

响应面法优化核桃雄花穗护绿工艺研究

李丽红,梁瑞锋,王向东

(山西师范大学 体育学院,山西 临汾 041004)

摘 要:以核桃雄花穗为原料,研究各单因素 $Zn(CH_3COO)_2$ 浓度、Vc 浓度、pH 值、 Na_2SO_3 浓度、烫漂温度、烫漂时间对核桃雄花穗护绿效果的影响,在单因素的基础上再通过响应面法试验,确定核桃雄花穗护绿的最佳工艺配方.试验结果表明,各单因素影响核桃雄花穗护绿的程度由大到小的顺序依次为 $Zn(CH_3COO)_2$ 浓度、Vc 浓度、pH 值、 Na_2SO_3 浓度;通过响应面法试验确定了核桃雄花穗护绿的最佳工艺配方为 $Zn(CH_3COO)_2$ 浓度 254 mg/kg、Vc 浓度 0.048%、 Na_2SO_3 浓度 0.498%、pH 值 8.91、烫漂温度为 100 °C、烫漂时间 20 s.

关键词:核桃雄花穗;响应面;护绿工艺

中图分类号:TS201.1

文献标志码:A

核桃(*Juglandis*)在我国分布广、品种多、资源丰富^[1].核桃雄花穗具有营养成分丰富、均衡和完全等优点,其中蛋白质含量高达 26.59%,还原性糖含量为 5.70%,蔗糖、粗脂肪的含量分别为 1.68%、5.45%^[2],是一种较好的天然营养保健食品资源.经加工的核桃雄花穗食用口感柔嫩、味纯、别有风味^[3].但核桃花穗的时节特性较强,从树木脱落后色泽很快变黑不易储存.本试验通过对烫漂温度、烫漂时间、pH 和多种护绿因素对核桃雄花穗护绿效果的筛选及响应面分析法优化护绿条件,以期确定核桃雄花穗护绿的最佳工艺条件.

1 材料和方法

1.1 材料和试剂

核桃雄花穗于 2013 年 4 月采自临汾市席村实验田,每 10 d 采集一次,共采集 3 次,采集后放置于实验室-4 °C 冷藏备用; Na_2SO_3 分析纯-西陇化工股份有限公司; Na_2CO_3 分析纯-天津市风船化学试剂科技有限公司;食品级柠檬酸-天津市风船化学试剂科技有限公司;食品级 Vc-天津市科密欧化学试剂有限公司; $Zn(CH_3COO)_2$ 分析纯-天津市科密欧化学试剂有限公司.

1.2 主要仪器和设备

DZKW-D-4 电热恒温不锈钢水浴锅,北京市光明医疗仪器厂;FA1004 电子天平,上海精科天平;秒表,上海追日电子科技有限公司;WSC-S 测色色差计,上海精密科学仪器有限公司.

1.3 试验方法

1.3.1 单因素试验 从备用样品中随机抽取 20 g 核桃雄花穗,设定不同烫漂温度、不同烫漂时间、 $Zn(CH_3COO)_2$ 不同浓度、 Na_2SO_3 不同浓度、Vc 不同浓度(0.025、0.05、0.075、0.1、0.125、0.15%)、pH 值(5、6、7、8、9、10),分别研究各因素对核桃雄花穗护绿效果的影响.每个因素含 3 个样本,每个因素重复实验 3 次.

利用 WSC-S 测色色差计测定核桃雄花穗的色泽(L, a, b),其中 L 表示物质颜色亮度, a 值表示物质的红绿偏向, b 表示物质的黄绿偏向,正值越大越偏向红色,而负值越大则越偏向绿色.因此, $-a$ 值的大小可以用来判断绿色保持效果的指标, $-a$ 值越大,则护绿效果越好^[4].

1.3.2 响应面法试验 在单因素实验基础上,固定烫漂温度和烫漂时间,选取四因素三水平响应面设计因素

收稿日期:2014-09-20

基金项目:山西师范大学 2012 年科技开发重点课题(872012)

作者简介:李丽红(1989-),女,山西临汾人,山西师范大学硕士研究生,主要从事运动食品与营养研究, E-mail: 15303571065@163.com.

水平表进行响应面实验,分别以各因素为自变量,以 $-a$ 为响应指标.使用 Design Expert 7.1.3 软件进行 Box-Behnken 设计优化实验,并进行回归模型方差分析确定获取最佳优化组合及最佳工艺参数.

2 结果与分析

2.1 核桃雄花穗护绿的单因素试验

2.1.1 烫漂温度对核桃雄花穗护绿效果的影响 控制烫漂时间 10 s、 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 不同浓度 $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、Vc 不同浓度 0.025%、pH 值 5、 Na_2SO_3 不同浓度 0.2%,研究烫漂温度对核桃雄花穗护绿效果的影响,烫漂温度对核桃雄花穗护绿效果的影响结果见图 1.

由图 1 可以看出,随着温度的升高护绿效果也随之增强.分析其原因可能是因为当温度过低时不能有效的破坏酶的活性而达到更好的护绿.经烫漂后,核桃花穗表面绿色增强,叶绿素被分离出来,游离在核桃花穗中,呈现鲜亮的绿色^[5].当温度超过 95 °C 时,护绿效果明显增强.在生活中 100 °C 是较容易达到的温度,而温度超过 100 °C 对实验设备会有更高的要求,故确定烫漂温度 100 °C 为最佳烫漂温度.

2.1.2 烫漂时间对核桃雄花穗护绿效果的影响 控制烫漂温度 100 °C、 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 不同浓度 $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、Vc 不同浓度 0.025%、pH 值 5、 Na_2SO_3 不同浓度 0.2%,研究烫漂时间对核桃雄花穗护绿效果的影响,烫漂时间对核桃雄花穗护绿效果的影响结果见图 2.

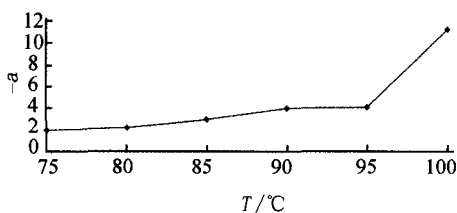


图 1 烫漂温度对护绿效果的影响

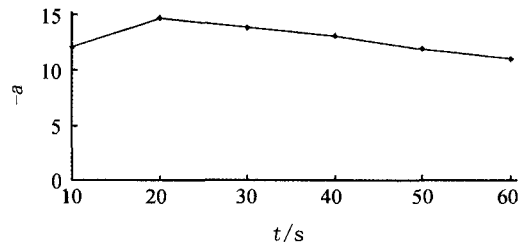


图 2 烫漂时间对护绿效果的影响

由图 2 可以看出,在烫漂时间达到 20 s 之前,护绿效果随着时间的增长而变大,当时间超过 20 s 时,烫漂效果呈下降趋势.分析其原因可能是因为当时间超过 20 s 时,烫漂时间过长使核桃花穗中 H^+ 被释放出来,导致叶绿素转化为脱镁叶绿素使花穗变黄^[6].时间延长,核桃花穗质构逐渐变软^[7].当时间低于 20 s 时则因时间过短,叶绿素的相关酶还没有完全失活而不能达到有效的护绿效果,故确定烫漂时间 20 s 为最佳烫漂时间.

2.1.3 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 浓度对核桃雄花穗护绿效果的影响 控制烫漂温度 100 °C、烫漂时间 20 s、Vc 不同浓度 0.025%、pH 值 5、 Na_2SO_3 不同浓度 0.2%,研究 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 不同浓度对核桃雄花穗护绿效果的影响, $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 浓度对核桃雄花穗护绿效果的影响结果见图 3.

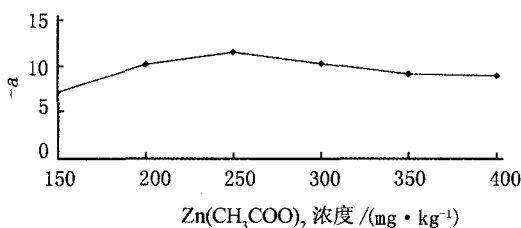


图 3 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 浓度对护绿效果的影响

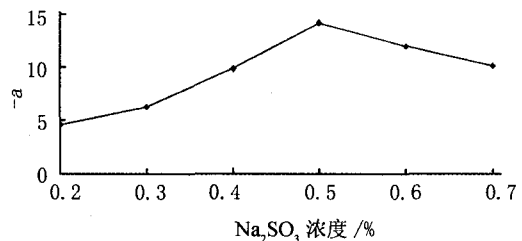


图 4 Na_2SO_3 浓度对护绿效果的影响

由图 3 可以看出,在 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 不同浓度达到 $250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之前,护绿效果随着不同浓度的增大而变大,当不同浓度超过 $250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,烫漂效果呈下降趋势.分析其原因可能是因为 Zn^{2+} 替换叶绿素中 Mg^{2+} 而形成稳定的叶绿素 Zn 配位化合物,使绿色得到保护,在 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 不同浓度达到 $250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之前, Mg^{2+} 没有完全被置换出而达不到最佳护绿效果^[8].则得出 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 不同浓度为 $250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

kg^{-1} 时对核桃雄花穗的护绿效果最好。

2.1.4 Na_2SO_3 浓度对核桃雄花穗护绿效果的影响 控制烫漂温度 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 、烫漂时间 20 s 、 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 不同浓度 $250\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 Vc 不同浓度 0.025% 、 pH 值 5 ，研究 Na_2SO_3 不同浓度对核桃雄花穗护绿效果的影响， Na_2SO_3 不同浓度对核桃雄花穗护绿效果的影响结果见图 4。

由图 4 可以看出，在 Na_2SO_3 不同浓度达到 0.5% 之前，护绿效果随着浓度的增长而变大，当浓度超过 0.5% 时，烫漂效果呈下降趋势。分析其原因可能是因为 Na_2SO_3 加热后释放出有较强还原性的 SO_2 使核桃花穗中的氧含量下降而不易氧化，可以抑制多酚氧化酶的活性从而抑制褐变。当浓度到达 0.5% 之前，浓度较小，对多酚氧化酶的抑制不完全。当浓度超过 0.5% 时，会因 SO_2 的残留量较高而影响核桃雄花穗的绿色而使颜色失真^[9]。则得出 Na_2SO_3 浓度为 0.5% 时对核桃雄花穗的护绿效果最好。

2.1.5 Vc 浓度对核桃雄花穗护绿效果的影响 控制烫漂温度 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 、烫漂时间 20 s 、 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 浓度 $250\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 Na_2SO_3 浓度 0.5% 、 pH 值 5 ，研究 Vc 浓度对核桃雄花穗护绿效果的影响， Vc 浓度对核桃雄花穗护绿效果的影响结果见图 5。

由图 5 可以看出，在 Vc 浓度达到 0.05% 之前，护绿效果随着浓度的增长而变大，当浓度超过 0.05% 时，烫漂效果呈明显下降趋势。分析其原因可能是因为 Vc 是良好的抗氧化剂，能有效的防止对酚的氧化。但当 Vc 被氧化后可与氨基酸发生美拉德反应变色^[10]，所以 Vc 的添加量要适当。故确定 Vc 浓度为 0.05% 时对核桃雄花穗的护绿效果最佳。

2.1.6 pH 值对核桃雄花穗护绿效果的影响 控制烫漂温度 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 、烫漂时间 20 s 、 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 浓度 $250\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 Na_2SO_3 浓度 0.5% 、 Vc 浓度 0.05% ，研究 pH 值对核桃雄花穗护绿效果的影响， pH 值对核桃雄花穗护绿效果的影响结果见图 6。

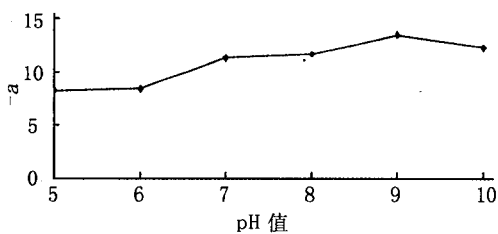


图 5 Vc 浓度对护绿效果的影响

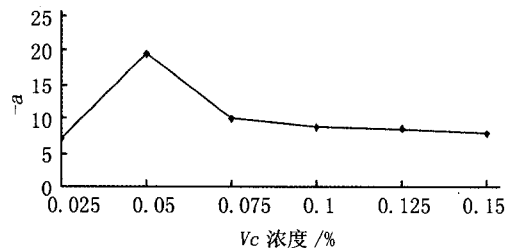


图 6 pH 值对护绿效果的影响

由图 6 可以看出，在烫漂液 pH 值达到 9 之前，护绿效果随着 pH 的变大而增长，当 pH 超过 9 时，烫漂护绿效果呈明显下降趋势。分析其原因可能是因为核桃雄花穗在碱性溶液中有利于皂化生成叶绿素盐，但碱性过强会使盐沉淀，使有效浓度减小^[11]。故确定烫漂液 pH 为 9 时对核桃雄花穗的护绿效果最佳。

2.2 核桃雄花穗护绿的响应面(RSM)因素试验

2.2.1 响应面分析因素水平的选取 通过单因素实验，确定了各个因素对护绿效果影响的最佳范围。在此基础上根据 Box-Behnken 的中心组合设计原理^[12]，以 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、 Na_2SO_3 (%)、 pH 和 Vc (%)为自变量，以护绿效果 $-a$ 为响应指标，使用 Design Expert 7.1.3 软件进行 Box-Behnken 设计优化实验。因素编码及水平见表 1。

表 1 因素编码及水平表

编码	编码水平		
	-1	0	1
A $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	200	250	300
B Na_2SO_3 / %	0.4	0.5	0.6
C pH 值	8	9	10
D Vc / %	0.03	0.05	0.07

2.2.2 实验结果及模型方程的建立 实验设计及结果见表 2。对表 2 进行多元回归拟合，得到护绿效果与各研究变量的二次方程模型

$$Y=20.82+0.53A-0.26B+0.28C-0.30D-0.15AB+0.11AC-0.7AD+1.30BC-0.38BD-0.77CD-3.92A^2-3.92B^2-1.98C^2-2.1D^2.$$

表2 响应面分析实验结果表

实验号	A	B	C	D	护绿效果	
					实验值	预测值
1	-1	-1	0	0	14.56	13.24
2	1	-1	0	0	14.56	14.61
3	-1	1	0	0	13.25	13.02
4	1	1	0	0	12.65	13.79
5	0	0	-1	-1	16.50	15.99
6	0	0	1	-1	18.86	18.09
7	0	0	-1	1	16.32	16.91
8	0	0	1	1	15.62	15.95
9	-1	0	0	-1	14.32	13.86
10	1	0	0	-1	15.68	16.33
11	-1	0	-1	0	13.45	14.22
12	-1	0	0	1	15.39	14.66
13	0	-1	-1	0	15.53	16.87
14	0	1	-1	0	14.25	13.77
15	0	-1	1	0	14.45	14.85
16	0	1	1	0	18.35	16.92
17	1	0	0	1	13.95	14.32
18	1	0	-1	0	16.76	15.05
19	-1	0	1	0	12.58	14.55
20	1	0	1	0	16.35	15.85
21	0	-1	0	-1	15.48	15.66
22	0	1	0	-1	15.00	15.91
23	0	-1	0	1	16.47	15.82
24	0	1	0	1	14.45	14.53
25	0	0	0	0	21.00	20.82
26	0	0	0	0	20.66	20.82
27	0	0	0	0	20.35	20.82
28	0	0	0	0	21.04	20.82
29	0	0	0	0	21.22	20.82

2.2.3 实验结果方差分析 对该模型进行方差分析结果见表3.

表3 回归模型的方差分析表

来源	平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	169.47	14	12.10	8	0.000 1	显著
A	3.41	1	3.41	2.48	0.137 6	不显著
B	0.80	1	0.80	0.58	0.458 2	不显著
C	0.96	1	0.96	0.70	0.416 8	不显著
D	1.10	1	1.10	0.80	0.385 5	不显著
AB	0.090	1	0.090	0.065	0.801 9	不显著
AC	0.053	1	0.053	0.038	0.847 4	不显著
AD	1.96	1	1.96	1.42	0.252 5	不显著
BC	6.71	1	6.71	4.87	0.044 4	显著
BD	0.59	1	0.59	0.43	0.522 2	不显著
CD	2.34	1	2.34	1.70	0.213 2	不显著
A ²	99.71	1	99.71	72.45	<0.000 1	极显著
B ²	67.81	1	67.81	49.27	<0.000 1	极显著
CV ²	25.45	1	25.45	18.49	0.000 7	显著
D ²	28.69	1	28.69	20.85	0.000 4	显著
残差	19.27	14	1.38	—	—	—
失拟项	18.89	10	1.89	20.11	0.005 4	显著
纯误差	0.38	4	0.094	—	—	—
总差	188.73	28	—	—	—	—

$R^2=0.897 9 R_{adj}^2=0.795 8$

由表3可见,该二次方程模型达到显著水平,且 $R^2=0.897 9$ 和 $R_{adj}^2=0.795 8$,说明该回归方程能够显著性的表示本次实验中各因素对核桃雄花穗护绿效果的影响.此外由回归模型系数显著性结果检验可见,模型一次项A,B,C,D均不显著;二次项A²与B²极显著,C²与D²显著,交互项AB,AC,AD,BD与CD不显著,BC项显著.

2.2.4 响应面分析及条件优化 由回归方程绘制的各因素间交互作用见图7、图8、图9、图10、图11、

图 12.

图 7 表明, Na_2SO_3 浓度不变, 随着 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 浓度的增大, 护绿效果先增大后减小. $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 浓度不变时, 随着 Na_2SO_3 浓度的增大, 护绿效果先增大后减小.

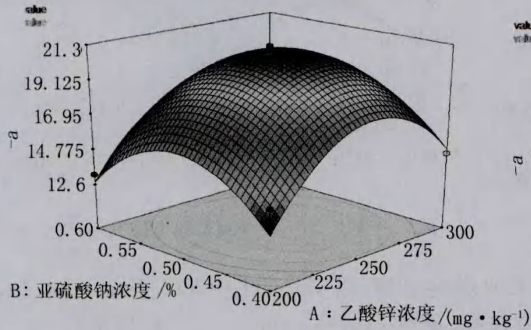
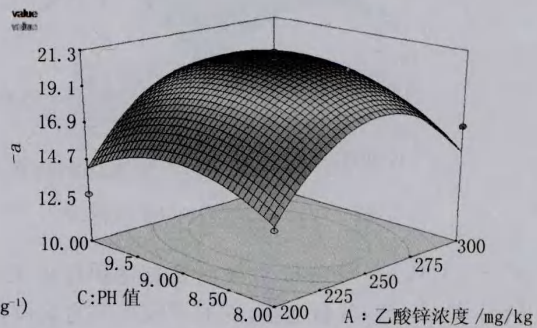
图 7 Na_2SO_3 , $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 对护绿效果的影响图 8 pH 值, $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 对护绿效果的影响

图 8 表明, pH 值不变, 随着 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 浓度的增大, 护绿效果先增大后减小. $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 浓度不变时, 随着 pH 值的增大, 护绿效果先增大后减小.

图 9 表明, V_c 浓度不变, 随着 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 浓度的增大, 护绿效果先增大后减小. $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 浓度不变时, 随着 V_c 浓度的增大, 护绿效果先增大后减小.

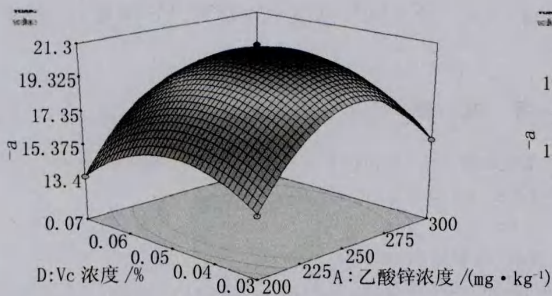
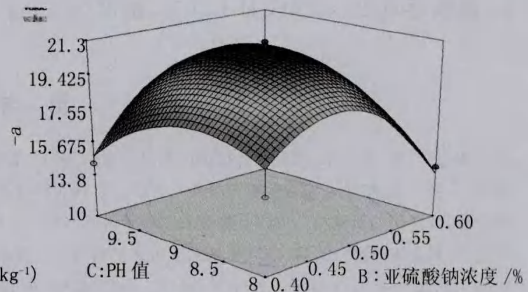
图 9 V_c , $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 对 c 护绿效果的影响图 10 pH 值, Na_2SO_3 对护绿效果的影响

图 10 表明, pH 值不变, 随着 Na_2SO_3 浓度的增大, 护绿效果先增大后减小. Na_2SO_3 浓度不变时, 随着 pH 值的增大, 护绿效果先增大后减小.

图 11 表明, V_c 浓度不变, 随着 Na_2SO_3 浓度的增大, 护绿效果先增大后减小. Na_2SO_3 浓度不变时, 随着 V_c 浓度的增大, 护绿效果先增大后减小.

图 12 表明, V_c 浓度不变, 随着 pH 值的增大, 护绿效果先增大后减小. pH 值不变时, 随着 V_c 浓度的增大, 护绿效果先增大后减小.

在烫漂温度为 $100\text{ }^\circ\text{C}$, 时间 20 s 的条件下, 回归模型预测的最佳工艺条件为: $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 浓度为 $254\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, Na_2SO_3 浓度为 0.498% , pH 值为 8.91 , V_c 浓度为 0.048% .

2.2.5 模型验证 采用上述最佳工艺条件进行核桃雄花穗的护绿实验, 实际工艺为烫漂温度 $100\text{ }^\circ\text{C}$, 时间 20 s , $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 浓度为 $250\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, Na_2SO_3 浓度为 0.5% , pH 值为 9 , V_c 浓度为 0.03% . 干燥后用 WSC-S 测色色差计检测色泽, 测得 $-a$ 为 20.84 , 与预测值 20.8687 相符良好, 验证了响应面拟合所得方程的可行性.

3 结论

本论文通过单因素实验, 分别研究了烫漂温度 ($^\circ\text{C}$)、烫漂时间 (min)、 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、

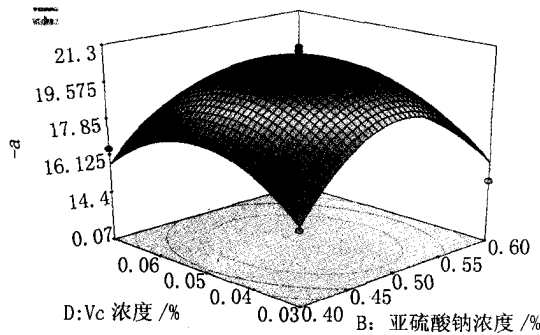
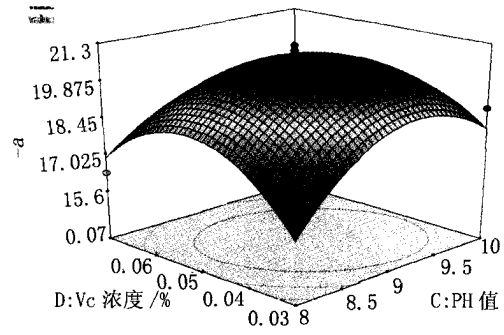
图 11 Vc, Na₂SO₃ 对护绿效果的影响

图 12 Vc, pH 值对护绿效果的影响

Na₂SO₃(%)、Vc(%)和 pH 对核桃雄花穗护绿效果的影响规律;以 Zn(CH₃COO)₂(mg·kg⁻¹)、Na₂SO₃(%)、pH 和 Vc(%)为自变量,以护绿效果-a 为响应指标,使用 Design expert7.1.3 软件进行 Box-Behnken 设计优化实验,确定护绿效果与各研究变量的二次方程模型:

$Y = 20.82 + 0.53A - 0.26B + 0.28C - 0.30D - 0.15AB + 0.11AC - 0.7AD + 1.30BC - 0.38BD - 0.77CD - 3.92A^2 - 3.92B^2 - 1.98C^2 - 2.1D^2$;方差分析结果表明,该二次方程模型达到显著水平,且 $R^2 = 0.8979$ 和 $R_{adj}^2 = 0.7958$,说明该回归方程能够显著性的表示本次实验中各因素对核桃雄花穗护绿的影响.此外由回归模型系数显著性结果检验可见,模型一次项 A 与 C 显著,B 与 D 不显著;二次项 A² 与 B² 极显著,C² 与 D² 显著,交互项 AB,AC,AD,BD 与 CD 不显著,BC 项显著.确定最佳工艺条件为:烫漂温度 100℃、烫漂时间 20 s、Zn(CH₃COO)₂ 浓度 254 mg·kg⁻¹、Na₂SO₃ 浓度 0.498%、Vc 浓度 0.048%、pH 值 8.91.

参 考 文 献

- [1] 张敏,王勇,姜元荣.核桃及核桃油的综合开发利用[J].农业机械,2010(2):69-71.
- [2] 俞秀玲,张杰.核桃花粉营养成分分析与评价[J].林业科技开发,2007,21(3):45-47.
- [3] 许治钰.可食用的核桃雄花序[J].陕西农业科学,1995(5):30-32.
- [4] 李安平,郑士宏,曹清明,等.粽叶护绿加工工艺的研究[J].食品工业科技,2006,27(2):115-117.
- [5] Song J Y. Color, texture, nutrient contents, and sensory values of vegetable soybeans [*Glycine max* (L) Merrill] as affected by blanching [J]. Food Chemistry, 2003,83(4):69-74.
- [6] 俞秀玲,吴向东,任丽,等.烫漂对核桃雄花序色泽的影响[J].河南林业科技,2005,25(12).
- [7] 叶宏宇,许学勤,舒枝.软包装水芹菜护绿保鲜工艺研究[J].食品与机械,2013,29(2):163-166.
- [8] 张学杰.绿色蔬菜在贮存加工过程中绿色损失机制、途径及其控制[J].食品工业科技,1995(5):19-21.
- [9] 陈水红,曹致中.紫花苜蓿色素提取中护绿方法研究[J].甘肃农业大学学报,2005,40(3):348-352.
- [10] 王璋.食品化学[M].北京:中国轻工业出版社,1998.
- [11] 周运华,张愨.浦菜热处理护色工艺研究[D].无锡:江南大学,2004.
- [12] Gontard N, Guilbert S, Cuq J L. Edible wheat gluten films; influence of the main process variables on film properties using response surface methodology[J]. Journal of Food Science, 1992,57:190-196.

Optimization of Preserving Green Technique of Walnut Male Tassel by Response Surface Methodology

LI Lihong, LIANG Ruifeng, WANG Xiangdong

(Sports Institute, Shanxi Normal University, Linfen 041004, China)

Abstract: This experiment take the walnut tassel as raw materials, determined the optimal formula tassel green color of walnut by single factor test. The single factors were Zn(CH₃COO)₂ concentration, Vc concentration, pH, Na₂SO₃ concentration, blanching temperature and blanching time. The results showed that the degree of influence of each factor

descending order were $Zn(CH_3COO)_2$ concentration, Vc concentration, pH, Na_2SO_3 concentration; The optimal formula for preserving green were $Zn(CH_3COO)_2$ concentration of $254 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Vc concentration of 0.048%, Na_2SO_3 concentration of 0.498%, pH value of 8.91, blanching temperature of $100 \text{ }^\circ\text{C}$, blanching time of 20 s.

Keywords: walnut tassel; response surface; preserving green

(上接第 126 页)

Sex Determination of Logistic Regression from the Metatarsal Measurements in *Macaac Mulatta*

HU Haiyang^a, WANG Fengchan^b, HU Fengxia^c, TIAN Huaxiang^c,
MAO Xiaojing^c, ZHAO Zhe^a, ZHAO Xiaojin^c

(a. College of Life Science; b. Editorial Department; c. College of Fisheries, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: Because of the dichotomous nature of the sex type, logistic regression was used to be able to predict sex based on values of predictor variables of the metatarsals and ROC analysis was used to assess sexing performance at different variables, different sides of the feet and for each of the five metatarsals. The samples selected for this study consist of 45 adult skeletons of *Macaac mulatta* (31 females, 14 males) from the Taihang Mountains. Seven variables were recorded on each bone of five metatarsals. Data were analyzed using SPSS 20.0 version. For the models, the best variable for the metatarsals was LG followed by HH, HW, BH and BW. A logistic regression model was formed to estimate sex, ranging from 84.4%–95.6% for the pooled individuals being correctly classified. There were very small bilateral differences by using ROC analysis, and the AUC values were similar between the two sides, with 0.922 and 0.956 for left and right bones, respectively. For five metatarsals of both feet, the percentage of correct classification was higher for MT3, MT4 and MT5 (88.9%–95.6%) and lower MT1 and MT2 (84.4%–86.7%). In general, results from this study suggest that the measurements of metatarsals appear to be good discriminators of sex. The lengths of metatarsals are largely genetically determined; and the measures of robusticity of feet are largely subject to environmental modification. These findings suggest that the pattern of the sex differences for metatarsals may well reflect the interplay from both genetic, environmental and behavioral factors.

Keywords: *Macaca mulatta*; metatarsal; sex dimorphism; logistic regression; ROC analysis