

张晓娟,王克雄,吴利晓,等. 松花菜对氮磷钾吸收分配规律的研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(17):119-122.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.17.030

# 松花菜对氮磷钾吸收分配规律的研究

张晓娟,王克雄,吴利晓,秦爱红,王晓军

(宁夏农林科学院固原分院,宁夏固原 756000)

**摘要:**通过田间试验和室内分析相结合的方法,研究了松花菜对氮、磷、钾的吸收分配规律。结果表明:松花菜全生育期对氮、磷、钾的吸收以钾肥最高,氮肥次之,磷肥最少,吸收质量比为1:0.14:1.15。在苗期,松花菜对氮、磷、钾的吸收较小,在莲座期和现球期,吸收速率迅速增加,在采收期,吸收累积速率又有所下降。氮、磷、钾在植株不同器官中的含量和分配亦随生育期不同而变化,氮、磷含量表现为叶>花球>梗>根,钾含量表现为叶>梗>花球>根。

**关键词:**松花菜;氮磷钾;吸收分配;生育期

**中图分类号:** Q945.1;S635.306 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)17-0119-04

松花菜俗称散花菜、有机花菜,是十字花科甘蓝属花椰菜中的一个类型,因其蕾枝较长,花层较薄,花球充分膨大时形态不紧实,相对于普通花菜呈松散状,故此得名<sup>[1-3]</sup>。近年来,松花菜已逐渐向浙江的台州、宁波、杭州和江苏等地发展,因其花球松散、营养丰富、质地脆爽可口,成为蔬菜市场新宠,将有可能成为我国花椰菜消费的主要类型,潜力与前景十分看好<sup>[4-5]</sup>,与一般紧实型花菜品种相比,松花菜耐煮性好、食味鲜美、维生素C、可溶性糖含量高,早中熟品种耐热性强,适

应性更广<sup>[6]</sup>,城市近郊可“春延后”和“秋提前”栽培,高山栽培可在夏秋投入上市,拓宽了花椰菜生产的上市时间,成为宁夏冷凉蔬菜产业中主栽蔬菜之一,经济效益好,市场前景好,深受消费者欢迎<sup>[7]</sup>。

宁夏六盘山区地处黄土高原,属中温带大陆性半湿润半干旱气候,气候凉爽,光照充足,土壤肥沃,环境清洁无污染,为发展冷凉蔬菜产业提供了得天独厚的自然条件<sup>[8-9]</sup>。但前人对松花菜的研究多集中在品种类型的划分、栽培方法及营养化学成分的分析等方面<sup>[10]</sup>,且生产多按传统经验进行,而关于其栽培理论与技术方面的研究很少。因此,本试验主要针对宁夏六盘山区松花菜生产过程中存在的土壤贫瘠和粗放型水肥管理等问题,研究松花菜干物质积累及对营养元素氮、磷、钾的吸收分配规律,以期对松花菜高产、优质、高效、安全生产提供科学依据,进而为建立水肥一体化优质高效栽培模式提供理论依据,对宁夏经济社会发展和资源环境有十分重要的意义。

收稿日期:2018-03-22

基金项目:全产业链开发创新示范项目(编号:QCYL-2018-03);宁夏农林科学院科技创新先导资金项目(编号:NKYQ-16-08)。

作者简介:张晓娟(1987—),女,宁夏固原人,硕士,助理研究员,主要从事植物营养研究。E-mail:elizabeth2006love@163.com。

通信作者:王克雄,高级农艺师,主要从事蔬菜育种及栽培。E-mail:wkx61238@163.com。

绿化的重要景观植物,首要的经济性状是具有较强的耐寒性<sup>[6]</sup>,其次是转色早、耐抽薹、观赏期长。本试验结果说明上海市农业科学院育成的羽衣甘蓝新品种红妃、白妃和红羽均表现生长势强、耐寒性突出,且综合抗病性强,尤其是红妃和红羽表现高抗黑腐病,抗霜霉病和软腐病。其中,红妃属于抱卧式株型,植株开展度大,显色早,深皱叶型,心叶紫红,色泽极为鲜艳,可短暂忍受多次-5~-8℃的低温霜冻,耐寒性优于日本品种名古屋红。红羽属于直立式株型,开展度中,锯齿叶型,显色早,心叶粉红,色泽清新淡雅,可短暂忍受多次-5~-8℃的低温霜冻,耐寒性稍优于日本品种名古屋红。白妃属于抱卧式株型,植株开展度大,显色早,深皱叶型,心叶乳白,可短暂忍受多次-3~-5℃的低温霜冻,耐寒性稍弱于红妃,与日本品种名古屋红相当。此外,红妃、白妃和红羽抽薹晚,整个观赏周期比对照名古屋系列长10~15d,属于综合园艺性状优良的羽衣甘蓝新品种,可以在上海及周边地区推广应用,逐步代替进口品种,以促进我国羽衣甘蓝产业的健康发展。

**参考文献:**

[1] 饶璐璐. 羽衣甘蓝(Kale)[J]. 蔬菜,1997(1):10-11.

[2] 李惠芬,钱芝龙. 羽衣甘蓝创新种质形态学特征研究[J]. 北方园艺,2005(3):56-58.

[3] 沈娟,宋丽莉,张志国. 观赏羽衣甘蓝在上海园林中的应用[J]. 安徽农业科学,2009,37(10):4741-4749.

[4] 姚悦梅,潘跃平,戴忠良,等. 观赏羽衣甘蓝杂交新品种的比较[J]. 江苏农业科学,2013,41(11):209-210.

[5] 顾卫红,杨红娟,马坤,等. 观赏型羽衣甘蓝新种质及其新品种选育[C]//中国园艺学会第六届青年学术讨论会论文集. 2004:5.

[6] 李惠芬,钱芝龙. 羽衣甘蓝创新种质耐冻性及在杂种一代中遗传表现[J]. 中国园艺文摘,2006(2):14-16.

[7] 于利,黄建新,王红,等. 结球甘蓝霜霉病抗性鉴定与遗传分析[J]. 华北农学报,2013,288(3):193-198.

[8] 崔瑞峰,孙九光,张光星. 甘蓝黑腐病苗期抗病性鉴定[J]. 北方园艺,2008(6):201-203.

[9] 张光明,王翠花. 大白菜抗软腐病接种鉴定方法的初步研究[J]. 山东农业科学,1995(5):39-40.

[10] 韩香婷. 大白菜抗软腐病性状的SSR分子标记分析[D]. 北京:首都师范大学,2006.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况及供试品种

田间试验设置在宁夏固原市原州区彭堡镇闫堡万亩冷凉蔬菜示范基地。基地位于 36° 44' N, 106° 44' E, 海拔为 1 550 m, 供试土壤属于湘黄土, 土壤肥力水平较低, 全氮 1.4 g/kg, 速效磷 42.4 g/kg, 速效钾 234.5 mg/kg, 碱解氮 88.5 mg/kg, 有机质 21.1 g/kg, pH 值 8.41; 属温带干旱区, 干旱少雨, 年降水量稀少, 全年降水量只有 350 mm, 旱灾发生较频繁, 昼夜温差大。

供试材料松花菜为当地主栽品种津松 75, 该品种属中熟青梗松花菜品种, 定植后 75 d 左右采收, 植株生长旺盛, 抗性好, 耐湿, 易于栽培, 花球松大, 球面洁白, 单球质量达 2 kg 以上, 肉质柔软, 商品性好, 是目前市场所需求的早熟品种。

### 1.2 试验设计

本试验于 2016 年 5 月 20 日定植, 7 月 28 日采收, 生育期为 70 d。筑畦宽 1.2 m, 沟深 0.3 m, 苗龄 30 ~ 35 d 时定植, 每畦栽 2 行, 行距 50 cm, 株距 50 cm, 每 667 m<sup>2</sup> 约栽 1 800 株, 采用当地常规覆膜种植, 灌水方式为喷灌, 水肥统一管理。化肥种类及有效含量为: 氮肥为尿素 [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>], 含 N 46%; 磷肥为重过磷酸钙 [Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O], 含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%; 钾肥为硫酸钾 (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 含 K<sub>2</sub>O 50%。N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 按当地施肥配方 1.5 : 1 : 1.5 统一基肥一次性施入。

### 1.3 测定指标及方法

1.3.1 土壤理化性质的测定 在定植前采集 0 ~ 20 cm 深度的土壤样品, 装入塑料袋、标记密封, 带回实验室自然风干, 处理后测定其物理指标和化学指标。pH 值通过水土比 5 : 1 处理后, 用 SH-3 精密酸度计测定; 全盐通过水土比为 5 : 1 处

理后, 用 DDS-11 电导率仪测定; 有机质用重铬酸钾氧化-硫酸亚铁滴定法测定; 碱解氮用碱解扩散法测定; 速效磷用 0.5 mol/L 碳酸氢钠溶液提取, 硫酸钼锑抗法测定; 速效钾用 1 mol/L 的乙酸铵溶液提取, 火焰光度计法测定<sup>[11-13]</sup>。

1.3.2 植株形态指标和干物质测定 植株形态指标包括株高、冠幅、花球直径, 采用卷尺测量(每个小区测 5 株, 求平均值)。干物质及氮磷钾含量测定是在每个生育期内取 5 株有代表性植株样品, 测其鲜质量, 并带回实验室按根、叶、梗、球将其分开, 然后于 105 °C 杀青 30 min, 80 °C 烘至恒质量, 然后测各部位干质量, 进而通过 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮法测定每个器官中全氮、全磷、全钾的含量, 其中全氮测定用蒸馏法, 全磷测定用钒钼黄比色法, 全钾测定用火焰光度计法<sup>[11-13]</sup>。

1.3.3 产量测定 采收期分别记载各小区产量、单株花球产量, 采用电子秤测量(每小区测 5 株单株花球质量, 求平均值)。

### 1.4 数据统计

所有试验数据采用 Excel 2003 计算处理, 回归分析、方差分析采用 LSD 多重比较及主成分分析法, 用 DPS、SAS 等软件进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生育期内生长指标观测

由表 1 可知, 随着松花菜生育期的延长, 松花菜株高、梗长、叶长、叶宽和叶数均呈现增加趋势, 且各生育期之间差异显著。株高、梗长、叶长和叶宽均在采收期达到最大, 株高最高可达 51.5 cm, 梗长最大为 13.6 cm, 叶长最大为 59.5 cm, 叶宽最大为 26.9 cm。叶数由于进入成熟期后, 少数老叶脱落, 导致叶数在采收期反而出现减少现象, 叶片数在现球期达到最大, 为 28 片。

表 1 不同生育期内生长指标观测

生育期	生长指标				
	株高(cm)	梗长(cm)	叶长(cm)	叶宽(cm)	叶数(片)
苗期	15.8 ± 0.28dD	2.2 ± 0.21dD	21.7 ± 0.75dD	13.1 ± 0.84cC	12 ± 0.58dC
莲座期	20.4 ± 0.53cC	5.0 ± 0.41cC	37.9 ± 1.86cC	20.2 ± 0.72bB	13 ± 0.04cC
现球期	42.5 ± 0.78bB	12.0 ± 0.40bB	47.9 ± 2.83bB	27.1 ± 1.64aA	28 ± 1.02aA
采收期	51.5 ± 0.64aA	13.6 ± 0.37aA	59.5 ± 1.73aA	26.9 ± 1.73aA	22 ± 0.58bB

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示处理间差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

### 2.2 松花菜不同器官干物质积累动态

由图 1 可知, 随着松花菜生育期的延长, 不同器官干物质积累量呈现上升趋势, 苗期植株生长量小, 干物质积累较少, 莲座期逐渐增加, 现球期积累速度最大, 但进入采收期后干物质积累速度有所下降。苗期、莲座期和现球期干物质积累量均表现为叶片 > 梗 > 根; 叶片干物质积累量在现球期之前增加迅速, 进入现球期后, 由于花球的迅速长大, 使得叶片干物质积累量增长缓慢, 而花球的干物质积累量增加幅度较大, 采收期不同器官干物质积累量为叶片 > 花球 > 梗 > 根, 而梗积累速度有所下降, 说明叶片是干物质分配的主要器官, 占总积累量的 75%。

### 2.3 松花菜对氮、磷、钾的吸收动态

由图 2 可知, 随着松花菜生育期的延长, 植株对氮、磷、钾吸收积累量呈现先升高后降低的趋势, 整体表现为钾 > 氮 > 磷。在苗期, 氮、磷、钾吸收量分别占总吸收量的 23.6%、

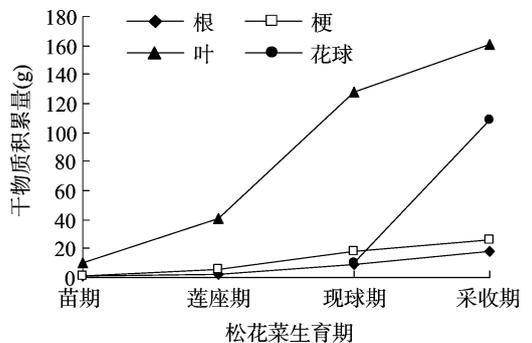


图 1 松花菜各器官干物质积累动态

21%、22.8%; 在莲座期, 氮、磷、钾吸收量分别占总吸收量的 22.1%、25.8%、21.2%; 在现球期, 植株对氮、磷、钾吸收量达到最大, 分别占总吸收量的 30.4%、27.5%、29.9%, 可见, 现球期为松花菜的营养临界期; 在采收期, 氮、磷、钾吸收量分别

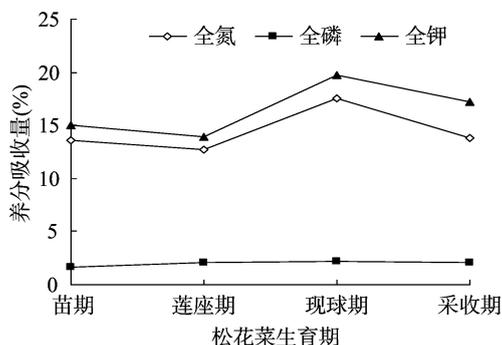


图2 松花菜对氮(N)、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾(K<sub>2</sub>O)的吸收积累动态

占总吸收量的23.9%、25.7%、26.1%。

由表2可知,松花菜单株对氮、磷、钾累积吸收质量比例随生育期的不同而不同。总体表现为松花菜对钾的需求量最大,氮次之,磷最少,全生育期氮、磷、钾的总吸收质量比为1:0.14:1.15。在苗期,松花菜单株对氮、磷、钾的吸收量较小,吸收质量比为1:0.12:1.11;在莲座期,松花菜单株对氮、磷、钾的吸收量逐渐增加,吸收质量比为1:0.16:1.09;在现球期,松花菜单株对氮、磷、钾吸收量迅速增加,且对钾肥和氮肥的需求比例加大,吸收质量比为1:0.13:1.13;在采收期,由于植株进入了成熟期,松花菜单株对氮、磷、钾的吸收量有所下降,吸收质量比为1:0.15:1.25。可以说明,松花

表3 不同生育期松花菜植株不同器官氮、磷、钾含量的变化

器官	苗期			莲座期			现球期			采收期		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
根	2.76	0.40	3.06	2.43	0.35	2.49	2.17	0.29	2.74	1.31	0.22	2.20
梗	3.31	0.61	3.29	2.68	0.45	4.70	2.42	0.43	4.26	2.31	0.41	3.53
叶	8.18	1.11	8.68	7.43	0.92	9.06	6.91	0.87	8.17	5.40	0.90	7.38
花球							5.62	0.73	4.09	4.29	0.45	2.39

### 2.5 松花菜不同器官氮、磷、钾的分配规律

由表4可知,氮在植物生长过程中发挥着重要作用,植物生长发育需要吸收大量的氮<sup>[14]</sup>。松花菜在整个生育期内,氮素主要集中在叶片和花球中,苗期分配率高达57.64%,梗中的分配率次之,根中最少;随着生长的进行,根、梗和叶中氮的分配率逐渐降低,而花球中的分配率逐渐增加,采收期氮素分配率表现为叶>花球>梗>根,分配率依次为40.6%、32.2%、17.4%和9.8%。由于氮素是叶绿素的重要组成部分,叶片要进行光合作用就必须有充足的氮素来满足代谢的需要,当作物缺氮时,叶绿素含量下降,导致叶片黄化,光合作用强度减弱<sup>[15-16]</sup>。所以氮素前期主要集中在叶片中,而生长后期叶片开始衰老,植株开始生殖生长,花球迅速生长,使得氮素向生长旺盛部位转移,而梗和根中所占比例下降,花球中所占比例明显增加。

磷在植物体中的含量仅次于氮和钾,由于植株生长活动最为旺盛的分生组织中磷含量较高,且多种代谢循环均有磷的参与,所以磷能够促进植物对外界环境的适应能力,提高植物抗逆性,加快碳水化合物在植物体内的合成、转化和运输能力,改善果蔬、粮食作物的品质<sup>[17-20]</sup>。松花菜在整个生育期内,磷素主要分布在叶片和花球中。在苗期和莲座期,磷素主要分布在叶片中,其次为梗,根中最少;在苗期和莲座期叶片磷素分配率分别为52.4%和53.5%;在现球期,叶片、梗和根

菜莲座期和现球期是植株营养生长关键期,叶片和其他器官的生长需要较多的氮。磷素对植株光合作用和碳水化合物代谢具有控制作用,在现球期和采收期,细胞数量的增加和体积的膨大均要求较多的磷素参与,而钾素作为品质元素,在蔬菜生长中占有重要的地位。

表2 不同生育期松花菜对氮(N)、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾(K<sub>2</sub>O)的吸收量

生育期	吸收量(g)			N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
苗期	1.58	0.20	1.74	1:0.12:1.11
莲座期	6.19	1.01	6.78	1:0.16:1.09
现球期	29.08	3.67	32.72	1:0.13:1.13
采收期	43.33	6.47	53.95	1:0.15:1.25

### 2.4 松花菜不同生育期不同器官氮、磷、钾含量的变化动态

由表3可知,松花菜植株不同器官氮、磷、钾吸收积累量随着生育期的不同而变化,含量呈现一定的规律。其中,不同器官的氮含量在不同生育期均表现为叶>花球>梗>根,且随着生育期的延长,根的氮含量呈现逐渐降低的趋势。不同器官的磷含量在不同生育期均表现为叶>花球>梗>根,且叶中含磷量随着生育期的延长呈现先降低后缓慢上升的趋势,而根和梗中含磷量呈现逐渐降低趋势。不同器官的钾含量在不同生育期均表现为叶>梗>花球>根,且叶和梗中的含钾量随着生育期的延长呈现先上升后缓慢降低的趋势。

中磷素分配率降低,花球磷素分配率高,说明磷素开始向生长旺盛的花球部位转移,不同器官磷素分配率表现为叶>花球>梗>根,分配率依次为37.5%、31.5%、18.5%和12.5%;在采收期,植株生长基本稳定,花球已经成熟,磷素比例有所下降,而其余部位由于新生叶片使得分配量有所回升。

钾亦是植物的主要营养元素,在植物体内的流动性很强,易于转移至地上部,并且有随植物生长中心转移而转移的特点<sup>[21]</sup>。在苗期,钾素主要分布在叶片中,梗次之,根最少,叶片分配率为57.8%;在莲座期,叶片和根中钾素分布有所降低,而梗中分配率逐渐增加;在现球期和采收期,植株开始生殖生长,叶片、梗和根中的钾素分布迅速降低,而花球中钾素分配量明显增加,说明钾素向花球转移,分配率整体表现为叶>花球>梗>根。

## 3 结论与讨论

松花菜随着生育期的延长,株高、梗长、叶长、叶宽和叶数均呈现增加趋势,且各生育期之间差异显著,株高、梗长、叶长和叶宽均在采收期达到最大;随着松花菜生育期的延长,不同器官干物质积累呈现上升趋势,苗期植株生长量小,干物质积累较少,莲座期逐渐增加,现球期积累速度最大,但进入采收期后,干物质积累速度有所下降。松花菜全生育期对氮、磷、

表4 不同时期松花菜不同器官氮、磷、钾养分分配规律

养分	生育期	根		梗		叶		花球	
		含量(mg)	分配率(%)	含量(mg)	分配率(%)	含量(mg)	分配率(%)	含量(mg)	分配率(%)
N	苗期	43.61	19.4	52.30	23.2	129.24	57.4		
	莲座期	150.42	19.4	165.89	21.4	459.92	59.3		
	现球期	631.04	12.7	703.74	14.1	2 009.43	40.4	1 634.30	32.8
	采收期	567.62	9.8	1 000.97	17.4	2 339.93	40.6	1 858.94	32.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	苗期	0.80	18.9	1.22	28.8	2.22	52.4		
	莲座期	3.54	20.3	4.55	26.2	9.29	53.5		
	现球期	10.64	12.5	15.78	18.5	31.93	37.5	26.79	31.5
	采收期	14.23	11.1	26.53	20.7	58.23	45.5	29.12	22.7
K <sub>2</sub> O	苗期	53.24	20.4	57.25	21.9	151.03	57.8		
	莲座期	168.82	15.3	318.66	28.9	614.27	55.8		
	现球期	896.53	14.2	1 393.87	22.1	2 673.22	42.4	1 338.25	21.2
	采收期	1 186.90	12.6	1 904.44	20.2	3 981.51	42.2	2 368.41	25.1

钾的吸收以钾肥最高,氮肥次之,磷肥最少,吸收质量比为1:0.14:1.15。但不同时期松花菜对氮、磷、钾的吸收量不同,现球期为松花菜的营养临界期。

氮、磷、钾在植株不同器官中的含量和分配亦随生育期的不同而变化,除花球中氮、磷、钾含量略有增加外,其他器官中均呈下降趋势,各器官中的分配量变化明显。氮、磷含量整体表现为叶>花球>梗>根,钾含量整体表现为叶>梗>花球>根;在苗期和莲座期,氮、磷、钾主要集中在叶片中,虽然分配量有所变化,但分配率变化不大,随着生育期的延长,氮、磷、钾开始向生长旺盛的花球部位转移,使得叶片、梗和根中的分配率降低,而花球中的分配率明显增加。氮、磷、钾分配率在不同生育期的这种变化特点,反映了松花菜不同生育期生长中心的转移。

本研究表明,松花菜对氮、磷、钾吸收分配有一定的规律,生产中松花菜的施肥应该遵循这一规律。松花菜的生产要重施钾肥和氮肥,也要适当地补充磷肥,特别是在缺磷的地块。松花菜苗期对养分的吸收量不大,可适当少施肥;而进入莲座期和现球期后,植株迅速增长,对养分的吸收量骤增,需加大肥料的投入,而采收期植株已经成熟,生长相对稳定,可减少肥料的施用量。

#### 参考文献:

[1]张翠霞,王惠林,郝春燕,等. 松花菜品种比较试验[J]. 上海蔬菜,2016(5):29-34.  
 [2]魏子清. 高山区花椰菜新品种对比试验初报[J]. 福建农业科技,2012(1):23-25.  
 [3]严百元. 建德山地春季栽培松花菜新品种比较试验[J]. 浙江农业科学,2015,56(5):707-708.  
 [4]龙 钰,田仕本,郑 彬,等. 优质松花菜高产高效栽培技[J]. 长江蔬菜,2015(15):28-29.  
 [5]金伟林,贾世燕. 松花菜高效栽培关键技术[J]. 上海蔬菜,2014(3):43.  
 [6]曾小花. 青梗松花菜丰产栽培技术[J]. 农业科技与信息,2014

(8):34-35.  
 [7]何圣米,沈旭伟,陈联和. 庆元县高山松花菜产业现状及持续发展思路[J]. 浙江农业科学,2011,52(1):31-33.  
 [8]张晓娟,李玉莲,王晓军,等. 固原市冷凉蔬菜产业发展现状分析[J]. 黑龙江农业科学,2016(3):152-154.  
 [9]秦小军,李孝仁. 宁夏南部高山区冷凉蔬菜发展现状分析[J]. 农业科技通讯,2012(12):15-16.  
 [10]顾宏辉,金昌林,赵振卿,等. 我国松花菜产业现状及前景分析[J]. 中国蔬菜,2012(23):1-4.  
 [11]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:124-138.  
 [12]鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000:78-86.  
 [13]孙 权. 农业资源与环境质量分析方法[M]. 银川:宁夏人民出版社,2004:40-50.  
 [14]陆景陵,胡霭堂. 植物营养学[M]. 北京:高等教育出版社,2006:34-38.  
 [15]陈锦强,李明启. 不同氮素营养对黄麻叶片的光合作用、光呼吸的影响及光呼吸与硝酸还原的关系[J]. 植物生理学报,1983(3):251-259.  
 [16]Evans J R. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Plant Physiology,1983,72(2):297-302.  
 [17]Vitousek P M, Porder S, Houlton B Z, et al. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen-phosphorus interactions[J]. Ecological Applications,2010,20(1):5-15.  
 [18]李冬梅,魏 珉,张海森,等. 氮、磷、钾用量和配比对温室黄瓜叶片相关代谢酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(3):382-387,393.  
 [19]李俊良,崔德杰,孟祥霞,等. 山东寿光保护地蔬菜施肥现状及问题的研究[J]. 土壤通报,2002,33(2):126-128.  
 [20]林咸永,章永松,蔡妙珍. 磷、钾营养对柑橘果实产量、品质和贮藏性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(1):82-88.  
 [21]白宝璋,田纪春,王清连. 植物生理学[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,1996:68-72.