存在正效应，反之则存在负效应。成艳霞等^[28]研究表明，随氮肥、钾肥用量的增加，10 年生‘香玲’核桃仁中蛋白质含量均呈递增趋势，不同含量氮、磷、钾配方的施肥方案，对核桃果仁中总脂肪含量的影响差异较大，不施氮肥处理的桃果果仁脂肪含量显著降低。

分析前人的研究结果可知，肥料施用对核桃果

仁品质的影响存在差异,果仁蛋白质和脂肪含量对施肥反应的差异性或者不确定性与核桃品种的遗传特性及土壤基础肥力水平等因素有关。本试验中等土壤肥力水平条件下,氮肥用量对6年生‘香玲’核桃果仁蛋白质含量的影响不显著,对粗脂肪含量影响达极显著水平,且二者的相关性符合直线加平台的数学模型,获得最大粗脂肪含量的最佳氮肥用量为 $N\ 0.68\ \text{kg} \cdot \text{株}^{-1}$;磷肥用量对果仁蛋白质和粗脂肪含量的影响均不显著;钾肥用量对蛋白质和粗脂肪含量的影响均达显著水平,其数学关系分别符合一元二次函数方程和直线加平台模型,获得最大蛋白质含量和最大粗脂肪含量的最佳钾肥用量分别为 $K_2O\ 0.40$ 和 $1.24\ \text{kg} \cdot \text{株}^{-1}$,而过量施用钾肥果仁蛋白质含量则会降低。

3.3 核桃果实品质的综合评价与施肥推荐

植物产品品质是多指标的综合反映。在进行果实产品品质评价时,可以根据人们对果实品质的要求进行单一指标的评价,也可采用模糊识别法^[29]、主成分分析与综合评价法^[15]、隶属函数法和加权平均法^[30-31]等进行综合评价。本研究采用隶属函数法计算果仁蛋白质和粗脂肪含量的平均隶属函数值,根据平均隶属函数值的大小进行核桃品质的综合评价,同时,平均隶属函数值最大处理的肥料用量也可用于施肥推荐。以钾肥试验为例,根据钾肥用量与果仁蛋白质含量和粗脂肪含量的相关性分析及核桃果仁品质的综合评价结果,最大蛋白质含量的钾肥用量为 $K_2O\ 0.40\ \text{kg} \cdot \text{株}^{-1}$,最大粗脂肪含量的钾肥用量为 $K_2O\ 1.24\ \text{kg} \cdot \text{株}^{-1}$,对不同钾肥用量各处理果仁的蛋白质和粗脂肪含量的综合评价结果表明,钾肥用量为 $K_2O\ 0.60\ \text{kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 时,平均隶属函数值最大,核桃果仁的综合品质最好。因此,生产中应根据生产目标进行合理施肥量的推荐。

4 结论

施肥是决定核桃品质的重要因素之一,不同肥料施用对核桃各品质指标的影响存在差异。本试验条件下,核桃果仁的蛋白质含量对氮肥和磷肥的施用反应不敏感,但随钾肥用量的增加呈先升后降的变化趋势,大量施用钾肥果仁蛋白质含量会有所降低;适量施用氮肥和钾肥可获得较高的果仁粗脂肪含量,磷肥施用对粗脂肪含量影响不显著。由此可见,生产中应根据当地土壤肥力状况和人们对果实

品质的要求,抓住影响核桃各品质指标的主要矛盾进行施肥推荐,才有助于核桃产业实现优质绿色生产。

参考文献:

- [1] 毛晓英,朱新荣,万银松,等. 核桃蛋白的组成分析及分离提取工艺的优化[J]. 中国食品学报, 2019, 19(3): 195-205.
- [2] 周红,张萍. 新疆野核桃坚果氨基酸含量及营养评价[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(2): 148-153.
- [3] 耿树香,宁德鲁,李勇杰,等. 不同品种核桃仁中钙、铁、锌微量元素的检测分析[J]. 西部林业科学, 2019, 48(3): 28-33.
- [4] 汪卫祥. 四川核桃生产现状及产业化发展建议[J]. 中国园艺文摘, 2015(4): 60-62.
- [5] Cittadini M C, Martín D, Gallo S, et al. Evaluation of hazelnut and walnut oil chemical traits from conventional cultivars and native genetic resources in a non-traditional crop environment from Argentina[J]. European Food Research and Technology, 2020, 246: 833-843.
- [6] 李照,孙磊,高飞,等. 核桃仁营养成分及活性研究进展[J]. 药物生物技术, 2016, 23(5): 467-470.
- [7] Sze-tao K W C, Sathe S K. Walnuts (*Juglans regia* L.): proximate composition, protein solubility, protein amino acid composition and protein in vitro digestibility[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2000, 80(9): 1393-1401.
- [8] 郭晓红,姜红芳,王鹤璎,等. 氮肥运筹对寒地水稻籽粒植酸、蛋白质和矿质元素的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(7): 1534-1542.
- [9] Ma Z S, Jia Y Y, Wang Y H, et al. Review on effects of nitrogen on the internal quality of peach fruit[J]. Agricultural Biotechnology, 2020, 9(1): 80-84, 100.
- [10] Ejaz S, Batool S, Anjum M A, et al. Effects of inoculation of root-associated Azospirillum and Agrobacterium strains on growth, yield and quality of pea (*Pisum sativum* L.) grown under different nitrogen and phosphorus regimes[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 270: 109401.
- [11] 席瑞卿,赵晓进,张考学,等. 不同施肥水平对苹果产量、品质及养分平衡的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(2): 141-145.
- [12] 柴仲平,王雪梅,孙霞,等. 不同氮磷钾配比滴灌对灰枣产量与品质的影响[J]. 果树学报, 2011, 28(2): 229-233.
- [13] 陈丽楠,刘秀春,王炳华. 优化配方施肥对葡萄产量及品质的影响[J]. 中国果树, 2014(2): 33-36.
- [14] 秦江南,郭永翠,王博,等. 氮肥与甲哌·耦合对主干形核桃品质及土壤氮素的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(24): 108-113.
- [15] 耿树香,宁德鲁,陈海云,等. 我国不同主产区核桃品质综合评价分析[J]. 中国油脂, 2020, 45(4): 97-101.

- [16] Tapia M I, Sánchez-morgado J R, García-parra J, et al. Comparative study of the nutritional and bioactive compounds content of four walnut (*Juglans regia* L.) cultivars [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2013, 31 (2): 232–237.
- [17] 郭传友, 黄坚钦, 王正加, 等. 大别山核桃果实品质与土壤性质的相关分析 [J]. 经济林研究, 2006, 24 (4): 19–22.
- [18] 苗庆选, 郭满, 马海林, 等. 不同生态区核桃林地肥水管理及土壤肥力差异研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2021 (1): 296–302.
- [19] 宋岩, 王小红, 张锐, 等. 新疆核桃品种间品质差异比较 [J]. 中国粮油学报, 2019, 34 (8): 91–97.
- [20] 周红, 张萍, 李彦荣. 新疆野核桃坚果营养成分测定及分析 [J]. 果树学报, 2019, 36 (5): 621–628.
- [21] 王益明, 卢艺, 张慧, 等. 指数施肥对美国山核桃幼苗生长及叶片养分含量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2018 (6): 136–140.
- [22] 李鸣, 王力, 胡刁, 等. 核桃生长、产量及叶片养分对配施有机肥的响应 [J]. 果树学报, 2015, 32 (5): 923–928.
- [23] 朱超. 不同氮肥对早实核桃 (*Juglans regia* L.) 叶片部分特征和果实品质影响的研究 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2012.
- [24] 张海燕, 汪海, 任志勇, 等. 核桃配方专用肥对核桃树产量及坚果品质的影响 [J]. 经济林研究, 2020, 38 (3): 127–135.
- [25] 刘杜玲, 张博勇, 彭少兵, 等. 氮磷钾配方施肥对核桃产量和品质指标的影响 [J]. 西北林学院学报, 2018, 33 (6): 113–117.
- [26] 梁智, 邹耀湘, 张计峰. 新疆南疆核桃树氮磷钾肥料效应试验研究 [J]. 新疆农业科学, 2010, 47 (5): 958–963.
- [27] 胡渊, 潘存德, 陈虹. 根施氮磷钾肥对“新温 185 号”核桃坚果粗脂肪含量的影响 [J]. 北方园艺, 2015 (12): 152–155.
- [28] 成艳霞, 戴建昊, 刘杜玲, 等. 配方施肥对核桃果实性状和营养成分的影响 [J]. 北方园艺, 2018 (15): 123–128.
- [29] 李俊南, 苏连波, 赵阡池, 等. 云南漾濞娘青核桃果仁的营养评价 [J]. 中国食物与营养, 2019, 25 (4): 55–58.
- [30] 尚杨娟, 谭鹏鹏, 范平桦, 等. 薄壳山核桃叶面喷锌效果的评价 [J]. 浙江农林大学学报, 2020, 37 (6): 48–56.
- [31] 马明, 杨克强, 孙彩玲, 等. 清水地区核桃品种 (系) 引种表现评价 [J]. 经济林研究, 2006 (3): 21–24.

Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer application on protein and crude fat content of walnut

LIU Chun-xiao¹, MIAO Qing-xuan¹, HUAI Ting-ting¹, REN Ai-zhi¹, GUO Man¹, MA Hai-lin², LI Hai-yun¹, SI Dong-xia^{1*} (1. College of Agricultural Sciences, Liaocheng University, Liaocheng Shandong 252059; 2. Shandong Academy of Forest, Jinan Shandong 250014)

Abstract: Blind fertilization and poor quality are common problems in walnut production. In order to clarify the effects of different fertilizer application on the quality of walnut and determine the appropriate amount of fertilizer to achieve high-quality walnut production, 6-year-old ‘Xiangling’ was used as the test plant, the effects of nitrogen (N 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.25 kg · plant⁻¹), phosphorus (P₂O₅ 0, 0.10, 0.20, 0.40, 0.80 kg · plant⁻¹) and potassium (K₂O 0, 0.15, 0.30, 0.60, 1.20 kg · plant⁻¹) on two main quality indexes of walnut kernel, the protein and crude fat content, were studied under five fertilization levels. The results showed that nitrogen fertilizer and phosphorus fertilizer had no significant effects on the protein content of walnut kernel. The application of potassium fertilizer significantly affected the protein content of walnut kernel. With the increase of potassium fertilizer application rate, the protein content of walnut kernel increased first and then decreased, and the mathematical relationship conformed to the quadratic function equation $y = -5.2872x^2 + 4.2009x + 19.27$ (0.001 < P < 0.01). The function equation calculation showed that the maximum protein content of walnut kernel was 20.1%, and the corresponding potassium application was K₂O 0.40 kg · plant⁻¹. The application of nitrogen fertilizer and potassium fertilizer had a significant effect on the crude fat content of walnut kernel. The mathematical relationship between the amount of nitrogen fertilizer, potassium fertilizer and the crude fat content of walnut kernel conformed to the linear plus platform mathematical model (P < 0.001; 0.001 < P < 0.01). According to the simulation results, when the amount of nitrogen fertilizer and potassium fertilizer were N 0.68 kg · plant⁻¹ and K₂O 1.24 kg · plant⁻¹, the crude fat content of the walnut kernel reached the highest value, which was 61.1% and 65.1% respectively. The effect of phosphate fertilizer application on crude fat content in walnut kernels was not significant. According to the protein and crude fat content of walnut kernel under different fertilization treatments, the membership function method was used to comprehensively evaluate walnut quality in this study. When nitrogen fertilizer, phosphate fertilizer and potassium fertilizer application rate were at N 1.25 kg · plant⁻¹, P₂O₅ 0.20 kg · plant⁻¹ and K₂O 0.60 kg · plant⁻¹ respectively, the average membership function values were the largest, and the comprehensive quality of walnut kernels were the best. In summary, nitrogen, phosphate and potassium fertilizer applications had different effects on single quality index and the comprehensive quality of walnut kernels, so a reasonable amount of fertilizer should be recommended according to the production target.

Key words: walnut; nitrogen fertilizer; phosphate fertilizer; potassium fertilizer; protein; crude fat