

王新华, 尚 赏, 郭书亚, 等. 2BX 型玉米/甘薯间作系统优势分析[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(10): 106–109.

2BX 型玉米/甘薯间作系统优势分析

王新华¹, 尚 赏², 郭书亚², 谢幸华³, 张 艳², 杨爱梅², 卢广远²

(1. 河南省商丘市农业技术推广站, 河南商丘 476000; 2. 河南省商丘市农林科学院, 河南商丘 476000;

3. 河南省农产品质量安全中心, 河南商丘 476000)

摘要:对 2BX 型玉米/甘薯间作系统的生态生理效应和综合效益的分析结果表明, 间作后系统内的生态环境得到改善, 玉米群体内的光照强度增大, 光分布合理, 风速增大, CO₂ 含量增加; 甘薯群体内光照强度减弱, CO₂ 含量和风速略有增加。间作后玉米叶片的叶绿素含量和光合性能得到提高, 农艺性状有所改善; 而甘薯的相应性状有不同程度的减弱, 但是随着甘薯行比的增加, 情况逐步得到改善。这种正相互作用和负相互作用迭加后的优势, 以 2B6 型、2B8 型表现较好。为了发挥玉米、甘薯的高产潜能, 对产量效益和经济效益进行综合分析得出, 玉米/甘薯间作以 2B8 型为最佳模式。

关键词:玉米; 甘薯; 间作; 生态因子; 生理特征

中图分类号: S344.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2014)10–0106–04

随着全球性人口的剧增, 资源匮乏、环境恶化、粮食紧缺使人们再次关注间套作模式^[1–2]。农作物间作套种模式的优势首先是社会效益、生态效益和经济效益高于单作, 其次是作物品种的搭配丰富了农产品, 最后是合理配置了田间结构。前人研究指出: 要提高套种玉米和甘薯的产量及产值, 应十分重视将玉米的播种期、移栽密度、施肥量等作为首要考虑因子^[3–5]; 在试验条件下, 适当增加并协调好春玉米与甘薯的栽种密度, 注重春玉米的施氮水平, 便可有效增加春玉米与甘薯的总产量^[6], 增加甘薯的密度、总产量^[7]。“甘薯/鲜食玉米”模式就是依据喜光与耐阴作物相组合、高秆与矮秆作物相搭配、根系深浅疏密结合、生育期长短前后交错^[8–9]而确定合理的群体与田间结构, 同时为了满足农业增收、农民增效的需要而提出的。甘薯投入少, 产出多, 单位面积可食用的干物质居各种作物之首; 此外, 甘薯抗灾力强, 耐旱、耐瘠薄, 在其他作物较难生长的地方也能获得较好的收成^[10–13]。本研究探讨玉米/甘薯间作模式, 以期寻求甘薯、玉米共同高产的最佳种植行比, 为完善玉米/甘薯间作新模式的配套技术及示范推广提供科学依据^[14]。

1 材料与与方法

1.1 试验条件与供试品种

试验于 2011、2012 年在河南省商丘市农林科学院双八试验基地进行。试验田地势平坦, 沙质壤土, 前茬作物为小麦, 单产 7 500 kg/hm², 小麦收获后立即中耕灭茬, 播种玉米并栽植甘薯。

玉米品种选用郑单 958, 甘薯品种选用商薯 9 号。

收稿日期: 2013–12–08

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(编号: CARS–11–C–12);

河南省现代农业产业技术体系建设专项(编号: Z2010–02–02)。

作者简介: 王新华(1963—), 男, 河南民权人, 高级农艺师, 主要从事农作物栽培和技术推广工作。

通信作者: 卢广远, 副研究员, 主要从事玉米育种和栽培技术研究。

E–mail: lugy378@163.com。

1.2 试验设计与田间管理

玉米/甘薯间作共设 6 个处理, 各处理的株行距配置见表 1, 2BX 型间作系统指 2 行玉米 X 行甘薯。处理采用完全随机区组排列, 3 次重复, 每个处理种植 3 带(单作玉米和单作甘薯各种 10 行), 带长 10 m, 小区之间有 1 m 的隔离带, 东西行种植, 四周种甘薯作保护区。单作玉米施复合肥(氮、磷、钾含量均为 15%) 6 750 kg/hm²; 单作甘薯在中等肥力条件下, 鲜薯产量 37 500 ~ 45 000 kg/hm², 施优质农家肥(沤肥、堆肥) 37 500 ~ 45 000 kg/hm²、尿素 150 kg/hm²、过磷酸钙 450 kg/hm²、硫酸钾 375 kg/hm²; 间作玉米和甘薯的施肥量为单作施肥量乘以该作物的种植密度比例。生育期间及时中耕、浇水、防治病虫害。

在主要生育时期测定作物的叶面积、株高, 收获时进行田间测产并考察农艺性状; 光照强度测定采用 ST–80C 型多点平均式照度计; 风速测定采用热偶电极式风速仪; 叶绿素含量测定使用日本产叶绿素计; CO₂ 含量、光合强度测定使用便携式红外线 CO₂ 分析仪。

2 结果与分析

2.1 玉米/甘薯间作群体田间小气候的变化

2.1.1 玉米/甘薯间作群体内光照强度的变化及分布状况

光照强度及其在空间中的分布是影响光合作用和产量的重要因子。在玉米大喇叭口期和甘薯薯块膨大初期, 于晴天连续 3 d 测定复合群体的光照强度和光分布状况, 结果见表 2。由表 2 可以看出, 间作玉米株高 2/3 处、基部(距地面 10 cm 处, 下同)光照强度的平均值分别比单作玉米提高 33.93%、10.98%, 平均透光率分别提高 27.65%、11.59%, 这 2 个层次是玉米功能叶的活跃部位, 光合作用最强, 制造的干物质最多。从不同的间作方式看, A₅ 处理玉米各部位的光照度最大, 2/3 株高处光照强度、透光率分别比单作玉米提高 54.08%、41.72%, 基部处光照强度、透光率分别比单作玉米提高 19.70%、23.69%。

由表 2 可以看出, 甘薯在该间作群体中的受光情况明显

表 1 玉米/甘薯间作不同行比处理

处理	带距 (cm)	玉米行数 (行)	甘薯行数 (行)	玉米			甘薯		
				窄行行距：宽行行距 (cm：cm)	株距 (cm)	密度 (株/hm ²)	窄行行距：宽行行距 (cm：cm)	株距 (cm)	密度 (株/hm ²)
A ₁	单作玉米	10	0	60：60	24.5	67 500			
A ₂	280	2	2	60：160	22.2	35 390	80：120	23.8	30 000
A ₃	440	2	4	60：320	20.2	22 500	80：120	23.8	38 180
A ₄	600	2	6	60：480	18.5	18 000	80：120	23.8	42 000
A ₅	760	2	8	60：640	18.5	14 210	80：120	23.8	44 210
A ₆	单作甘薯	0	10				80：80	27.7	45 000

表 2 间作群体光照强度的变化及分布状况

处理	玉米						甘薯					
	冠层顶部		2/3 株高处		基部		冠层顶部		2/3 株高处		基部	
	光照强度 (μmol/m ² ·s)	透光率 (%)	光照强度 (μmol/m ² ·s)	透光率 (%)	光照强度 (μmol/m ² ·s)	透光率 (%)	光照强度 (μmol/m ² ·s)	透光率 (%)	光照强度 (μmol/m ² ·s)	透光率 (%)	光照强度 (μmol/m ² ·s)	透光率 (%)
A ₁	2 320		980		45.3	660	28.7					
A ₂	2 320		1 100	48.7	680	28.9	810	39.8	430	21.3	290	11.4
A ₃	2 320		1 280	57.6	710	30.6	1 160	50.2	690	34.4	430	17.8
A ₄	2 320		1 360	60.8	750	33.1	1 670	72.7	840	39.7	470	17.8
A ₅	2 320		1 510	64.2	790	35.5	1 980	93.5	980	48.5	520	20.9
A ₆	2 320						2 320		1 150	53.6	560	22.4

注：光照强度于晴天 12:00 测定，为连续 3 d 测定的平均值。

处于劣势。随着甘薯行数的增加(即从 A₂ 到 A₆ 处理)，玉米对甘薯的影响减弱，A₂、A₃、A₄、A₅ 处理的甘薯冠层顶部光照强度分别为单作甘薯的 34.91%、50.00%、71.98%、85.34%，平均比单作减少 39.44%；2/3 株高处光照强度平均比单作减少 36.09%；地面(即基部)光照强度平均比单作减少 23.66%。甘薯为 C₃ 植物，其光饱和点为 30 000 ~ 40 000 lx，光补偿点为 16 ~ 20 μmol/(m²·s)，可见间作后甘薯处于不同程度的光饥饿状态，2B2 型(处理 2)甘薯受到的影响最严重，而 2B6、2B8 型(处理 4、处理 5)相对较好。由此可见，在玉米/甘薯构成的复合群体中，玉米在群体上层处于受光优势地位，甘薯为玉米造成了立体受光的通路，改平面受光为曲面受光，植株中下部辐射量相对较多，透光率增高，这种立体采光的优越性，使植株在时间、空间上扩大了对光能的利用，为植株光合能力和产量形成奠定了基础，而甘薯处于光

资源缺乏状态，其光合能力受到限制。

2.1.2 玉米/甘薯间作群体内 CO₂ 含量和风速的变化 CO₂ 是光合作用制造碳水化合物的原料，CO₂ 含量的高低反映了原料数量的多少，对光合作用的影响较大。由表 3 看出，间作后玉米株高 2/3 处 CO₂ 含量增加，平均比单作增加 13.50 μg/g，同时随着玉米行比的拉大，A₂ 至 A₄ 处理间的增幅稍有加大，但基部变化不大。间作后甘薯行间的 CO₂ 含量变化也有相同的趋势。此外，群体内通风条件对 CO₂ 含量也有影响，从对群体内风速的测定情况看，间作后玉米行间的风速有增大趋势，株高 2/3 处平均比单作增大 0.13 m/s；甘薯 2/3 处平均比单作增加 0.01 m/s，A₄ 处理风速的增加最明显。总体看来，风速快的 CO₂ 扩散快，CO₂ 的输送量大，从而提高了作物的光合强度；此外，风速大，叶温降低，从而抑制了呼吸作用，使得光合作用加强。

表 3 玉米/甘薯间作群体中 CO₂ 含量和风速的变化

作物	部位	A ₁ 处理		A ₂ 处理		A ₃ 处理		A ₄ 处理		A ₅ 处理		A ₆ 处理	
		CO ₂ (μg/g)	风速 (m/s)	CO ₂ (μg/g)	风速 (m/s)	CO ₂ (μg/g)	风速 (m/s)	CO ₂ (μg/g)	风速 (m/s)	CO ₂ (μg/g)	风速 (m/s)	CO ₂ (μg/g)	风速 (m/s)
玉米	2/3 处	345	0.44	352	0.53	357	0.57	364	0.58	361	0.61		
	基部	357	0.32	369	0.34	363	0.35	366	0.35	365	0.35		
甘薯	2/3 处			362	0.39	369	0.40	372	0.46	375	0.42	355	0.41
	基部			371	0.27	374	0.29	379	0.31	380	0.34	558	0.30

注：表中数值为每天测定 3 次，连续测定 3 d 的平均值。

由以上分析可知，实行玉米/甘薯 2BX 型间作，玉米生态环境得到了明显改善，2 行玉米的光温气热得到更好的协调，边行优势得到充分发挥。而且在适宜的间作方式(2B6 型和 2B8 型)下，也不会使甘薯的生境发生恶化，反而使得互补效应增加。

2.2 间作群体玉米/甘薯生理特性的变化

2.2.1 叶绿素含量的变化 叶绿素含量与作物的光合强度和生长发育紧密相关。测定了不同处理中每行叶片的叶绿素含量，记录相同 2 行的平均值。表 4 结果表明，间作玉米叶片(穗位叶)叶绿素含量均比单作玉米提高，平均提高了

7. 13% ,大小为 $A_5 > A_4 > A_2 > A_3$;甘薯的不同行位叶片(主茎上部叶片)的叶绿素含量与单作甘薯相比都有不同程度降低,降低幅度为边 1 行 > 边 2 行 > 边 3 行 > 边 4 行,平均分别比单作甘薯降低 8. 92%、4. 01%、2. 95%、1. 17% ,并且随着甘薯行数的增加,边 1 行受到的影响整体上减少,这与甘薯行数增加后田间小气候的改善有关,因此表现出 2B6 和 2B8 型中玉米叶片受边行优势的影响,叶绿素含量增加的幅度较大,而甘薯叶片受边行劣势的影响,叶绿素含量减少的幅度变小。

2.2.2 玉米/甘薯间作光合强度的变化 光合强度的大小直接反映了干物质的积累速率和群体结构的优异情况。由表 5 可见,间作后玉米穗位叶片的光合强度均比单作提高,甘薯叶片的光合强度均比单作降低,但是平均都随 2BX 型甘薯行数的增加而增大,玉米 A_4 与 A_5 比较接近,提高幅度分别为 29. 14%、31. 11% ,而甘薯的光合强度均比较接近单作。

玉米/甘薯间作后,玉米增产潜力的根本性生理机制得到充分体现,在2B6型间作带中发挥得较为充分,即使再增加

表 5 玉米/甘薯间作群体中光合强度的变化

作物名称	测定时间	光合强度[mg/(dm ² · h)]					
		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
玉米	08:00	6. 36	7. 69	8. 33	9. 88	9. 75	
	14:00	25. 53	27. 42	29. 88	31. 90	31. 66	
	18:00	10. 82	12. 31	12. 63	13. 39	14. 58	
	平均	14. 24	15. 80	16. 95	18. 39	18. 67	
甘薯	08:00		2. 39	2. 58	3. 84	3. 97	4. 89
	14:00		21. 41	22. 23	22. 61	23. 81	25. 03
	18:00		4. 88	6. 36	6. 89	8. 19	8. 67
	平均		9. 56	10. 39	11. 11	11. 99	12. 87

注:玉米测定的是穗位叶,甘薯测定的是主茎上部 2/3 处。

2.3 玉米/甘薯间作群体农艺性状的变化

玉米/甘薯间作玉米的农艺性状有较大的变化。由表 6 可见,玉米株高、穗位高均有所降低,而穗粗、穗长有着不同程度的增加,秃顶长减少,百粒质量差异不大,而穗粒质量变幅

表 4 玉米/甘薯间作群体中不同行的叶绿素含量变化

处理	叶绿素含量(SPAD 值)				
	玉米	甘薯			
		边 1 行	边 2 行	边 3 行	边 4 行
A ₁	48. 53				
A ₂	51. 27	38. 21			
A ₃	50. 82	39. 88	42. 06		
A ₄	52. 58	42. 43	42. 84	43. 17	
A ₅	53. 29	41. 12	42. 87	42. 95	43. 85
A ₆		44. 37			

甘薯行数,光合强度变化也不大,该趋势与光照强度在群体内的变化情况基本一致。同时,与单作相比,甘薯叶片(主茎上部叶片)光合强度降低的幅度也不大,日平均光合强度比单作甘薯下降了 16. 38% ,这种生理特性的变化是间作后生态因子变化后综合作用的结果,同时又是以后产量形成的基础和动力。

较大,间作各处理的穗长、穗粗等农艺性状均比对照明显增加。其中 A_4 、 A_5 处理最为突出,在穗粗、穗长、百粒质量等方面均很大程度优于单作玉米。

表 6 玉米/甘薯间作玉米农艺性状的变化

处理	株高 (cm)	穗位高 (cm)	穗长 (cm)	穗粗 (cm)	秃尖长 (cm)	百粒质量 (g)	穗粒质量 (g)
A ₁	259. 6	100. 7	18. 12	4. 97	0. 56	38. 41	134. 5
A ₂	247. 7	94. 4	19. 36	5. 38	0. 32	38. 57	141. 3
A ₃	245. 4	94. 0	20. 53	5. 42	0	38. 74	145. 0
A ₄	242. 8	93. 2	21. 87	5. 56	0	38. 96	152. 6
A ₅	241. 2	92. 6	22. 35	5. 83	0	39. 25	159. 4

玉米/甘薯间作不同处理对甘薯农艺性状的影响不同。由表 7 可见,间作后甘薯蔓长有增长趋势,平均比对照增加了 13 cm,茎粗、分枝数、单株薯数、单薯质量均随着行比的增加而增加。 A_2 处理的农艺性状与单作相比明显减弱,说明甘薯受到来自高位作物玉米的影响,处于较恶劣的生长发育环境中;相反,与对照相比, A_4 、 A_5 处理基本上所有的性状都表现得比较稳定。

2.4 玉米/甘薯间作群体的综合效益分析

2.4.1 玉米/甘薯间作群体的产量效益分析 由表 8 可见,玉米/甘薯间作群体的增产效果比较明显。群体总产量的高

表 7 玉米/甘薯间作甘薯农艺性状的变化

处理	茎粗 (cm)	蔓长 (cm)	分枝数 (个)	单株薯数 (个)	单薯质量 (kg)
A ₂	0. 65	148	7. 7	4. 29	0. 42
A ₃	0. 74	142	8. 1	4. 48	0. 46
A ₄	0. 79	134	8. 5	4. 87	0. 50
A ₅	0. 84	129	8. 9	5. 12	0. 54
A ₆	0. 87	125	9. 6	5. 19	0. 55

顺序为 $A_5 > A_6 > A_4 > A_3 > A_2 > A_1$,其中处理 A_5 产量最高,可能是因为该处理条件下,甘薯、玉米的优势都得到了充分体

表 8 玉米/甘薯间作群体玉米、甘薯产量分析

处理	玉米产量 (kg/hm ²)	甘薯产量 (kg/hm ²)	总产量 (kg/hm ²)
A ₁	9 078.75		9 078.75
A ₂	5 000.61	41 184.00	46 184.61
A ₃	3 262.50	61 576.70	64 839.20
A ₄	2 746.80	81 816.00	84 562.80
A ₅	2 487.00	100 374.38	102 861.38
A ₆		101 970.00	101 970.00

现,比单作玉米增产 93 782.63 kg/hm²,比净种甘薯增产 891.38 kg/hm²。这是由于 2B8 型行比模式(处理 5)中,玉米生理生态效应的综合优势得到较充分发挥,甘薯的低位劣势也得到相对改善,同时由于保证了玉米种植密度,发挥了玉米高产潜能,甘薯的高产能力也发挥出来,因而表现出群体总产量

表 9 玉米/甘薯间作群体中玉米、甘薯的经济效益分析

处理	玉米产量 (kg/hm ²)	甘薯产量 (kg/hm ²)	总产值 (元/hm ²)	资金投入 (元/hm ²)	纯收益 (元/hm ²)	产投比
A ₁	9 078.8		19 973.3	7 532.6	12 440.7	2.65
A ₂	5 000.6	41 184.0	60 422.1	11 865.4	48 556.7	5.09
A ₃	3 262.5	61 576.7	81 069.5	12 862.8	68 206.7	6.30
A ₄	2 746.8	81 816.0	104 222.2	13 265.7	90 956.5	7.86
A ₅	2 487.0	100 374.4	125 920.7	14 646.5	111 274.2	8.60
A ₆		101 970.0	122 364.0	15 827.3	106 536.7	7.73

注:数据为前 3 年市场行情的平均值,玉米价格 2.2 元/kg,甘薯价格 1.2 元/kg。

3 结论与讨论

2BX 型玉米/甘薯间作系统充分发挥了玉米的边行优势,使得平均光照强度提高,而且光分布更加趋于合理,植株 2/3 处功能活跃层的光量增多,同时群体中风速提高,促进了 CO₂ 的扩散和输送。这种生态系统的发育优势,使群体的正相互作用趋于增加,负相互作用趋于减少,即在间作后甘薯群体中,CO₂ 含量和风速加大,并且随着甘薯行比的增加,群体内的光照强度和光分布状况逐步好转,从而建立起一个互补共荣的生态空间。玉米/甘薯间作后,生态因子的改变引起了植株内部生理特性的变化。2B6 型和 2B8 型间作群体玉米叶片的叶绿素含量和光合强度明显提高,而甘薯叶片的叶绿素含量和光合强度降低最少,这为后期产量的形成奠定了物质和能量基础。玉米/甘薯间作后的产量效益和经济效益分析表明,2B8 型玉米-甘薯的群体优势较好,农艺性状改善,群体的复合产量最高,保证了玉米、甘薯增产的优势,同时经济效益增加,是较为理想的种植模式^[15-17]。

参考文献:

- [1] 史本林,尤瑞玲,芦杰. 河南省甘薯产业化发展的 SWOT 分析[J]. 资源开发与市场,2011,27(5):450-452.
- [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] 雍太文,任万军,杨文钰,等. 旱地新 3 熟“麦/玉/豆”模式的内涵、特点及栽培技术[J]. 耕作与栽培,2006(6):48-50.
- [4] 王自力,杨爱梅,刘忠玲,等. 洛阳旱地西瓜间作甘薯效益及技术

最高。从产量效益来看,A₅ 处理是较理想组合。从土地当量比来看,A₄、A₅ 处理较高,A₁、A₂ 处理较低,这是由于玉米-甘薯相互抑制造成的。土地当量比是衡量间作优势的一个指标,它说明获得单位面积间作群体的产额需要单种的土地面积。

2.4.2 玉米/甘薯间作群体的经济效益分析 根据前 3 年的市场行情平均值、玉米/甘薯间作处理所投入的资金,计算其产值、纯收入和产投比等一系列经济指标,并进行分析,结果见表 9。由表 9 可以看出,所有间作处理的产值均比单作玉米高,平均高出 72 935.3 元/hm²,增加幅度为 365.16%;与单作甘薯比较,效益最好的是 A₅ 处理;从产投比来看,A₄、A₅ 处理高于单作甘薯,更高于单作玉米,而 A₂、A₃ 处理高于单作玉米,但是低于单作甘薯。随着行比的增加,产投比越来越高,但这种变化受市场价格的影响很大,因此从投资效益来讲,适当模式间作的种植效益较为稳定。

要点[J]. 农业科技通讯,2010(12):221-222.

- [5] 刘伟明. 春玉米、甘薯套种的主要农艺措施优化研究[J]. 浙江农业科学,1994(3):105-107.
- [6] 王俊,阮龙,王世济,等. 不同播期对鲜食玉米干鲜重的影响[J]. 安徽农学通报,2011,17(17):55-56,64.
- [7] 刘伟明. 利用旋转设计对春玉米/甘薯套种的优化研究[J]. 耕作与栽培,2004(6):16-17,29.
- [8] 向红梅,黄文美,李桂平,等. 玉米与不同密度甘薯套种对甘薯产量的影响[J]. 农技服务,2009,26(5):30.
- [9] 高阳,段爱旺,刘战东,等. 玉米/大豆间作条件下的作物根系生长及水分吸收[J]. 应用生态学报,2009,20(2):307-313.
- [10] 马代夫,李强,曹清河,等. 中国甘薯产业及产业技术的发展与展望[J]. 江苏农业学报,2012,28(5):969-973.
- [11] 宁运旺,马洪波,张辉,等. 氮、磷、钾对甘薯生长前期根系形态和植株内源激素含量的影响[J]. 江苏农业学报,2013,29(6):1326-1332.
- [12] 马剑凤,程金花,汪洁,等. 国内外甘薯产业发展概况[J]. 江苏农业科学,2012,40(12):1-5.
- [13] 栾春荣,苏彩霞,马小凤,等. 鲜食黑糯玉米/紫甘薯立体套种关键技术[J]. 江苏农业科学,2012,40(10):86-87.
- [14] 卢广远,杨爱梅. 甘薯/鲜食玉米套作模式下产量与效益的分析[J]. 中国农学通报,2012,28(21):135-139.
- [15] 王家才,孟自力,张曦,等. 甘薯新品种商薯 6 号套种模式及其效益分析[J]. 山东农业科学,2011(5):40-41.
- [16] 杨爱梅,王家才,谢幸华,等. 甘薯商薯 19 高产生理基础研究[J]. 江苏农业科学,2008(5):46-48.
- [17] 杨爱梅,王家才,纪允安,等. 高淀粉甘薯新品种商薯 19 高产栽培措施研究[J]. 河南农业科学,2008(7):41-42,50.