

玉米 - 大豆带状套作对大豆蛋白特性的影响

蔡 凌, 刘卫国*, 李 奇, 吴雨珊, 方 萍, 刘春燕, 杨文钰*

(四川农业大学生态农业研究所/农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 四川 成都, 611130)

摘要: 设置 2 种植方式, 以 13 个不同基因型大豆为材料, 采用两因素裂区设计, 研究玉米 - 大豆带状套作种植对大豆品质的影响。结果表明: 净作模式下, 参试的大豆材料蛋白质含量、脂氧合酶、蛋白亚基含量及总氨基酸含量及含硫氨基酸在各材料间差异显著; 套作对不同材料各蛋白特性的影响不一致, 其中 11 个材料蛋白质百分含量在栽培模式间无显著差异; 4 个材料脂氧合酶相对百分含量在套作模式下显著降低; 不同大豆材料同种蛋白亚基以及同一个大豆材料不同蛋白亚基的变化规律不一致; 3 个材料含硫氨基酸显著增加, 5 个材料蛋氨酸含量显著增加, 组氨酸、精氨酸变化系数高。根据粗蛋白、脂氧合酶、蛋白亚基和氨基酸含量受套作的影响程度, 分别对供试大豆材料进行聚类分析, 结果表明: 蒙庆 6 号、菜豆在套作模式下蛋白含量差异不显著, 11S 相对百分含量增加, 脂氧合酶相对百分含量降低, 总氨基酸、含硫氨基酸含量增加。说明通过套作种植模式配合选择特定大豆品种, 可保证大豆蛋白营养组份、提高豆制品风味及口感, 同时延长保存时间, 满足人们对豆制品的多元化需求。

关键词: 套作; 大豆; 蛋白亚基; 氨基酸; 聚类分析

中图分类号: S565.101 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9084(2016)03-0328-08

Effect of maize - soybean relay strip intercropping on protein characteristics of soybean

CAI Ling, LIU Wei-guo*, LI Qi, WU Yu-shan, FANG Ping, LIU Chun-yan, YANG Wen-yu*

(*Institute of Ecological Agriculture, Sichuan Agricultural University, Key Laboratory of Crop*

Ecophysiology and Farming System in Southwest China, Ministry of Agriculture, Chengdu 611130, China)

Abstract: Thirteen soybean cultivars were used to evaluate the impact of maize - soybean relay strip intercropping on seed protein quality. Results showed that soybean protein content, relative content of lipoxygenase, total amino acids, and sulfur-containing amino acid contents were diverse among 13 cultivars in monocropping. Under intercropping condition, protein contents of majority cultivars had no significant difference between monocropping and intercropping except for 2 cultivars. Relative contents of lipoxygenase of 4 soybean cultivars decreased significantly. The changes of different protein subunits in different soybean materials and different protein subunits in the same soybean were not consistent. Sulfur-containing amino acid contents of 3 cultivars increased, and methionine contents of 5 cultivars increased significantly. The variable coefficients of histidine and arginine contents were the highest among soybean cultivars in intercropping. Clustering analysis employed was based on the changes in contents of crude protein, lipoxygenase, protein subunits and amino acids. The results showed that compared with monocropping, the protein content of Mengqing 6 and Caidou were not significant different, but relative percentage of 11S, content of total amino acids and sulfur-containing amino acid were increased, and percentage of lipoxygenase were decreased in intercropping. In conclusion, to meet different market demand of good soybean products, the selection of specialized soybean cultivars incombined with appropriate intercropping are essential in maintaining protein nutritional components, improving the flavor and taste of soybean products and extended storage period.

Key words: Relay intercropping; Soybean; Protein subunit; Amino acid; Cluster analysis

收稿日期: 2015-09-17

基金项目: 国家 973 项目(2011CB100402); 四川省科技厅育种攻关项目(2011NZ0098-4)

作者简介: 蔡 凌(1992-), 女, 四川资中人, 硕士研究生, 研究方向为作物栽培, E-mail: nxcailing@163.com

* 通讯作者: 刘卫国(1979-), 男, 副教授, 四川中江人, 从事大豆资源及生理生化研究, E-mail: lwgsy@126.com

杨文钰(1958-), 男, 四川大英人, 教授, 从事大豆栽培生理研究, E-mail: mssiyangwy@sicau.edu.cn

大豆作为重要的植物蛋白质来源,在我国已有五千多年的栽培历史,随着人们生活水平的不断提高,大豆需求量急剧增加,大豆已成为中国供需缺口最大的农产品。但近年来,我国玉米、水稻等高投入、高产农作物发展迅猛,保证了粮食有效供给。但与此同时,大豆种植面积急剧下降,土壤肥力资源过度消耗,农田生态环境恶化,大豆供需矛盾越发突出。

我国南方是间作套种高蛋白食用大豆优势产区,其中西南地区的玉米-大豆带状套作最为典型^[1]。该种植方式选用高蛋白食用大豆品种与玉米套作,从而实现作物双高产,提高土地利用率和土壤肥力,实现了作物高产高效与农业可持续的统一^[2-7]。然而在该模式中,大豆作为低位作物,生育前期受到玉米的荫蔽,使其营养生长受到影响;玉米收获后,光照条件改善,大豆进行恢复生长^[8-11]。前人对优化作物配置提高边际优势、保证低位作物的光照环境,探明根系养分竞争关系等方面进行了研究,然而该模式下蛋白含量及组成等品质性状的变化规律以及优势品种筛选鲜有报道。本研究选用13个不同基因型大豆为试验材料,以净作为对照,分析玉米-大豆带状套作模式下,大豆籽粒蛋白质

含量、脂氧合酶含量、蛋白亚基含量、氨基酸含量的变化规律,筛选适于套作的高蛋白大豆材料,为通过套作培育高品质食用大豆提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试验设计

选用课题组前期筛选出的13个在套作模式下表现优良的大豆种质资源为材料,于2014年在四川农业大学试验农场进行试验。采用两因素裂区设计,主因素为种植方式:大豆净作模式(M)和玉米-大豆带状套作模式(R);副因素为大豆材料(表1),重复3次,小区面积12m²(2m×6m)。套作玉米品种为正红505(半紧凑型),3月28日育苗,4月9日移栽。移栽时两行玉米组成一带,行距0.5m,穴距0.4m,每穴2苗。每带玉米间隔1.5m,密度为5万株/hm²,8月9日收获。6月20日在玉米宽行中播种2行大豆,行距为0.5m,穴距0.2m,每穴2株,密度为9.9万株/hm²。大豆净作处理为2行大豆组成1带,带内行距0.5m,穴距0.2m,每穴2苗,每带大豆间隔1.5m,保证种植密度及单株生长空间与带状套作相同。

表1 供试大豆材料

Table 1 Soybean cultivars selected for this study

编号 Code	名称 Name	材料来源 Source	营养生长 VP/d	生殖生长 RP/d	复光期 LRD/d	生育期 M/d
B1	南256-1 Nan 256-1	四川省南充市农科所 Science Institute of Nanchong	66	78	95	144
B2	小黄豆 Xiaohuangdou	四川农业大学 Sichuan Agricultural University	63	81	95	144
B3	蒙庆6号 Mengqing 6	安徽 Anhui	44	78	76	122
B4	菜豆 Caidou	日本 Japan	58	79	88	137
B5	罗门豆 Luomendou	江西 Jiangxi	58	79	88	137
B6	桂夏3号 Guixia 3	广西农科院 Science Institute of Guangxi	58	79	88	137
B7	南农 X56 Nannong X56	南京农业大学 Nanjing Agricultural University	53	84	88	137
B8	南豆021-1 Nandou 021-1	四川省南充市农科所 Science Institute of Nanchong	58	79	88	137
B9	大圆豆 Dayuandou	四川省自贡市农科所 Science Institute of Zigong	44	89	84	133
B10	特选13 Texuan 13	重庆市农科院特用作物研究所 Science Institute of Chongqing	61	72	84	133
B11	贡秋豆04-2 Gongqiudou 04-2	四川省自贡市农科所 Science Institute of Zigong	58	67	76	125
B12	贡选1号 Gongxuan 1	四川省自贡市农科所 Science Institute of Zigong	57	57	92	114
B13	本地八月黄 Bendibayuehuang	四川省达州市达县 Dazhou	62	75	88	137

注:VP:营养生长期;RP:生殖生长期;LRD:恢复生长时间(玉米收获后,大豆生长时间);M:总生育期

Note:VP:vegetative period; RP:reproductive period; LRD:light recovery duration (the growth time after maize harvested); M: total growth period

试验地土壤含全氮2.79g/kg、全磷0.383g/kg、全钾12.89g/kg、速效氮168.6mg/kg、速效磷81.3mg/kg、速效钾140.1mg/kg、有机质3.32%。带状套作处理中玉米施肥量为纯氮240kg/hm²、P₂O₅

70kg/hm²、K₂O 90kg/hm²,其中氮肥按底肥:拔节肥:穗肥2:3:5施用,磷、钾肥以底肥施用。大豆全生育期均不施肥。田间正常杂草病虫害管理。完熟期收获大豆籽粒,进行品质分析。

1.2 品质测定

1.2.1 蛋白质含量测定方法 参照 GB/T 24870 - 2010, 采用 Foss Infrate 1241 近红外谷物分析仪测定。

1.2.2 贮藏蛋白亚基及脂氧合酶含量的测定 参考王显生等^[12]的方法, 根据预实验略有修改: 完熟期籽粒收获后自然晒干, 在 60℃ 温度下烘 24h 去除水分, 粉样过 60 目筛, 称取豆粉 1g, 加入乙醚按 10mL 混合均匀过夜, 4℃ 下 14 000r/min 离心 20min, 弃上清; 加入乙醚 10mL 混合均匀, 静置 3h, 4℃ 下 14 000r/min 离心 20min, 弃上清, 重复 3 次制得脱脂豆粉; 最后将脱脂豆粉风干后, 称取 0.1g 加入 pH 8.0, 0.5mol/L 的 TRIS - HCL 缓冲液 1mL 充分混合, 4℃ 下 16 000r/min 离心 30min, 保留大豆蛋白上清液; 采用 Brad - ford 检测法测定蛋白液的浓度。采用分离胶的体积分数为 15%, 浓缩胶的体积分数为 5%, 上样量 16μL, 蛋白含量 30μg, 考马斯亮蓝 G - 250 染色; 乙醇、冰醋酸溶液脱色。采用 UVP 型凝胶成像系统扫描凝胶成像。

1.2.3 氨基酸组份测定方法 采用日立 L - 8800

全自动氨基酸分析仪测定。称取 0.100g 大豆样品于安瓿瓶中, 准确加入 10mL 6mol/L HCl, 封口后于 110℃ 烘箱内水解 24h, 冷却后用水定容至 50mL, 用 0.45μm 水相滤头过滤 200μL 溶液于大口离心管中, 放入 60℃ 真空干燥箱里浓缩干, 加入 0.02mol/L HCl 1mL 混匀, 制得样品溶液上机测定。

1.3 数据处理

采用 Quantity One 进行凝胶图片分析, Cluster 3.0 进行聚类分析, SPSS 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 套作对大豆籽粒蛋白含量的影响

由表 2 可知, 净作条件下 13 个材料的蛋白质百分含量变化范围为 49.5% ~ 53.1%, 均属于高蛋白大豆。各材料间蛋白质百分含量差异显著, 其中 13 号材料含量最高为 53.4%, 7、3、4 号材料含量较低, 分别为 49.5%、49.6%、49.6%。套作对不同材料蛋白质百分含量的影响不一致, 其中 6 号和 9 号大豆材料蛋白质百分含量分别降低了 1.5%, 差异达显著水平, 其余材料差异不显著。

表 2 不同栽培模式下大豆蛋白含量

Table 2 Protein content of different soybean cultivars in relay intercropping and monocropping system/%

编号 Code	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
M	51.9abc	51.5bc	49.6e	49.6e	49.8de	51.8abc	49.5e	52.6ab	50.5cde	50.8cde	51.0cd	50.7cde	53.1a
R	50.6	52.0	50.6	50.9	49.5	49.3*	48.2	52.1	49.0*	49.4	50.7	50.6	53.7

注: M: 净作模式; R: 套作模式; * 表示在 5% 水平下, 不同大豆材料在净作和套作间的差异达显著水平。不同小写字母表示净作模式下不同大豆材料间差异达 5% 显著水平。下同

Note: M: monocropping; R: relay intercropping; * indicate significant difference at 5% level between relay - cropped and solo - cropped; Different lower case letters indicate significant difference at 5% level. Same as below

2.2 套作对脂氧合酶的影响

普通大豆种子含有脂氧合酶, 该酶氧化不饱和脂肪酸产生氢过氧化衍生物, 进而裂解产生豆腥味和其他挥发性物质, 影响豆制品的品质^[13-16]。由表 3 可知, 净作条件下 13 个材料的脂氧合酶相对百分含量变化范围为 2.0% ~ 3.6%, 各材料间脂氧合酶

相对百分含量差异显著, 其中 3、12 号材料含量最高为 3.5%、3.6%, 1、2、5 号材料含量最低均为 2.0%。在套作模式下脂氧合酶相对百分含量表现为 5 个材料(1、3、5、7、10 号)显著增加, 4 个材料(4、8、12、13 号)显著降低。

表 3 不同栽培模式下大豆脂氧合酶含量

Table 3 Lipoxigenase relative contents of different soybean cultivars in relay intercropping and monocropping system/%

编号 Code	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
M	2.0e	2.0e	3.5a	2.5d	2.0e	3.1b	2.5d	2.9bc	2.5d	3.1b	3.0bc	3.6a	2.8c
R	2.2*	2.1	4.1*	2.3*	2.3*	3.1	3.1*	2.4*	2.4	4.2*	2.9	3.4*	2.0*

2.3 套作对大豆贮藏蛋白亚基的影响

11S 和 7S 球蛋白由于氨基酸组成和结构不同, 其营养性和功能性有较大的差异, 不同加工目的对其含量比值(11S/7S)要求不同。由表 4 可知, 净作条件下 13 个材料的 7S 相对百分含量变化范围为 14.0% ~ 15.3%, 各材料间差异显著, 其中 4 号材料含量最高, 为 17.9%, 7 号材料含量最低, 为 12.6%。

在套作模式下, 5 个大豆材料(2、7、8、11、12 号)7S 组份含量显著增加, 4 个材料(1、4、10、13 号)显著降低。净作条件下 13 个材料的 11S 相对百分含量变化范围为 20.5% ~ 26.8%, 各材料间差异显著, 其中 11 号材料含量最高, 为 26.8%, 8 号材料含量最低, 为 20.5%。在套作模式下, 6 个材料(1、3、5、6、11、13 号)11S 组份含量显著增加, 5 个材料(4、7、

8、10、12号)显著降低,其中1、7、8、12、13号材料7S含量变化规律和11S含量变化规律相反,且变化量均达到显著水平。套作模式下12号材料11S/7S比值显著降低0.3,13号材料显著升高0.2,其余材料无显著变化。

不同大豆材料同个蛋白亚基以及同一个大豆材料不同蛋白亚基在套作模式下表现均不同。13个大豆材料在套作模式下 α' 、 α 亚基变化规律与7S组份变化规律相一致, β 亚基无规律变化。13个大豆

材料中3、5号材料7S组份及 α' 、 α 、 β 亚基在套作模式下均无显著差异,1号材料7S组份及 α' 、 α 、 β 亚基在套作模式下均显著降低。13个大豆材料在套作模式下的A1、B3亚基与11S组份变化规律一致。13个大豆材料中9号材料11S组份及A3、A4 A2、A1、B3、B1、B4、A4亚基在套作模式下均无显著差异,12号材料11S组份及A3、A4 A2、A1、B3、B1、B4、A4亚基在套作模式下均显著增加。

表4 不同栽培模式下不同大豆材料亚基含量

Table 4 Relative contents of protein subunits of different soybean cultivars in relay intercropping and monocropping system/%

编号 Code		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
α'	M	4.8	5.0	5.9	5.3	5.6	4.0	3.8	4.3	4.5	5.3	4.0	4.2	3.9
	R	4.3*	5.4*	5.9	5.3	5.4	3.9	4.1*	4.6*	4.5	5.3	4.0	4.8*	3.6*
A	M	3.4	4.5	3.9	5.7	5.0	3.4	3.6	5.0	3.4	3.9	3.1	4.4	4.1
	R	2.8*	4.8*	4.1	5.2*	5.0	4.2*	4.7*	6.0*	3.3*	3.9	3.1	4.4	3.3*
B	M	7.1	5.4	5.9	6.8	6.7	7.7	5.3	7.2	6.2	6.5	6.0	5.3	6.0
	R	6.8*	5.2*	5.9	7.0	6.8	7.5*	5.0*	7.3	6.7*	6.1*	6.5*	5.3	6.0
A3	M	4.7	4.5	4.0	4.5	5.3	3.9	3.5	3.1	4.0	3.4	4.6	3.4	4.0
	R	4.7	4.7*	3.5*	4.8*	5.7*	4.2*	2.8*	2.7*	4.1	3.6*	4.6	3.1*	4.1*
A4 A2	M	3.5	4.0	5.2	3.8	2.2	3.1	3.7	2.1	2.9	2.2	4.0	3.0	4.0
	R	3.6	3.6*	5.5*	3.3*	2.9*	3.2	3.5	2.1	2.9	2.1	3.6*	2.6*	3.9
A1	M	2.9	3.2	3.8	4.2	4.2	5.1	3.5	4.3	5.1	4.0	5.1	5.0	4.8
	R	3.7*	3.1	4.7*	3.7*	4.4*	5.1	3.4	4.0*	5.0	4.0	5.0	3.3*	4.6*
B3	M	2.5	3.9	3.1	4.1	3.3	4.0	2.8	2.3	2.8	1.8	3.0	2.5	2.4
	R	2.6	3.8	3.0	3.7*	3.6*	4.0	2.8	2.3	2.8	1.8	3.0	2.3*	2.8*
B1	M	3.4	3.0	2.5	3.2	3.7	3.8	3.9	2.9	3.7	3.2	4.0	3.6	3.8
	R	3.3	3.0	2.7	3.2	3.6	4.0*	3.5*	2.8	3.7	3.0*	4.0	2.8*	3.7
B4	M	3.7	3.3	3.5	2.3	3.4	2.5	2.9	2.7	2.7	3.2	3.0	2.4	3.0
	R	4.1*	3.5*	3.5	2.2	3.4	2.8*	2.4*	2.6*	2.7	3.0*	3.5*	2.3*	3.0
A4	M	4.6	3.1	3.6	3.5	4.5	3.6	3.3	3.2	2.9	4.2	3.0	5.2	4.3
	R	5.1*	3.2	3.4	3.7	4.2*	3.3*	3.5	3.2	3.0	4.1*	3.5*	5.0*	4.2
7S	M	15.3e	14.9f	15.7d	17.9a	17.3b	15.1ef	12.6i	16.6c	14.1g	15.7d	13.1h	14.0g	14.0g
	R	13.9*	15.4*	15.8	17.4*	17.3	15.5	13.8*	17.8*	14.5	15.4*	13.6*	14.5*	12.8*
11S	M	25.4ef	25.0f	25.6de	25.7de	26.6ab	25.9cd	23.7g	20.5i	24.1g	22.0h	26.8a	25.0f	26.2bc
	R	27.1*	24.9	26.4*	24.6*	27.8*	26.7*	22.0*	19.7*	24.2	21.6*	27.0*	21.5*	26.4*
11S/7S	M	1.7de	1.7de	1.6e	1.4g	1.5f	1.7d	1.9b	1.2h	1.7d	1.4g	2.0a	1.8c	1.9b
	R	1.9	1.6	1.7	1.4	1.6	1.7	1.6	1.1	1.7	1.4	2.0	1.5*	2.1*

2.4 套作模式对大豆籽粒氨基酸组份的影响

由表5可知,参试大豆含硫氨基酸仅占总氨基酸2%左右。净作条件下各材料间含硫氨基酸含量差异显著,其中7号材料含量最高,为21.5mg/g,9号材料含量最低,为18.2mg/g。套作模式下4、8、12号大豆材料含硫氨基酸含量分别增加2.7、2.3和2.4mg/g,其余材料差异不显著。净作条件下各材料间必需氨基酸含量仅2号材料显著低于其他材料(含量为183.1mg/g),其余12个材料间差异不显著;在套作模式下必需氨基酸含量仅12号大豆材料显著降低,其余材料差异不显著。净作条件下各材料间总氨基酸含量差异显著,其中13号材料含量最

高为829.3mg/g,4号材料含量最低为646.8mg/g。在套作模式下总氨基酸含量仅5号材料显著增加122.81mg/g,12号材料显著降低128.27mg/g,其余材料差异不显著。

在所测氨基酸中,Pro含量最高,材料间变化范围为191.03~266.26mg/g,其余氨基酸含量均小于72.8mg/g,其中Tyr、Cys、Met百分含量较低。与净作模式相比,套作模式下,Ala、Tyr、Thr、Phe含量在13个大豆材料中均无显著变化;ASP、Ser、Glu、Gly、Val、Cys含量在12个材料中无显著变化;His含量在8个材料(1、5、6、7、9、10、11、13号)中显著降低,在其余材料中无显著变化;Arg含量在6个材料(1、

5、7、9、11、13号)中显著降低,其余材料无显著变化;Met含量在5个材料中(4、8、9、11、12号)显著增加,其余材料无显著变化。

13个大豆材料中2、8、12号材料在套作模式下

10种非必需氨基酸均无显著变化;非必需氨基酸变化多集中在His、Arg两种氨基酸。1、2、3、6、7号材料在套作模式下必需氨基酸均无显著变化;4、8、9号材料仅Met显著增加,其余必需氨基酸无显著差异。

表5 不同栽培模式下不同大豆材料氨基酸含量

Table 5 Amino acid composition of different soybean cultivars in relay intercropping and monocropping system/(mg/g)

编号 Code		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
Thr'	M	20.7	19.4	21.0	20.0	20.2	20.3	19.6	20.1	21.0	21.9	21.7	20.5	22.1
	R	21.2	21.1	20.6	21.4	19.2	21.4	19.6	21.4	20.8	20.5	19.0	20.4	19.9
Val'	M	35.5	29.2	31.5	29.7	35.4	30.8	30.1	31.9	33.2	36.3	34.0	32.2	34.9
	R	29.1	29.6	27.3	28.1	29.8	31.1	30.0	31.7	30.9	29.3	28.1	28.8*	31.5
Met'	M	12.3	12.5	12.7	12.8	13.3	12.3	14.3	12.5	11.3	12.7	12.4	12.1	12.7
	R	13.6	13.9	13.6	15.2*	14.5	13.1	14.1	14.8*	13.7*	14.1	14.0*	14.4*	13.4
Ile'	M	22.5	22.1	22.9	22.2	22.6	23.1	22.4	23.2	23.4	25.0	24.4	23.1	24.2
	R	20.8	20.0	21.2	21.3	19.5*	21.7	21.1	22.3	21.7	21.4*	21.1*	22.1	20.1*
Leu'	M	45.3	43.5	46.6	44.9	45.1	45.3	44.9	45.0	46.0	49.0	48.7	45.0	47.0
	R	44.2	43.7	45.8	44.9	40.0	45.5	40.9	45.9	45.3	43.7*	42.8*	45.6	40.4*
Phe'	M	28.3	26.4	31.4	26.6	27.5	31.3	31.9	32.8	31.0	30.3	29.1	27.3	30.1
	R	28.3	28.4	26.9	28.8	24.9	27.4	24.6	27.6	26.9	26.0	25.3	30.5	26.6
Lys'	M	31.3	30.0	31.5	30.1	31.0	31.6	30.7	31.1	30.7	32.8	32.0	30.6	32.0
	R	30.2	30.0	30.3	30.9	27.0*	29.3	27.2	29.4	28.8	29.2	28.3*	29.8	27.1*
ASP	M	54.2	54.2	56.6	54.7	54.6	57.6	52.8	53.2	55.6	57.3	58.1	54.3	60.8
	R	52.7	54.7	55.7	56.2	48.7	55.5	53.6	54.9	51.8	54.2	54.3	56.4	51.4*
Ser	M	32.1	31.5	33.0	32.3	31.9	33.0	32.0	31.7	32.4	34.0	34.0	32.2	33.8
	R	30.8	31.6	32.6	33.2	29.0	32.4	30.6	32.1	31.0	33.0	31.8	33.3	30.5*
Glu	M	37.9	36.6	38.7	38.0	37.1	38.3	37.1	37.3	38.1	39.1	39.5	37.2	40.1
	R	37.6	38.2	39.2	40.3	34.0	38.5	35.2	38.9	36.3	37.9	36.3	38.8	36.1*
Gly	M	66.5	65.3	67.8	64.4	64.1	68.4	63.8	66.0	67.8	69.5	70.0	66.6	72.7
	R	62.5	63.8	64.0	62.8	56.9	66.9	61.3	65.2	62.9	65.3	62.6	65.9	60.4*
Ala	M	27.1	25.5	26.8	25.9	25.9	27.2	26.2	26.1	27.5	28.0	28.1	26.7	29.2
	R	27.2	26.9	27.4	28.5	24.7	28.1	25.3	27.6	26.1	27.3	25.8	27.5	31.8
Cys	M	7.0	6.5	7.2	6.9	7.1	6.9	7.1	6.9	6.9	7.2	6.9	7.0	6.9
	R	6.5	6.5	6.4*	7.2	6.9	6.3	6.9	6.9	6.5	6.7	6.7	7.1	6.5
Tyr	M	3.0	3.5	3.8	3.6	3.5	3.5	3.4	3.1	3.1	3.1	3.3	2.9	3.4
	R	2.7	3.2	3.7	3.7	2.9	2.7	3.0	2.6	2.8	3.3	3.2	3.5	3.0
His	M	68.9	64.1	67.1	65.2	66.5	70.6	69.3	68.4	70.5	70.8	72.6	69.0	70.5
	R	59.8*	62.2	59.9	61.9	56.7*	60.8*	57.2*	63.9	58.9*	60.3*	59.2*	62.2	58.5*
Arg	M	44.4	41.0	42.7	39.8	38.6	41.1	40.2	40.6	42.4	41.9	43.2	39.2	42.4
	R	37.4*	39.4	39.2	38.4	32.3*	36.8	33.8*	39.5	33.5*	39.3	36.8*	38.4	36.5*
Pro	M	210.5	210.9	220.0	195.0	208.3	222.6	199.1	228.7	217.5	226.1	225.2	203.5	266.3
	R	239.5	255.1	255.6	246.7*	191.0	238.7	203.7	237.4	218.3	232.6	234.3	246.9	212.7*
SAA	M	19.4	19.0	19.9	19.7	20.4	19.2	21.5	19.4	18.2	19.9	19.3	19.1	19.6
	R	bc	bc	abc	abc	ab	bc	a	abc	c	abc	bc	bc	abc
EAA	M	20.1	20.4	20.0	22.4*	21.4	19.4	21.0	21.8*	20.2	20.8	20.7	21.5*	19.9
	R	195.9	183.1	197.5	186.3	195.1	194.7	194.1	196.7	196.6	207.9	202.4	190.7	203.2
TAA	M	ab	b	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	a	ab	ab	ab
	R	187.4	186.6	185.7	190.6	175.1	189.4	177.4	193.1	188.0	184.2	178.6	178.9*	182.5
TAA	M	747.6	722.3	761.1	646.8	732.6	763.8	725.1	680.5	758.4	785.1	783.4	729.2	829.3
	R	abcd	bcd	abc	d	abcd	abc	bed	cd	abc	ab	abc	abcd	a
	R	744.2	768.4	769.4	769.7*	658.2	756.2	710.8	762.2	716.1	744.1	729.6	701.0*	760.9

注:表中'标注必需氨基酸,SAA代表含硫氨基酸,EAA代表必需氨基酸,TAA代表总氨基酸

Note: ' indicates essential amino acid in the table, SAA indicates sulfur-containing amino acids. EAA indicates essential amino acid. TAA indicates total amino acid

2.5 聚类分析

根据粗蛋白、脂氧合酶和蛋白亚基受套作的影响程度,采用平均距离法对供试的大豆材料进行层次聚类,结果如图1所示。可将13个材料分为4个

主要类群:类群I仅有3号材料,为蛋白、亚基全增加型,主要表现为在套作模式下蛋白质百分含量、LOX、11S相对百分含量均增加,7S相对百分含量不变;类群II包括4、13号大豆材料,为11S含量增加

型,主要表现为在套作模式下蛋白质百分含量、11S 相对百分含量增加,LOX、7S 相对百分含量表现为降低;类群Ⅲ包括1、5、6、9、10、11号大豆材料,为双亚基增加型,主要表现为在套作模式下7S、11S 相对百分含量表现为增加,蛋白质百分含量表现为降低,

LOX 相对百分含量不变;类群Ⅳ包括2、7、8、12号大豆材料,为7S增加型,主要表现为在套作模式下 LOX、7S 相对百分含量增加,蛋白百分含量、11S 相对百分含量降低。

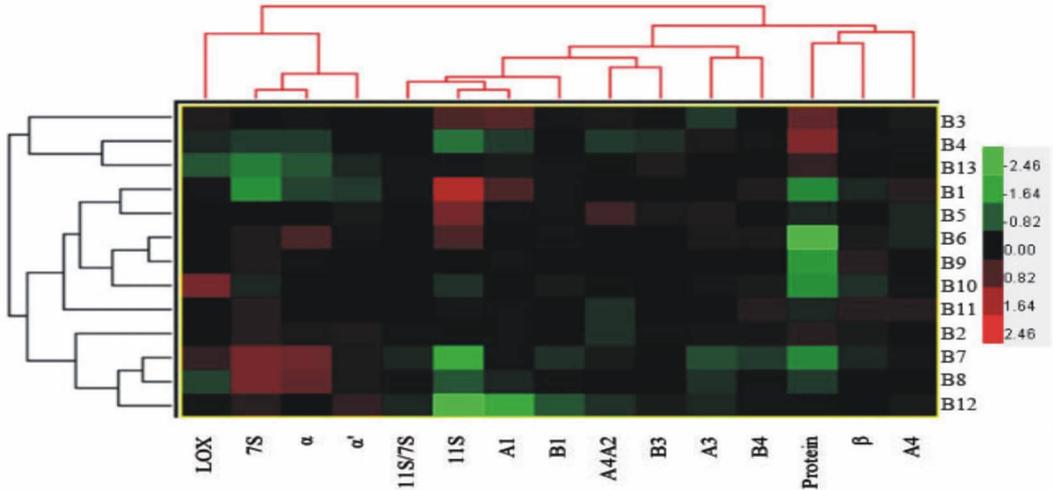


图1 种植方式对大豆蛋白含量影响的聚类分析

Fig.1 Cluster analysis based on relative contents of protein subunits in intercropping and monocropping system

根据氨基酸含量受套作的影响程度,对供试大豆材料进行聚类分析,结果表明(图2),13个材料共分为2个主要类群:类群Ⅰ包括品种1、3、6、2、4、8号材料,为氨基酸全增加型,主要表现为在套作模

式下总氨基酸、含硫氨基酸百分含量均增加;类群Ⅱ包括7、5、9、10、11、12、13号材料,为含硫氨基酸增加型,主要表现为在套作模式下含硫氨基酸百分含量增加,总氨基酸百分含量降低。

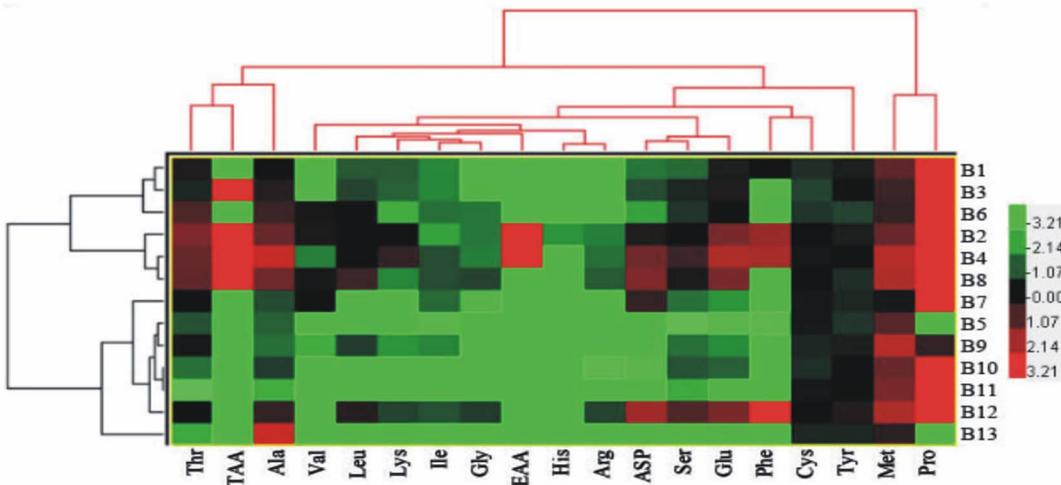


图2 净套作环境下不同大豆材料氨基酸含量差值聚类分析

Fig.2 Cluster analysis based on amino acid composition in intercropping and monocropping system

3 讨论

蛋白质含量是食用大豆最主要的加工品质指标,因影响出浆率,从而影响生产效益。本研究结果表明套作环境不会降低蛋白质总含量,这与蒋涛等^[17,18]研究结果一致,并符合气温高、雨量充沛、湿

度大,日照较少,昼夜温差小有利于蛋白质积累的一般规律^[19-23]。本实验还进一步发现不同材料蛋白质总含量受套作模式的影响程度与材料本身蛋白质总含量高低无关,不同地方引进材料均表现出高蛋白特性,可能与四川的多雨和寡日照环境有利于大豆蛋白质积累有关。

脂氧合酶容易在大豆籽粒储藏中催化脂肪酸而变成氢过氧化物。氢过氧化物会产生苦味、涩味、豆腥味、青草味等而影响大豆的食用品质^[13~16]。本研究发现在套作模式下4、8、12、13号材料中脂氧合酶相对百分含量显著降低,表明在套作模式下可通过选择合适的品种来改变豆制品风味。

近年来,蛋白质组分的改良研究已经成为国内外大豆蛋白质品质育种的研究热点之一。在每单位蛋白中11S球蛋白中含硫氨基酸的含量是7S球蛋白中的4倍^[24~26]。7S球蛋白中的 α 亚基是大豆主要过敏源之一^[29],对大豆蛋白特异性过敏人群存在一定安全隐患。本研究结果表明在套作模式下7S组份含量表现为1、4、10、13号材料显著降低,11S组份含量表现为1、3、5、6、11、13号材料显著增加。其中1、7、8、12、13号材料7S含量变化规律和11S含量变化规律相反,这与前人研究中7S和11S之间存在含量补偿机制相符^[28]。表明通过套作模式可同时实现11S相对百分含量增加和7S相对百分含量减少,一方面可以部分去除大豆过敏蛋白之一,提高大豆制品食品安全性;另一方面可以增加含硫氨基酸含量,提高大豆蛋白的利用率^[29,30]。

蛋白质中合理氨基酸组成一直以来都是研究者关注的课题之一,大豆中含有人体所需的8种必需氨基酸,但含硫氨基酸相对缺乏,其中蛋氨酸被认为是大豆籽粒限制性氨基酸,其次就是胱氨酸或苏氨酸^[31]。本研究结果发现套作模式下11个材料总氨基酸含量无显著变化,12个材料必需氨基酸无显著变化,3个材料含硫氨基酸含量显著增加,5个材料蛋氨酸含量显著增加。说明通过套作模式可不降低总氨基酸及必需氨基酸含量的条件下,增加含硫氨基酸含量,特别是大豆蛋氨酸的含量,使大豆氨基酸组成更合理。

随着人民生活水平的提高,对大豆品质的要求也开始变得多元化。丰富的蛋白质含量,合理的氨基酸比例,营养抑制剂缺失或含量低、独特的豆制品风味及口感已经成为人们对食用大豆的新要求。本文研究结果说明,通过套作种植模式配合选择特定基因型品种,可保证大豆蛋白营养组份、提高豆制品风味及口感,同时延长保存时间,从而满足人们对豆制品的多元化需求。

参考文献:

[1] 农业部. 全国种植业发展第十二个五年规划[J]. 中国棉花, 2011, 23(10): 45-45.
[2] 杨文钰, 雍太文, 任万军, 等. 发展套作大豆, 振兴大豆

产业[J]. 大豆科学, 2008, 27(1): 1-7.

[3] 刘卫国, 邹俊林, 袁晋, 等. 套作大豆农艺性状研究[J]. 中国油料作物学报, 2014, 37(2): 219-223.
[4] 杨峰, 娄莹, 廖敦平, 等. 玉米-大豆带状套作行距配置对作物生物量、根系形态及产量的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(4): 642-650.
[5] 袁晋, 罗庆明, 刘卫国, 等. 气象因子对川中丘陵区带状套作大豆产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2014, 37(6): 777-783.
[6] 张明荣, 何泽民, 吴海英, 等. 玉米套作大豆模式复合群体高产高效优化配置技术研究[J]. 大豆科学, 2012, 31(4): 575-578.
[7] 雍太文. 西南地区套作大豆机械化收割取得新突破[J]. 大豆科学, 2012, 31(6): 10-29.
[8] 苏本营, 宋艳霞, 陈圣宾, 等. 大豆幼苗对套作玉米遮荫环境的光合生理生态响应[J]. 生态学报, 2015, 35(10): 1-14.
[9] 刘增禹, 伍晓燕, 杨文钰, 等. 玉米株型对套作大豆氮素积累、转运和籽粒蛋白质产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2011, 34(6): 574-581.
[10] 崔亮, 苏本营, 杨峰, 等. 带状套作大豆群体冠层光能截获与利用特征[J]. 中国农业科学, 2015, 48(1): 43-54.
[11] 王竹, 杨文钰, 吴其林. 玉/豆套作荫蔽对大豆光合特性与产量的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(9): 1502-1507.
[12] 刘香英, 康立宁, 田志刚, 等. 东北大豆品种贮藏蛋白7S和11S组分及其亚基相对含量分析[J]. 大豆科学, 2009, 28(6): 985-989.
[13] 黄友如, 华欲飞, 裘爱泳. 脂肪氧合酶诱导脂质氧化与大豆制品品质的关系[J]. 粮食加工, 2007, 32(3): 76-82.
[14] 平远. 用遗传杂交育种法清除豆中脂氧合酶[J]. 粮食与饲料工业, 2005, 28(2): 46-46.
[15] 陈书婷, 孔祥珍, 华欲飞, 等. 大豆脂肪氧合酶催化合成亚麻酸氢过氧化物的研究[J]. 中国油脂, 2011, 36(4): 27-30.
[16] Noordermeer M A, Van Der Goot W, Van Kooij A J, et al. Development of a biocatalytic process for the production of C6-aldehydes from vegetable oils by soybean lipoxygenase and recombinant hydroperoxide lyase[J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(15): 4270-4274.
[17] 蒋涛, 杨文钰, 刘卫国, 等. 套作大豆贮藏蛋白、氨基酸组成分析及营养评价[J]. 食品科学, 2012, 33(21): 275-279.
[18] 王显生, 麻浩, 向世鹏, 等. 不同 SDS-PAGE 分离胶浓度条件下大豆贮藏蛋白亚基的分辨效果[J]. 中国油料作物学报, 2004, 26(2): 75-80.
[19] 吴继安, 魏新民. 黑河地区大豆脂肪和蛋白质的积累

- 与开花到成熟期间气象因子的关系[J]. 大豆科学, 1992, 11(3): 240-246.
- [20] 向世鹏. 播期对大豆籽粒贮藏蛋白及其亚基积累影响的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2005.
- [21] 于明, 黄文, 李光发, 等. 通化地区高蛋白大豆蛋白质和脂肪的积累与气象因子的关系[J]. 吉林农业科学, 1996, 33(1): 46-49.
- [22] 王红玲, 陈少光, 向世鹏, 等. 气象因子对大豆主要贮藏蛋白组分及亚基含量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(4): 431-437.
- [23] 丁振麟. 气候条件对于大豆化学品质的影响[J]. 作物学报, 1965, 4(4): 313-320.
- [24] 孟祥勋. 大豆种子贮藏蛋白研究[J]. 东北农业大学学报, 1997, 28(2): 201-207.
- [25] 王金龙, 陈存来. 大豆种子贮藏蛋白组分 11S/7S 研究概况[J]. 山东农业科学, 1998, 36(1): 48-50.
- [26] 刘志胜, 李里特, 辰巳英三. 大豆蛋白营养品质和生理功能研究进展[J]. 大豆科学, 2000, 19(3): 263-268.
- [27] Ogawa T, Bando N, Tsuji H, et al. Investigation of the IgE-binding proteins in soybeans by immunoblotting with the sera of the soybean-sensitive patients with the atopic dermatitis [J]. J Nutr Sci Vitaminol, 1991, 37(6): 555-565.
- [28] 刘香英, 康立宁, 田志刚, 等. 东北大豆品种贮藏蛋白 7S 和 11S 组分及其亚基相对含量分析[J]. 大豆科学, 2009, 28(6): 985-989.
- [29] Saio K, Watanabe T. Differences in functional properties of 7S and 11S soybean protein [J]. Journal of Texture Studies, 1978, 1(2): 135-157.
- [30] Poysa V, Woodrow L, Yu K, et al. Effect of soy protein subunit composition on tofu quality [J]. Food Research International, 2006, 39(3): 309-317.
- [31] Zarkadas C G, Voldeng H D, Yu z R, et al. Assessment of the protein quality of nine northern adapted yellow and brown seed coated soybean cultivars by amino acid analysis [J]. J Agric Food Chem, 1999, 47(12): 5 009-5 018.

(责任编辑:王丽芳)